

**Memperhitungkan Laju Infiltrasi Model *Green-Ampt* Menggunakan Aplikasi Pemrograman *Visual Basic***  
(*Calculate The Infiltration Rate of The Green-Ampt Model Using The Visual Basic Programming Application*)

**Yesi Ardiani<sup>1</sup>, Devianti<sup>1</sup>, Agus Arif Munawar<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

\*Corresponding author : devidharma28@yahoo.co.id

**Abstrak.** Infiltrasi merupakan salah satu informasi penting dari keadaan suatu lahan. Laju infiltrasi merupakan kecepatan air yang masuk kedalam tanah persatuan waktu dan apabila laju infiltrasi telah mencapai maksimum maka ini yang dinamakan dengan kapasitas infiltrasi. Infiltrasi perlu diukur untuk mengetahui kadar air bawah tanah (perkolasi). Perhitungan laju infiltrasi secara pengukuran dan menggunakan model *Green-Ampt* dilakukan untuk mengetahui laju infiltrasi yang ada pada suatu lahan, serta membangun bahasa pemrograman *visual basic* untuk memperkirakan laju infiltrasi. Perhitungan laju infiltrasi pengukuran ini menggunakan alat *rainfall simulator* sebagai simulasi hujan buatan. Sampel tanah pada *rainfall simulator* diambil dari lahan Perkebunan Kurma Barbate dengan kemiringan lereng >25% yang diambil secara tidak terganggu dan diletakkan kedalam plot penelitian. Pengukuran infiltrasi dilakukan per kejadian pemberian hujan dengan *rainfall simulator* dengan menghitung terlebih dahulu air yang tertampung pada gelas ukur untuk mengetahui intensitas hujannya dan mengukur tinggi air akhir pada reservoir untuk mengetahui laju infiltrasi pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan model *Green-Ampt* dapat memperkirakan laju infiltrasi pada kondisi intensitas dan kadar air tanah yang berbeda dengan nilai laju infiltrasi, waktu terjadinya *ponding*, limpasan, dan akumulasi infiltrasi yang berbeda-beda pula. Tingkat perbedaan akurasi MAPE, RMSE dan Bias pada laju infiltrasi pengukuran dengan perhitungan model *Green-Ampt* pada tekstur tanah pasir, lempung berpasir, pasir berlempung, lempung dan liat dengan kadar air 10%, 20%, 25%, 28,26%, dan 35% yang mendekati nilai aktual untuk MAPE adalah pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% sebesar 4,65, 2,66, 6,33 dan 13,73 (layak), Bias adalah pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10% sebesar 10,17, dan RMSE adalah pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 20% sebesar 18,28. Nilai Bias dan RMSE >1 dikarenakan hasil dari suatu model *Green-Ampt* memiliki nilai yang jauh dari nilai pengukurannya.

Kata kunci: Infiltrasi; Model *Green-Ampt*; *Rainfall Simulator*

**Abstract.** Infiltration is one of the important information of the state of a land. The infiltration rate is the speed of water entering the soil per unit time and when the infiltration rate has reached its maximum, it is called the infiltration capacity. Infiltration needs to be measured to determine the groundwater content (percolation). Calculation of the infiltration rate by measurement and using the *Green-Ampt* model is carried out to determine the rate of infiltration that exists in a land and build a visual basic programming language to estimate the rate of infiltration. The calculation of the infiltration rate of this measurement uses a *rainfall simulator* as a simulation of artificial rain. Soil samples in the *rainfall simulator* were taken from the Barbate Dates Plantation with a slope of > 25% which was taken undisturbed and placed into the research plot. Infiltration measurements are carried out per rain event with a *rainfall simulator* by first calculating the water stored in the measuring cup to determine the intensity of the rain and measuring the final water level in the reservoir to determine the measurement infiltration rate. The results show that the *Green-Ampt* model can estimate the infiltration rate under conditions of different intensity and soil water content with different values of infiltration rate, time of *ponding*, runoff, and accumulation of infiltration. The different levels of accuracy of MAPE, RMSE and Bias at rates infiltration measurement using the *Green-Ampt* model calculation on the texture of the soil texture of sand, sandy loam, loamy sand, clay and clay with moisture content of 10%, 20%, 25%, 28.26%, and 35% which is close to the actual value for MAPE is on sandy soil texture with moisture content of 10%, 20%, 25% and 35% of 4.65, 2.66, 6.33 and 13.73 (adequate), the bias is on sandy soil texture with 10% water content of 10.17, and RMSE is on sandy soil texture with 20% moisture content of 18.28. Bias and RMSE values > 1 because the results of a *Green-Ampt* model have values that are far from the measurement value.

Keywords: Infiltration; *Green-Ampt* Model; *Rainfall Simulator*

## PENDAHULUAN

Infiltrasi merupakan salah satu informasi penting masukkan dari keadaan suatu lahan. Laju infiltrasi merupakan kecepatan air yang masuk ke dalam tanah persatuan waktu dan apabila laju infiltrasi telah mencapai maksimum maka ini yang dinamakan dengan kapasitas infiltrasi. Infiltrasi perlu diukur untuk mengetahui kadar air bawah tanah (perkolasi). Pengukuran laju infiltrasi biasanya menggunakan *double ring infiltrometer*, dimana membutuhkan waktu yang lama penjenjutan suatu tanah. Sehingga diperlukan suatu model matematis yang dapat memperkirakan laju infiltrasi secara pengukuran laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk membangun bahasa pemrograman *visual basic* dalam memperkirakan laju infiltrasi menggunakan model *Green-Ampt*.

Pemilihan model *Green-Ampt* merupakan model yang didasarkan pada karakteristik sifat fisik tanah dan parameternya dapat diukur. Selain itu, model *Green-Ampt* memperhatikan kemampuan infiltrasi tanah pada saat kondisi jenuh. Hal ini berbeda dengan model infiltrasi lain yang mengabaikan parameter tersebut. Penelitian ini juga membangun bahasa pemrograman dalam perangkat lunak *Microsoft Visual Basic* untuk perhitungan secara empiris mengenai laju infiltrasi menggunakan model *Green-Ampt*. Pemilihan perhitungan laju infiltrasi model *Green-Ampt* memiliki tingkat kesukaran, kemudian ketika intensitas hujan lebih besar dari laju infiltrasi inilah yang dinamakan *ponding* (penggenangan), maka pada kondisi tersebut memerlukan persamaan lain untuk memperkirakan laju infiltrasi. Infiltrasi juga dipengaruhi oleh kadar air tanah, pada kondisi kadar air yang berbeda, maka waktu *pindingnya* juga akan berbeda. Kondisi-kondisi seperti inilah yang sangat sulit ketika kita menggunakan *Microsoft Excel* dalam memperhitungkan laju infiltrasi. adanya permasalahan tersebut peneliti mengambil alternatif dalam memperhitungkan laju infiltrasi model *Green-Ampt* dengan membangun bahasa pemrograman dalam perangkat lunak *Microsoft Visual Basic* agar mempermudah dalam menentukan kondisi-kondisi tertentu. Parameter infiltrasi seperti konduktivitas hidrolik, porositas efektif dan hisapan tanah diperoleh dari model. Untuk itu penelitian ini dilakukan untuk membangun bahasa pemrograman *visual basic* dalam memperkirakan laju infiltrasi menggunakan model *Green-Ampt*, memperkirakan laju infiltrasi pada kondisi intensitas hujan dan kadar air tanah yang berbeda, dan tingkat perbedaan akurasi laju infiltrasi pengukuran menggunakan *rainfall simulator* dengan model *Green-Ampt*.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh. Penelitian menggunakan *rainfall simulator* sebagai simulasi hujan buatan. Penelitian dilakukan dari bulan September sampai November 2020.

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi *rainfall simulator*, plot pengukuran infiltrasi dengan ukuran panjang 55 cm, lebar bagian depan 8,5 cm, lebar bagian belakang 15 cm, tinggi 60 cm, gelas ukur, plastik, kertas label, timbangan analitik, cawan, oven, dan perangkat lunak pengolah data *Microsoft Excel*, *Microsoft Word*, aplikasi *Microsoft Visual Basic 6.0* dan sampel tanah.

## Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel tanah dan kemudian dibawa ke laboratorium untuk kemudian dilakukan uji sifat fisik tanah dan untuk diisi kedalam plot pengukuran laju infiltrasi. Plot pengukuran kemudian dimasukkan kedalam *rainfall simulator*, setelah itu dilakukan pemberian hujan dengan *rainfall simulator* selama 120 menit, dan dilakukan pencatatan air yang tertampung pada gelas ukur dan tinggi air akhir pada reservoir.

## Analisa Data

### 1. Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah intensitas hujan buatan yang dihasilkan oleh simulator hujan (*rainfall simulator*) dengan menggunakan rumus yang dijelaskan dalam *Instruction Manual Rainfall Simulator* (Anonim, 2011; Arham, 2017), perhitungan intensitas hujan buatan dapat dilihat pada persamaan (1).

$$I = \frac{Q}{A.t} \times 600 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : I adalah intensitas hujan ( cm/jam atau mm/jam), Q adalah volume air dalam gelas ukur (ml), A adalah Luas gelas ukur (menit) dan t adalah Waktu (menit).

### 2. Perhitungan Laju Infiltrasi Menggunakan Model Green-Ampt

Besarnya intensitas hujan sangatlah berpengaruh terhadap laju infiltrasi yang terjadi. Perhitungan laju infiltrasi menggunakan model *Green-Ampt* dimana laju infiltrasi dipengaruhi oleh konduktivitas tanah, hisapan tanah, kadar air tanah dan kenaikan hujan perkejadian hujan (*incremental*) yang dijumlahkan (akumulasi hujan). Nilai akumulasi hujan ini dimasukkan ke dalam persamaan (2) dan di dapat laju infiltrasi (Chow *et al.*, 1988) :

$$f_{t+\Delta t} = K \left( \frac{\Psi \Delta \theta}{F_{t+\Delta t}} + 1 \right) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :  $f_{t+\Delta t}$  adalah laju infiltrasi pada waktu t (cm/jam), K adalah konduktivitas hidrolis (cm/jam),  $\Psi$  adalah hisapan tanah (cm),  $F_{t+\Delta t}$  adalah akumulasi infiltrasi (cm).

$$\Delta \theta = (1 - se) \theta_e \dots\dots\dots(3)$$

Dimana: Se adalah saturasi efektif,  $\theta_e$  adalah porositas efektif

Saturasi efektif didefinisikan sebagai kadar air di mana akibat proses infiltrasi air (misalnya, saat hujan), pori tanah sudah tidak mampu lagi menampung air sehingga volume tidak bertambah lagi.

Jika intensitas hujan lebih besar dari laju infiltrasi dikatakan terjadi waktu *ponding* (penggenangan) tetapi infiltrasi masih berjalan. Waktu *ponding* ( $F_p$ ) terjadi apabila 1) sebelum waktu *ponding* terjadi, semua curah hujan masuk dalam tanah, 2) laju infiltrasi potensial  $f$  adalah fungsi dari  $F$  infiltrasi kumulatif; dan 3) *ponding* terjadi ketika laju infiltrasi potensial kurang dari atau sama dengan intensitas curah hujan. Saat *ponding* nilai akumulasi infiltrasi dihitung dengan persamaan (4). Akumulasi Infiltrasi saat *ponding* ( $F_p$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F_p = \frac{K \Psi \Delta \theta}{i_t - K} \dots\dots\dots(4)$$

$i_t$  = Intensitas hujan saat *ponding* (cm/jam)

Nilai akumulasi *ponding* ( $F_p = F_t$ ) dimasukkan ke persamaan (5), dimana dalam persamaan ini diisi nilai intensitas hujan pada saat *ponding* dan nilai akumulasi sebelum dan sesudah *ponding*. Menggunakan cara *Iteration Newton* atau substitusi berurutan nilai tersebut dimasukkan ke persamaan (5) sehingga pada waktu tertentu didapat nilai konstan dan nilai ini sebagai nilai akumulasi infiltrasi dan nilai ini dimasukkan ke persamaan (2) dan didapat laju infiltrasi. Kalkulasi infiltrasi pada periode *ponding* dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$F_{t+\Delta t} = F_t + K\Delta t + \psi\Delta\theta \ln \left[ \frac{F_{t+\Delta t} + \Psi\Delta\theta}{F_t + \Psi\Delta\theta} \right] \dots\dots\dots(5)$$

Apabila pada saat *ponding* laju infiltrasi lebih besar dari intensitas hujan maka dikatakan waktu setelah *ponding* maka akumulasi infiltrasi dihitung dengan menggunakan persamaan (6) dimana  $\Delta t = \Delta t - \Delta t'$  dan  $\Delta t'$  merupakan nilai akumulasi *ponding* ( $F_p$ ) dikurangi nilai akumulasi setelah *ponding* dibagi dengan nilai intensitas hujan setelah *ponding*. Kemudian nilai ini dimasukkan ke persamaan (5) dan dengan cara titrasi berurutan di dapat nilai akumulasi infiltrasi dan nilai ini dimasukkan ke persamaan laju infiltrasi, dan cara tersebut diulangi terus menerus sehingga dicapai laju infiltrasi konstan.

Besarnya infiltrasi setelah *ponding* adalah infiltrasi kumulatif ( $F_{t+\Delta t}$ ) didapatkan dengan jalan mensubstitusikan  $F_t = F_p$  dan  $\Delta t = \Delta t - \Delta t'$  dimana :

$$\Delta t' = \frac{F_p - F_t}{i_t} \dots\dots\dots(6)$$

### 3. Perhitungan Model Akurasi

Perhitungan model akurasi pada perhitungan laju infiltrasi menggunakan *rainfall simulator* menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), bias dan *Root Mean Square Error* (RSME). Adapun persamaan MAPE, bias dan RSME adalah sebagai berikut. Terlihat pada persamaan 7 merupakan persamaan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE digunakan untuk menilai keandalan estimasi numerik, dimana  $x$  adalah data pengamatan aktual dan  $y$  adalah data prediksi. Bias suatu model infiltrasi didefinisikan sebagai rerata perbedaan antara nilai aktual dan prediksi. Sihag, dkk., (2017), menjelaskan bahwa ketika nilai bias sama dengan nol maka dikatakan sebagai tidak bias. Persamaan bias tersaji pada persamaan 8. Untuk menghitung RMSE, persamaan RMSE tersaji pada persamaan 9.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \left( \frac{x_t - y_t}{x_t} \right) x \right| 100}{n} \dots\dots\dots(7)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (x - y)}{n} \dots\dots\dots(8)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x - y)^2} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :  $x$  adalah nilai laju infiltrasi aktual (cm/jam),  $y$  adalah nilai laju infiltrasi prediksi (cm/jam),  $m$  adalah maksimum nilai laju infiltrasi,  $n$  adalah jumlah data.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

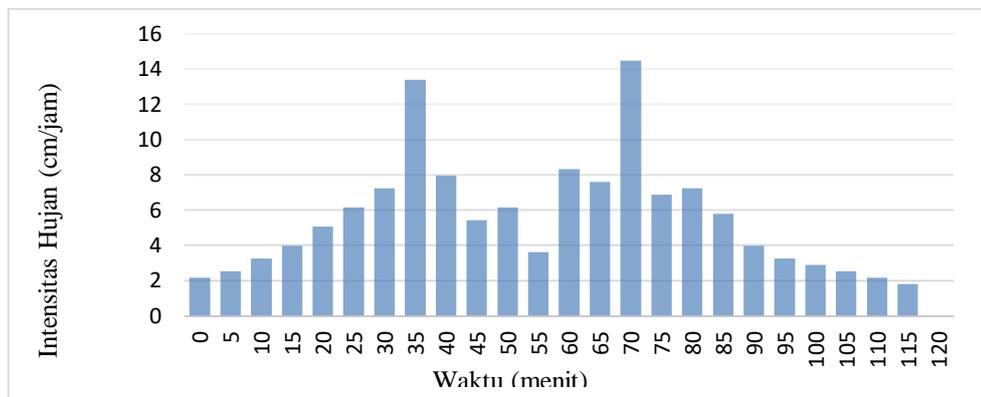
### Sifat Fisik Tanah

Jenis tanah di lokasi penelitian termasuk jenis tanah Ultisol, yang memiliki porositas tanah dengan nilai 0,43, struktur tanah granular, permeabilitas tanah 1,84 cm/jam dan tekstur tanah lempung berpasir kandungan bahan organik 1,35% dan kadar air 28,26%. Wirosoedarmo, dkk (2009) menyatakan bahwa tingginya kadar air tanah akan diikuti laju infiltrasi yang lama karena kandungan air di dalam tanah sudah tinggi, sehingga pada suatu waktu tanah sudah tidak mampu lagi memasukkan air dan terjadi laju infiltrasi konstan.

### Intensitas Hujan Pada *Rainfall Simulator*

Besarnya intensitas hujan sangatlah berpengaruh terhadap laju infiltrasi yang terjadi. Terlihat pada Gambar 1 intensitas tertinggi terjadi di menit ke-70 sebesar 14,47 cm/jam sedangkan yang terendah pada menit ke-115 sebesar 1,81 cm/jam. Adapun tinggi dan

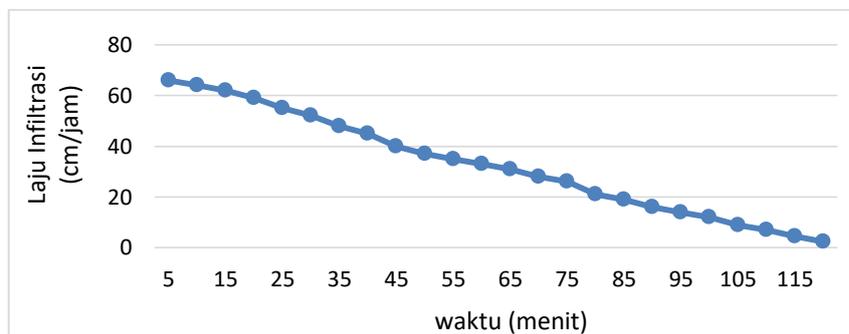
rendahnya intensitas hujan yang terjadi salah satunya dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi tiap menitnya.



Gambar 1. Intensitas Hujan

### Pengukuran Laju Infiltrasi Menggunakan *Rainfall Simulator*

Gambar 2 menunjukkan tinggi awal air sebelum dilakukan pengujian sebesar 66 cm/jam. Nilai laju infiltrasi pengukuran tertinggi terlihat pada menit ke 5 dengan nilai laju infiltrasi 64 cm/jam sedangkan laju infiltrasi terkecil terlihat pada menit ke 120 sebesar 2,5 cm/jam. Perbedaan nilai laju infiltrasi pengukuran menggunakan *rainfall simulator* salah satunya disebabkan karena semakin bertambahnya waktu maka akan semakin berkurang air yang tertampung pada reservoir.



Gambar 2. Pengukuran Laju Infiltrasi pada *Rainfall Simulator*

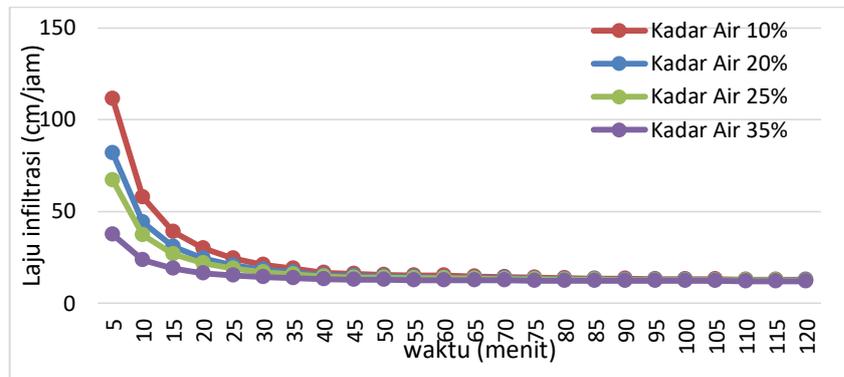
### Pengukuran Laju Infiltrasi Menggunakan Model *Green-Ampt*

Perhitungan laju infiltrasi menggunakan model *Green-Ampt* pada penelitian ini menggunakan sampel tanah dengan tekstur lempung berpasir dengan nilai kadar air awal sebesar 28,26%. Untuk menjadi pembandingan peneliti mengasumsikan untuk menghitung laju infiltrasi dengan curah hujan dan intensitas hujan yang sama namun tekstur tanah dan kadar air awal yang berbeda. Adapun tekstur tanah dan kadar air awal yang dijadikan pembandingan adalah pasir, pasir berlempung, lempung dan liat dengan kadar air awal, 10%, 20%, 25% dan 35%.

#### 1. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Pasir

Hasil perhitungan laju infiltrasi pada tekstur tanah pasir dengan asumsi kadar awal 10% memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan laju infiltrasi yang terjadi pada kadar air awal 20%, 25% dan 35%, dengan bertambahnya waktu maka laju infiltrasi yang terjadi akan semakin menurun dan konstan. Tingginya laju infiltrasi yang terjadi dipengaruhi oleh persentase fraksi pasir yang tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahim (2013), bahwa semakin besar volume pori tanah, dan semakin

remah tanahnya maka laju infiltrasinya semakin besar. Sedangkan laju infiltrasi yang memiliki nilai terendah terjadi pada tekstur tanah pasir dengan kadar air awal 35%. Laju infiltrasi awal pada kadar air 35% lebih kecil dibandingkan dengan laju infiltrasi pasir sebelumnya. Hal ini salah satunya disebabkan oleh kadar air awal tanah sebesar 35%, sehingga tanah sudah terisi oleh air dan laju infiltrasi akan semakin kecil. Hal ini sesuai pedapat Agung (2010) bahwa laju infiltrasi pada tanah semakin lama semakin kecil karena kelembaban tanah juga mengalami peningkatan. Pengukuran laju infiltrasi pada tekstur tanah pasir dengan kadar air awal 10%, 20%, 25% dan 35% dapat dilihat pada Gambar 3.

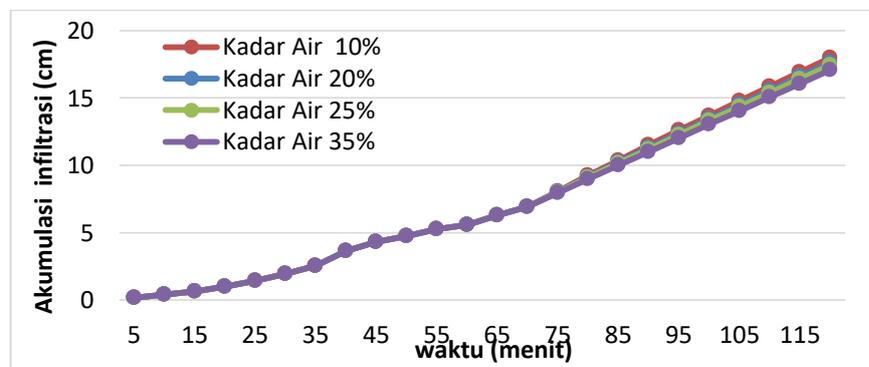


Gambar 3. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Pasir

Terlihat pada Gambar 3 Pengukuran laju infiltrasi tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% pada waktu ke 5 menit masing-masing memiliki nilai laju infiltrasi sebesar 111,40 cm/jam, 81,84 cm/jam, 67,06 cm/jam, 37,50 cm/jam dan pada waktu ke 120 menit sebesar 12,78 cm/jam, 17,63 cm/jam, 17,45 cm/jam, dan 17,06 cm/jam. *Ponding* terjadi pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% adalah sama yaitu terjadi pada waktu ke 70 menit dan berakhir pada waktu ke 75 menit. *Ponding* terjadi apabila nilai laju infiltrasinya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan nilai intensitas hujan yang selanjutnya akan terjadi limpasan. Limpasan yang terjadi dari waktu ke 70 menit sampai 75 menit pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% sebesar 0,02 cm, 0,08 cm, 0,11 cm, dan 0,17cm.

## 2. Akumulasi pada Tekstur Tanah Pasir

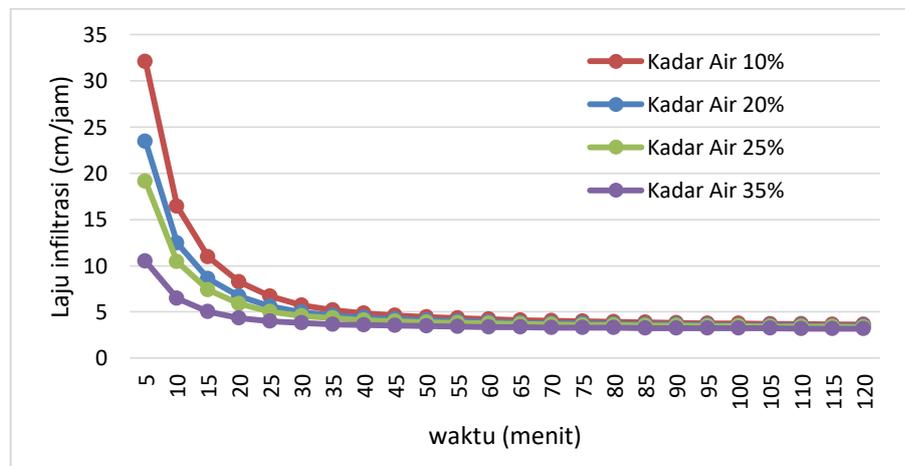
Gambar 4 menjelaskan bahwa akumulasi infiltrasi pada tekstur tanah pasir dengan kadar 10%, 20%, 25% dan 35% menunjukkan semakin bertambah waktu maka akumulasi semakin tinggi. Akumulasi terkecil terjadi pada waktu ke 5 menit sebesar 0,18 cm dan terbesar pada waktu ke 120 menit masing-masing sebesar 18 cm, 17,63 cm, 17,45 cm, 17,06 cm.



Gambar 4. Akumulasi Infiltrasi pada Tekstur Tanah Pasir

### 3. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Pasir Berlempung

Hasil perhitungan laju infiltrasi pada tekstur tanah pasir berlempung dengan kadar air awal 10% memiliki nilai laju infiltrasi lebih besar dibandingkan pada kadar air 20%, 25% dan 35%. Hal ini senada dengan pernyataan Arsyad (2010) bahwa tanah dengan kandungan fraksi pasir dengan porositas tanah yang lebih tinggi akan mudah meloloskan air sehingga laju infiltrasi lebih tinggi. Sedangkan laju infiltrasi terendah dimiliki oleh tekstur tanah pasir berlempung dengan kadar air 35%, rendahnya nilai laju infiltrasi setiap waktunya diakibatkan oleh nilai kadar air yang tinggi di awal waktu. Hal ini sesuai dengan pernyataan Arsyad (2010), bahwa kemampuan tanah meloloskan air tinggi juga dipengaruhi oleh kadar air yang rendah karena ruang pori tidak jenuh dengan air sehingga air dapat masuk ke dalam tanah sedangkan tanah jenuh air tidak akan memberi kesempatan untuk air masuk ke dalam tanah. Laju infiltrasi pada tekstur tanah pasir berlempung dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% dapat dilihat pada Gambar 5.

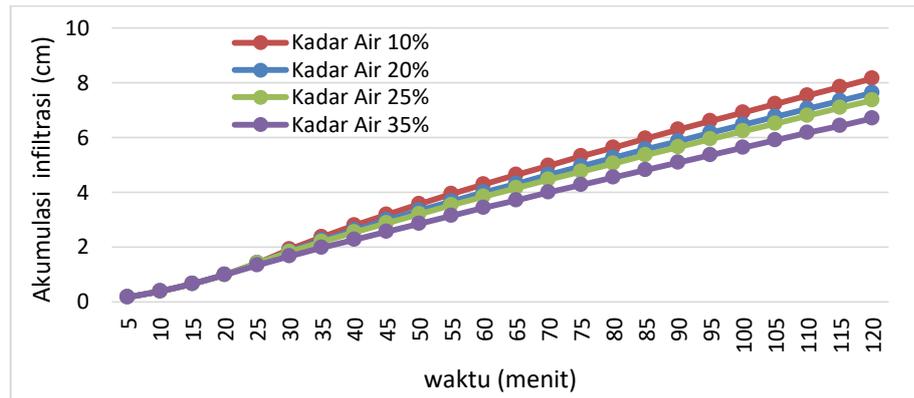


Gambar 5. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Pasir Berlempung

Gambar 5 menunjukkan bahwa perhitungan laju infiltrasi tekstur tanah pasir berlempung dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% pada waktu ke 5 menit masing-masing memiliki nilai laju infiltrasi sebesar 32,08 cm/jam, 23,45 cm/jam, 19,13 cm/jam, 10,50 cm/jam dan pada waktu ke 120 menit sebesar 3,63 cm/jam, 3,47 cm/jam, 3,38 cm/jam, dan 3,19 cm/jam. *Ponding* terjadi pada tekstur tanah pasir berlempung dengan kadar air 10% yaitu terjadi pada waktu ke 30 menit dan berakhir pada waktu ke 55 menit, pada kadar air 20% dan 25% adalah sama yaitu terjadi pada waktu ke 25 menit dan berakhir pada waktu ke 55 menit, pada kadar 35 % yaitu terjadi pada waktu ke 20 menit dan berakhir pada waktu ke 55 menit. *Ponding* terjadi apabila nilai laju infiltrasinya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan nilai intensitas hujan yang selanjutnya akan terjadi limpasan. Limpasan yang terjadi pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% berturut-turut sebesar 1,34 cm, 1,61 cm, 1,75 cm, dan 2,12 cm.

### 4. Akumulasi Tekstur pada Tanah Pasir Berlempung

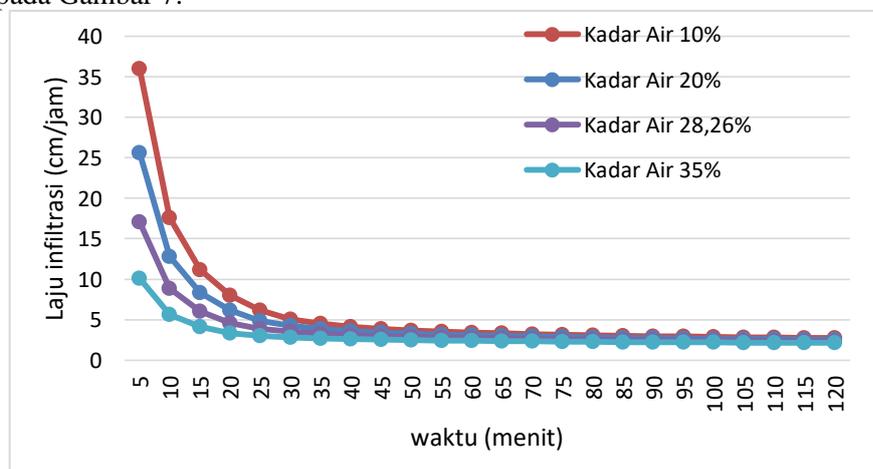
Gambar 6 menjelaskan bahwa akumulasi infiltrasi yang terjadi tekstur tanah pasir berlempung dengan kadar 10%, 20%, 25% dan 35% semakin bertambahnya waktu maka akumulasi semakin tinggi. Akumulasi terkecil terjadi pada waktu ke 5 menit masing-masing sebesar 0,18 cm dan terbesar pada waktu ke 120 menit masing-masing sebesar 8,15 cm, 7,64 cm, 7,37 cm, 6,70 cm.



Gambar 6. Akumulasi Infiltrasi pada Tekstur Tanah Pasir Berlempung

### 5. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Lempung Berpasir

Hasil perhitungan laju infiltrasi pada tekstur tanah lempung berpasir dengan asumsi kadar awal 10% memiliki nilai yang tinggi dibandingkan laju infiltrasi yang terjadi pada kadar air awal 20%, 28,26%, 35% , dan semakin bertambahnya waktu maka laju infiltrasi semakin menurun. Triatmodjo (2008), menegaskan bahwa apabila tanah dalam kondisi kering ketika infiltrasi terjadi, laju infiltrasi tinggi karena kedua gaya kapiler dan gravitasi bekerja bersama-sama menarik air kedalam tanah dan pori-pori tanah terisi oleh air secara berangsur-angsur. Ketika tanah menjadi basah, gaya kapiler berkurang menyebabkan laju infiltrasi menurun, akhirnya laju infiltrasi mencapai suatu nilai konstan. Laju infiltrasi tanah lempung berpasir dengan kadar air 35% menghasilkan nilai laju infiltrasi yang paling rendah diantara nilai laju infiltrasi lempung berpasir sebelumnya. Nilai kadar air awal yang tinggi menyebabkan laju infiltrasi yang terjadi rendah karena pori-pori tanah sudah jenuh dengan air. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wirapraja, dkk (2018) yang menyatakan bahwa tanah dengan pori-pori jenuh air mempunyai laju infiltrasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah dalam keadaan kering. Laju infiltrasi pada tekstur tanah lempung berpasir dengan kadar air 10%, 20%, 28,26% dan 35% dapat dilihat pada Gambar 7.



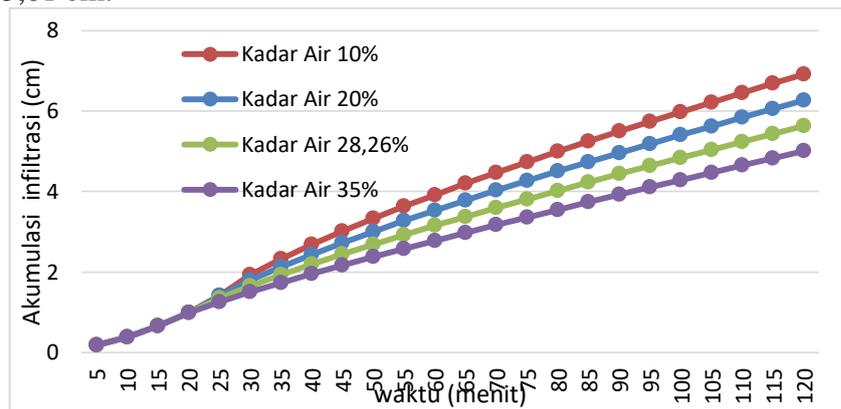
Gambar 7. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Lempung Berpasir

Terlihat pada Gambar 7 perhitungan laju infiltrasi tekstur tanah lempung berpasir dengan kadar air 10%, 20%, 28,26% dan 35% pada waktu ke 5 menit masing-masing memiliki nilai laju infiltrasi sebesar 36 cm/jam, 25,65 cm/jam, 17,10 cm/jam, 10, 12 cm/jam dan pada waktu ke 120 menit sebesar 2,73 cm/jam, 2,52 cm/jam, 2,33 cm/jam, dan 2,14 cm/jam. *Ponding* terjadi pada tekstur tanah lempung berpasir dengan kadar air 10% yaitu terjadi pada waktu ke 30 menit dan berakhir pada waktu ke 105 menit, pada kadar air 20% yaitu terjadi pada waktu ke 25 menit dan berakhir pada waktu ke 105 menit, pada kadar air 28,26% dan 35% adalah sama yaitu terjadi pada waktu ke 20 menit dan berakhir pada waktu

ke 110 menit. *Ponding* terjadi apabila nilai laju infiltrasinya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan nilai intensitas hujan yang selanjutnya akan terjadi limpasan. Limpasan yang terjadi pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 28,26% dan 35% berturut-turut sebesar 4,39 cm, 4,99 cm, 5,58 cm, dan 6,17 cm.

### 6. Akumulasi pada Tekstur Tanah Lempung Berpasir

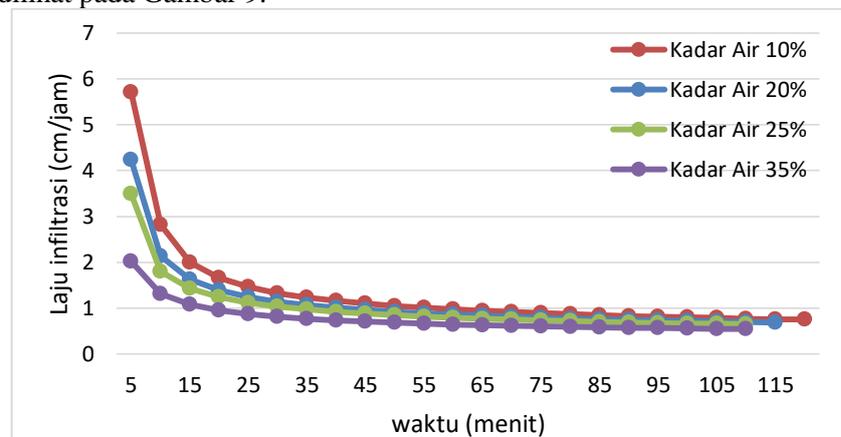
Gambar 8 menjelaskan bahwa akumulasi infiltrasi yang terjadi tekstur tanah lempung berpasir dengan kadar 10%, 20%, 28,26% dan 35% semakin bertambahnya waktu maka akumulasi semakin tinggi. Akumulasi terkecil terjadi pada waktu ke 5 menit masing-masing sebesar 0,18 cm dan terbesar pada waktu ke 120 menit masing-masing sebesar 6,91 cm, 6,26 cm, 5,63 cm, 5,01 cm.



Gambar 8. Akumulasi Infiltrasi pada Tekstur Tanah Lempung Berpasir

### 7. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Lempung dengan Kadar Air 10%, 20%, 25% dan 35%

Hasil perhitungan laju infiltrasi pada tekstur tanah lempung dengan kadar air 10% memiliki nilai laju infiltrasi tertinggi dibandingkan pada tekstur tanah lempung dengan kadar air 20%, 25%, dan 35%. Hal ini terjadi akibat dari persentase pori-pori tanah lempung lebih banyak pori makro dari pada pori mikro (Asdak, 2010). Laju infiltrasi terendah dimiliki oleh laju infiltrasi pada tekstur tanah lempung dengan kadar air 35%, hal ini terjadi akibat kadar air awal yang yang tinggi menyebabkan tanah semakin jenuh. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wibowo (2010) menyatakan bahwa disebabkan karena tanah makin jenuh dan sebagian rongga tanah sudah terisi oleh tanah-tanah yang lembut, sehingga air makin berkurang ruang gerakannya. Laju infiltrasi pada tekstur tanah lempung dengan kadar air 10% dapat dilihat pada Gambar 9.



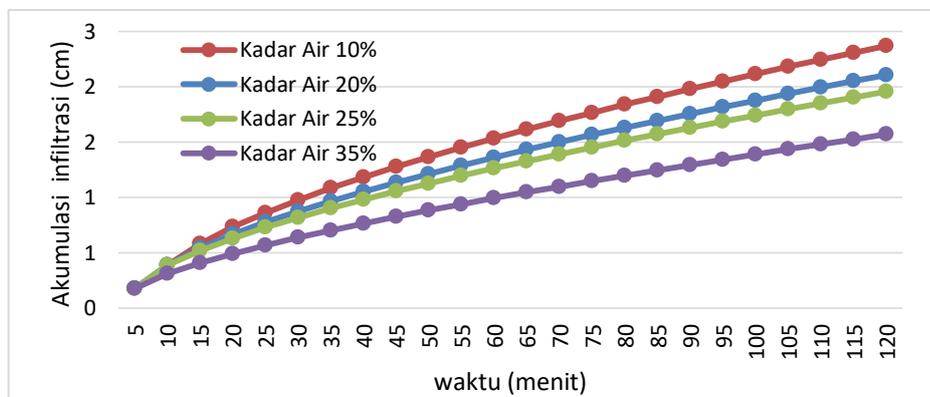
Gambar 9. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Lempung

Terlihat pada Gambar 9 perhitungan laju infiltrasi tekstur tanah lempung dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% pada waktu ke 5 menit masing-masing memiliki nilai laju

infiltrasi sebesar 5,72 cm/jam, 4,24 cm/jam, 3,50 cm/jam, 2,01 cm/jam dan pada waktu ke 120 menit sebesar 0,75 cm/jam, 0,67 cm/jam, 0,63 cm/jam, dan 0,53 cm/jam. *Ponding* terjadi pada tekstur tanah lempung dengan kadar air 10%, 20% dan 25% yaitu terjadi pada waktu ke 10 menit dan berakhir pada waktu ke 120 menit, pada kadar air 35% adalah sama yaitu terjadi pada waktu ke 5 menit sampai pada waktu ke 120 menit. *Ponding* terjadi apabila nilai laju infiltrasinya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan nilai intensitas hujan yang selanjutnya akan terjadi limpasan. Limpasan yang terjadi pada tekstur tanah lempung dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% berturut-turut sebesar 8,78 cm, 9,05 cm, 9,20 cm, dan 9,58 cm.

### 8. Akumulasi pada Tekstur Tanah Lempung

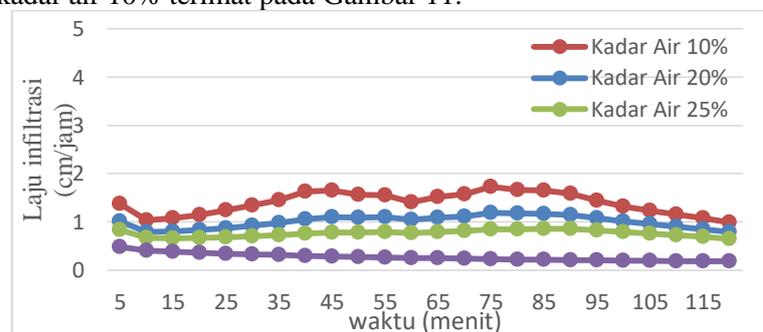
Gambar 10 menjelaskan bahwa akumulasi infiltrasi yang terjadi tekstur tanah lempung dengan kadar 10%, 20%, 25% dan 35% semakin bertambahnya waktu maka akumulasi semakin tinggi. Akumulasi terkecil terjadi pada waktu ke 5 menit masing-masing sebesar 0,18 cm dan terbesar pada waktu ke 120 menit masing-masing sebesar 2,37 cm, 2,11 cm, 1,96 cm, 1,57 cm.



Gambar 10. Akumulasi Infiltrasi pada Tekstur Tanah Lempung

### 9. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Liat

Hasil perhitungan laju infiltrasi pada tekstur tanah liat dengan kadar air 10% pada memiliki nilai laju infiltrasi tertinggi dan pada tekstur tanah liat dengan kadar air 35% memiliki nilai laju infiltrasi terendah, hal ini terjadi akibat tekstur tanah liat memiliki pori-pori tanah yang rapat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Arsyad (2010) tekstur tanah terlihat mempengaruhi tingkat laju infiltrasi dikarenakan semakin halus tekstur tanah maka tekstur tanah akan didominasi oleh liat oleh karena itu pori-pori tanah menjadi rapat sehingga membuat air sulit untuk terinfiltrasi. Laju infiltrasi pada tekstur tanah liat dengan kadar air 10% terlihat pada Gambar 11.



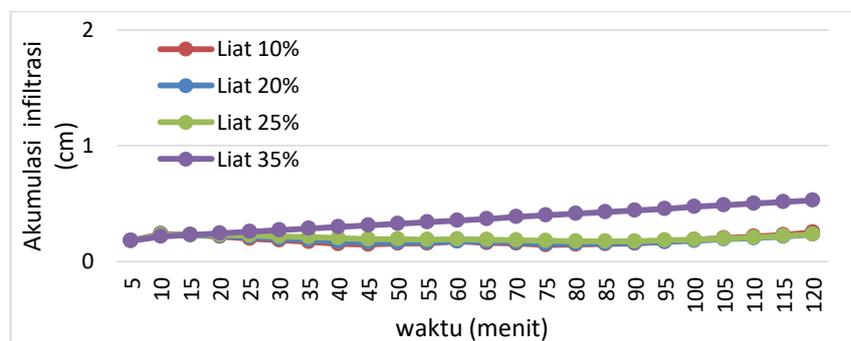
Gambar 11. Laju Infiltrasi pada Tekstur Tanah Liat

Gambar 11 menjelaskan perhitungan laju infiltrasi tekstur tanah liat dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% pada waktu ke 5 menit masing-masing memiliki nilai laju infiltrasi sebesar 1,38 cm/menit, 1,02 cm/menit, 0,84 cm/menit, 0,48 cm/menit dan pada waktu ke 120

menit sebesar 0,99 cm/menit, 0,79 cm/menit, 0,65 cm/menit, dan 0,18 cm/menit. *Ponding* terjadi pada tekstur tanah liat dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35% adalah sama yaitu terjadi pada waktu ke 5 menit sampai pada waktu ke 120 menit. *Ponding* terjadi apabila nilai laju infiltrasinya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan nilai intensitas hujan yang selanjutnya akan terjadi limpasan. Limpasan yang terjadi pada tekstur tanah liat dengan kadar air 10%, 20%, 28,26% dan 35% berturut-turut sebesar 10,90 cm, 10,92 cm, 10,92 cm, dan 10,63 cm.

#### 10. Akumulasi pada Tekstur Tanah Lempung dengan Kadar Air 10%, 20%, 25%, dan 35%

Gambar 12 menjelaskan bahwa akumulasi infiltrasi yang terjadi tekstur tanah lempung dengan kadar 10%, 20%, 25% dan 35% semakin bertambahnya waktu maka akumulasi semakin tinggi. Akumulasi terkecil terjadi pada waktu ke 5 menit masing-masing sebesar 0,18 cm dan terbesar pada waktu ke 120 menit masing-masing sebesar 2,37 cm, 2,11 cm, 1,96 cm, 1,57 cm.



Gambar 12. Akumulasi Infiltrasi pada Tekstur Tanah Liat dengan Kadar Air 10%

#### Pemrograman *Visual Basic* untuk Menghitung Laju Infiltrasi Menggunakan Model *Green-Ampt*

Perangkat lunak (*software*) ini dinamakan *GrstimAr* yaitu *software* yang digunakan untuk menghitung laju infiltrasi. Perangkat lunak ini diharapkan dapat membantu dalam menyelesaikan perhitungan laju infiltrasi yang sulit ketika dilakukan pada *Microsoft Excel*. Adapun nama *software* ini dapat dilihat pada Gambar 13.

**GrstimAr**

Gambar 13. Nama *Software*

#### Desain Program

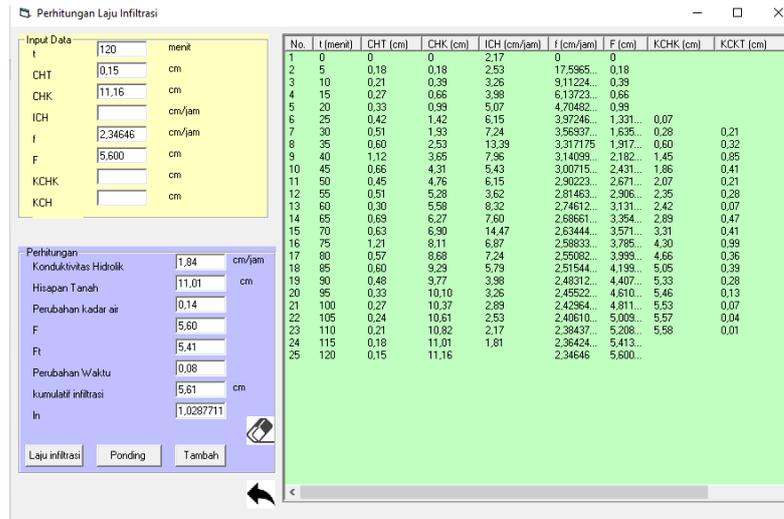
Program ini memiliki empat *form*, pada *form* 1 merupakan menu utama, pada *form* 2 merupakan menu perhitungan laju infiltrasi, dan pada *form* 3 merupakan informasi aplikasi. Tampilan menu utama aplikasi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Tampilan Menu Utama pada *Software* GrstimAr

Terlihat pada Gambar 14 terdapat dua *icon*, yaitu: *icon* Masuk dan informasi aplikasi. *Icon* masuk berguna untuk masuk ke *form* 2, dimana pada *form* 2 merupakan *form* untuk melakukan perhitungan laju infiltrasi. Nama dan keterangan *icon* pada *form* 1. *Form* 2 merupakan *form* yang berisikan langkah-langkah dalam perhitungan laju infiltrasi model *Green-Ampt* selama penelitian. Dimana terdapat 16 label untuk menampilkan keterangan dari setiap data yang diinput. Adapun pada *frame* 1 input data terdapat 8 label dan 8 *textbox*, pada *frame* 2 perhitungan ada 8 *label* dan 8 *textbox*, *command* 1, *command* 2, *command* 3, *listview*, *image* 1 dan *image* 2. Masing-masing keterangan tersebut adalah:

- 1) *Frame* 1: Input Data: (a). Waktu (t) dengan satuan menit, (b). Curah hujan disetiap menit (CHT) dengan satuan sentimeter, (c). Curah hujan kumulatif (CHK) dengan satuan sentimeter, (d). Intensitas curah hujan (ICH) dengan satuan sentimeter per jam, (e). Laju infiltrasi (f) dengan satuan sentimeter per jam, (f). Akumulasi Infiltrasi (F) dengan satuan sentimeter, (g). Kelebihan curah hujan kumulatif (KCHK) dengan satuan sentimeter, dan (h). Kelebihan curah hujan (KCH) dengan satuan sentimeter.
- 2) *Frame* 2: Perhitungan: (a). Konduktivitas hidrolik dengan satuan sentimeter per jam, (b). Hisapan tanah dengan satuan sentimeter, (c). Perbahan kadar air, (d). Akumulasi infiltrasi (F), (e). Laju infiltrasi sebelumnya (Ft), (f). Perubahan waktu, (g). Kumulatif Infiltrasi dengan satuan sentimeter dan (h). Ln.
- 3) *Command* 1 merupakan *command* dengan perintah untuk menjalankan perhitungan laju infiltrasi.
- 4) *Command* 2 merupakan *command* dengan perintah untuk menjalankan perhitungan laju infiltrasi saat waktu *ponding*.
- 5) *Command* 3 merupakan *command* dengan perintah menambah hasil pada input data yang akan tersusun pada *listview*.
- 6) *Listview* merupakan perintah yang berisikan tabel hasil perhitungan laju infiltrasi selama penelitian.
  - 1) *Image* 1 merupakan perintah yang berisikan menghapus nilai yang ada pada *frame* perhitungan.
  - 2) *Image* 2 merupakan perintah yang berisikan kembali ke tampilan menu utama. Adapun *form* 2 dapat dilihat pada Gambar 16.



No.	t (menit)	CHT (cm)	CHK (cm)	ICH (cm/jam)	f (cm/jam)	F (cm)	KCHK (cm)	KCKT (cm)
1	0	0	0	2,17	0	0	0	0
2	5	0,18	0,18	2,53	17,5965...	0,18		
3	10	0,21	0,39	3,26	9,11224...	0,39		
4	15	0,27	0,66	3,98	6,13723...	0,66		
5	20	0,33	0,99	5,07	4,70482...	0,99		
6	25	0,42	1,42	6,15	3,97246...	1,331...	0,07	
7	30	0,51	1,93	7,24	3,56937...	1,635...	0,28	0,21
8	35	0,60	2,53	8,33	3,317175...	1,917...	0,60	0,32
9	40	1,12	3,65	7,96	3,14099...	2,182...	1,45	0,85
10	45	0,66	4,31	5,43	3,00715...	2,431...	1,86	0,41
11	50	0,45	4,76	6,15	2,90223...	2,671...	2,07	0,21
12	55	0,51	5,28	3,62	2,81463...	2,906...	2,35	0,29
13	60	0,30	5,59	8,32	2,74612...	3,131...	2,42	0,07
14	65	0,69	6,27	7,60	2,68661...	3,354...	2,89	0,47
15	70	0,63	6,90	14,47	2,63444...	3,571...	3,31	0,41
16	75	1,21	8,11	6,87	2,58833...	3,785...	4,30	0,99
17	80	0,57	8,69	7,24	2,55082...	3,999...	4,86	0,36
18	85	0,60	9,29	5,79	2,51544...	4,199...	5,05	0,39
19	90	0,48	9,77	3,98	2,48312...	4,407...	5,33	0,28
20	95	0,33	10,10	3,26	2,45522...	4,610...	5,46	0,13
21	100	0,27	10,37	2,89	2,42964...	4,811...	5,53	0,07
22	105	0,24	10,51	2,53	2,40610...	5,008...	5,57	0,04
23	110	0,21	10,82	2,17	2,38437...	5,208...	5,58	0,01
24	115	0,18	11,01	1,81	2,36424...	5,413...		
25	120	0,15	11,16		2,34846...	5,600...		

Gambar 16. Tampilan Form 2 Perhitungan Laju Infiltrasi Model Green-Ampt

Form 3 merupakan form yang menjelaskan menu informasi programmer perangkat lunak ini. Didalamnya terdapat penjelasan mengenai nama software, nama programmer serta nama instansi asal programmer. Setelah mengeklik Kembali maka tampilan program akan kembalike form 1 berupa tampilan menu utama. Adapun tampilan form informasi aplikasi dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Form 3 Informasi Aplikasi

### Instalasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak GrstimAr tersedia dalam bentuk *executable file* (.exe) yang dapat langsung dijalankan dan juga tersedia dalam bentuk *setup installation package*. Setelah tersedia di komputer New Volume (E)/GrstimAr.exe, selanjutnya program dapat langsung dijalankan dengan *double click* pada *icon shortcut*.

### Evaluasi Model Akurasi Laju Infiltrasi Pengukuran dengan Perhitungan Model Green-Ampt

Evaluasi model infiltrasi pengukuran dan perhitungan model *Green-Ampt* menggunakan MAPE, RMSE, dan Bias seperti tersaji pada Tabel 1. Nilai MAPE laju infiltrasi dengan tekstur tanah pasir, lempung berpasir, pasir berlempung, lempung dan liat dengan kadar air 10%, 20%, 25%, 28,26%, dan 35% dihitung menggunakan persamaan 7. Monero et. al., (2013) menjelaskan bahwa MAPE adalah pengukuran statistik tentang akurasi perkiraan

(prediksi) pada metode peramalan. Model dikatakan baik apabila MAPE adalah  $<10\%$ , pada penelitian ini nilai MAPE pada tekstur tanah liat dengan kadar air 35% yang paling buruk, sedangkan MAPE yang baik terdapat pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20% 25% dan 35%. Perhitungan akurasi Bias laju infiltrasi pengukuran dan model *Green-Ampt* dengan tekstur tanah pasir, lempung berpasir, pasir berlempung, lempung dan liat dengan kadar air 10%, 20%, 25%, 28,26%, dan 35% menggunakan persamaan 8. Tabel 1 menunjukkan nilai bias yang baik terdapat pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, dan bias yang buruk terdapat pada tekstur tanah liat dengan kadar air 35%. Ngadisih, dkk (2020) menyatakan Bias suatu model infiltrasi didefinisikan sebagai rerata perbedaan antara nilai aktual dan prediksi. RMSE memiliki fungsi yang sama untuk mengevaluasi suatu model. Nilai RMSE nol mencirikan bahwa model sangat bagus. Perhitungan RMSE menggunakan persamaan 9. Tabel 1 menunjukkan bahwa RMSE tekstur tanah pasir, lempung berpasir, pasir berlempung, lempung dan liat dengan kadar air 10%, 20%, 25%, 28,26%, dan 35%. Tekstur tanah pasir dengan kadar air 20% yang memiliki nilai RMSE paling dekat dengan nol. Nilai evaluasi model akurasi laju infiltrasi pengukuran dan perhitungan model *Green-Ampt* dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Nilai MAPE, RMSE dan Bias dari Laju Infiltrasi Pengukuran dan Perhitungan Model *Green-Ampt*

No.	Sampel	MAPE	BIAS	RMSE
1.	Pasir dengan kadar air awal 10%	4,65	10,17	18,49
2.	Pasir dengan kadar air awal 20%	2,66	13,37	18,28
3.	Pasir dengan kadar air awal 25%	6,33	14,97	19,18
4.	Pasir dengan kadar air awal 35%	13,73	18,17	22,56
5.	Pasir berlempung dengan kadar air awal 10%	67,24	26,35	28,66
6.	Pasir Berlempung dengan kadar air awal 20%	69,78	27,32	29,92
7.	Pasir berlempung dengan kadar air awal 25%	71,17	27,83	30,60
8.	Pasir berlempung dengan kadar air awal 35%	74	28,85	32,02
9.	Lempung berpasir dengan kadar air awal 10%	72,18	26,80	28,85
10.	Lempung berpasir dengan kadar air awal 20%	75,25	27,96	30,29
11.	Lempung berpasir dengan kadar air awal 28,26%	77,99	28,95	31,60
12.	Lempung berpasir dengan kadar air awal 35%	80,48	29,80	32,75
13.	Lempung dengan kadar air awal 10%	89,82	31,44	34,32
14.	Lempung dengan kadar air awal 20%	90,58	31,65	34,59
15.	Lempung dengan kadar air awal 25%	91	31,77	34,74
16.	Lempung dengan kadar air awal 35%	91,91	32	35,02
17.	Liat dengan kadar air awal 10%	87,43	31,36	34,64
18.	Liat dengan kadar air awal 20%	89,56	31,75	34,97
19.	Liat dengan kadar air awal 25% %	90,98	31,99	35,16
20.	Liat dengan kadar air awal 35%	94,41	32,48	35,52

Sumber: Olah Data (2021)

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Model *Green-Ampt* dapat memperkirakan laju infiltrasi pada kondisi intensitas hujan dan kadar air tanah yang berbeda, ini terlihat dari perhitungan pada sampel tanah dengan tekstur tanah pasir, pasir berlempung, lempung berpasir, lempung dan liat dengan kadar air 10%, 20%, 25%, 28,26%, dan 35% menggunakan model *Green-Ampt* memiliki nilai laju infiltrasi, waktu terjadinya *ponding*, limpasan, dan akumulasi infiltrasi yang berbeda-beda.
2. Tingkat perbedaan akurasi MAPE, RMSE dan Bias pada laju infiltrasi pengukuran dengan perhitungan model *Green-Ampt* pada tekstur tanah pasir, pasir berlempung, lempung berpasir, lempung dan liat dengan kadar air 10%, 20%, 25%, 28,26%, dan 35% yang mendekati nilai aktual untuk MAPE adalah pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, 20%, 25% dan 35%, Bias adalah pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 10%, dan RMSE adalah pada tekstur tanah pasir dengan kadar air 20%.

### Saran

Pengukuran dan perhitungan laju infiltrasi hendaknya menambah tekstur tanah yang beragam sehingga kita dapat melihat tingkat laju infiltrasi yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung B, Supangat, Pamungkas B, dan Putra. 2010. Infiltrasi Tanah pada Berbagai Tegakan Jati. Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat Kuok. Jl. Raya Bangkinang – Kuok Km. 9 Bangkinang 28401, Kotak Pos 4/BKN - Riau. Jawa Tengah.
- Arham. 2017. Pengaruh hubungan intensitas curah hujan dan kemiringan lahan terhadap laju erosi. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasannudin, Gowa.
- Arsyad. 2010. Konservasi Tanah dan Air. IPB. Bogor. 475p.
- Asdak, C. 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah aliran Sungai. Edisi kelima. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Chow, V.T, David R. Maidment, L.W. Mays, 1988, *Applied Hidrology*, Mc.Graw- Book Company New York.
- Monero, M. J. J, A. P. Pol., A. S. Abad dan B. C. Blasco. 2013. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*. 25 (4): 500-506.
- Ngadisih., H. Suryatmojo M. C. Satriagasa M. Annisa dan C. Kumolo. 2020. Komparasi tiga model infiltrasi pada lahan pertanian dan agroforestri di DAS Merawu. 8 (1) : 20-32.
- Rahim, S. E. 2013. Pengendalian Erosi Tanah : dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup. Bumi Aksara. Jakarta.
- Triatmodjo, B. 2008. Hidrologi Terapan. Beta Offset, Yogyakarta.
- Wibowo, H. 2010. Laju Infiltrasi pada Lahan Gambut yang Dipengaruhi Air Tanah (Study Kasus Sei Raya Dalam Kecamatan Sei Raya Kabupaten Kubu Raya). *Jurnal Belian* 9 (1) : 90 – 103.
- Wirapraja L., A. W. Wicaksono dan F. N. Utama. 2014. Perhitungan Laju Infiltrasi Menggunakan Metode Green Dan AMPT Dengan Menggunakan Sampel Tanah Lempung Berliat, Lempung, Lempung Liat Berdebu. Departemen Teknik Sipil Dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Bandung.