

**ANALISIS RESPON HIDROLOGI DENGAN SIMULASI HUJAN TERHADAP PERUBAHAN
FUNGSI LAHAN: STUDI KASUS DI SITU CIBUNTU**

***ANALYSIS OF HYDROLOGICAL RESPONSE WITH RAINFALL SIMULATION ON CHANGES IN
LAND FUNCTION: STUDY CASE CIBUNTU LAKE***

Afandi Wahyu Cahyono¹, Jazaul Ikhsan², Apip³

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Korespondensi: jazaul.ikhsan@umy.ac.id

ABSTRAK

Perubahan fungsi lahan di Indonesia sering kali tidak disertai dengan tindakan konservasi lahan, yang menyebabkan lahan semakin terdegradasi, yang ditandai dengan tingginya bahaya erosi dan rendahnya tingkat resapan air hujan. Untuk mengetahui dampak perubahan fungsi lahan perlu dilakukan analisis respon hidrologi untuk mengetahui respon lahan terhadap curah hujan yang turun, salah satunya menggunakan metode simulasi hujan (*rainfall simulator*). Penelitian ini dilakukan dengan memberikan simulasi hujan pada dua fungsi lahan, yaitu pada lahan hutan buatan dan lahan terbuka. Penelitian ini menggunakan beberapa parameter hidrologi seperti curah hujan, infiltrasi, kelembaban tanah, limpasan dan hasil sedimen sebagai pembandingan dari respon pada kedua lahan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan fungsi lahan dari hutan menjadi lahan terbuka menyebabkan perubahan respon hidrologi, yang menyebabkan potensi terjadinya banjir akibat berkurangnya lahan yang permeabel, sehingga hujan banyak yang melimpas.

Kata Kunci: fungsi lahan, infiltrasi, limpasan, *rainfall simulator*

ABSTRACT

Changes in land use in Indonesia are often not accompanied by land conservation measures, which causes land to become increasingly degraded, which is characterized by high erosion hazards and low levels of rainwater infiltration. To determine the impact of changes in land function, it is necessary to carry out a hydrological response analysis to determine the land's response to falling rainfall, one of which is using the rain simulator. This research was carried out by providing rain simulations on two land functions, namely on artificial forest land and open land. This research uses several hydrological parameters such as rainfall, infiltration, soil moisture, runoff and sediment yield as a comparison of the response on the two fields. The results of this research show that the change in land function from forest to open land causes changes in the hydrological response, which causes the potential for flooding due to reduced permeable land, resulting in a lot of rain running off.

Keywords: infiltration, land use, rainfall simulator, runoff

PENDAHULUAN

Tata guna lahan merupakan upaya untuk merencanakan pemanfaatan lahan dalam kawasan

tertentu, termasuk di dalamnya pengklasifikasian secara khusus kegiatan yang ada, seperti pemukiman, perdagangan, industri, pertanian, perhutanan dan lain-lain.

Penggunaan lahan biasanya menyebabkan perubahan tata guna lahan di suatu wilayah. Perubahan fungsi lahan sering kali tidak disertai dengan tindakan konservasi lahan, yang menyebabkan lahan semakin terdegradasi, yang ditandai dengan tingginya bahaya erosi dan rendahnya tingkat resapan air hujan.

Erosi merupakan suatu peristiwa pindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain (Arsyad S, 2010). Erosi juga dapat disebut sebagai pengikisan tanah. Tanah yang mengalami erosi akan kehilangan produktivitas, kesuburan, dan kadar air dan mineralnya. Volume limpasan yang terjadi sangat memengaruhi tingkat erosi. Tingkat erosi yang tinggi juga mempengaruhi kawasan DAS hilir serta tampungan air seperti waduk dan bendungan yang berpotensi terjadi sedimentasi yang tidak terkendali.

Berkurangnya kawasan hutan menyebabkan fungsi kawasan penyerapan air beralih ke kawasan kedap air, hal tersebut membuat hidrologi menjadi tidak seimbang dan berpengaruh negatif pada daerah aliran sungai (DAS). Perubahan tata guna lahan akan menyebabkan volume serta limpasan meningkat, hal ini mengakibatkan masalah banjir di hilir (DAS).

Pemahaman tentang proses dan besarnya limpasan, erosi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya penting sebagai acuan pelaksanaan manajemen air dan tata guna lahan yang efektif. Oleh karena itu, limpasan harus diatasi terlebih dahulu saat merencanakan pengelolaan sumber daya air, terlebih lagi perubahan tata guna lahan yang terjadi sekarang ini tentunya sangat mempengaruhi besarnya laju infiltrasi dan limpasan permukaan yang terjadi. Salah satu penelitian pada erosi dan respon hidrologi yang dapat dilakukan dengan menggunakan alat rainfall simulator.

Rainfall simulator adalah alat untuk mempelajari parameter hidrologi seperti infiltrasi dan *runoff* dibawah pemakaian hujan yang terkontrol. Oleh karena itu alat ini bisa dilakukan percobaan tentang erosi akibat pengaruh tertentu. Melihat ada banyak masalah yang terjadi akibat erosi tanah, dengan alat ini dapat dilihat bagaimana pengaruh perubahan lahan dan intensitas hujan terhadap angka erosi.

TINJAUAN PUSTAKA

Rainfall Simulator

Rainfall Simulator adalah alat yang dapat

mengeluarkan air dari *nozzle* sebagai hujan buatan dengan intensitas yang dapat diatur. *Rainfall simulator* dapat mengendalikan hujan seperti yang diinginkan.

Rainfall simulator diharapkan mampu untuk mengeluarkan hujan seragam. Berdasarkan persyaratan ASTM (2019) keseragaman curah hujan (CU) yang dihasilkan *rainfall simulator* harus memenuhi minimal 70% (ASTM, 2019). Koefisien keseragaman menurut Christiansen dengan persamaan 1.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |xi - xr|}{n xr}\right) \times 100\% \quad (1)$$

xi adalah pengukuran air dalam pengamatan (ml), xr adalah nilai rata-rata pengamatan (ml), n adalah banyaknya data pengamatan.

Curah Hujan

Curah hujan adalah ketinggian air yang jatuh di permukaan tanah datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan salah satu faktor kontrol yang mudah diamati dalam siklus hidrologi.

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan, mm/tahun, dan sebagainya, yang berturut-turut sering disebut hujan jam-jaman, harian, mingguan, bulanan, tahunan, dan sebagainya (Triadmodjo, 2008). Adapun keadaan hujan dan intensitas hujan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Intensitas Hujan

| Keadaan Hujan | Intensitas Hujan (mm) | |
|---------------------|-----------------------|--------|
| | 1 Jam | 24 Jam |
| Hujan sangat ringan | <1 | <5 |
| Hujan ringan | 1-5 | 5-20 |
| Hujan normal | 5-10 | 20-50 |
| Hujan lebat | 10-20 | 50-100 |
| Hujan sangat lebat | >20 | >100 |

Sumber: Suryono Sosrodarsono, 1985 (Triadmodjo, 2008)

Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas curah hujan (mm/jam). Intensitas hujan dapat dihitung dengan persamaan 2.

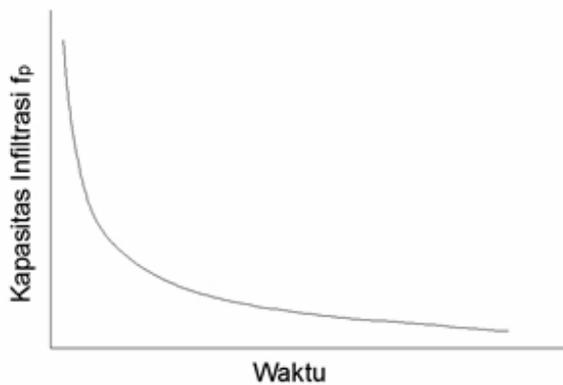
$$I = \frac{d}{t} \quad (2)$$

I adalah intensitas hujan (mm/jam), d adalah tinggi hujan (mm), t adalah waktu (jam).

Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah secara vertikal. Di dalam tanah air mengalir dalam arah lateral, sebagai aliran antara (*interflow*) menuju mata air, danau dan

sungai, atau secara vertikal, yang dikenal dengan perkolasi (*percolation*) menuju air tanah (Triadmodjo, 2008). Ketika hujan menyentuh permukaan tanah, air hujan masuk ke dalam tanah yang disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah. Setelah tanah basah, gerak kapiler berkurang sehingga menyebabkan penurunan laju infiltrasi. Berkurangnya gaya kapiler, aliran air berlanjut mengisi pori-pori tanah, hingga laju infiltrasi berangsur-angsur menjadi konstan. Ketika air hujan melampaui laju infiltrasi akan terjadi aliran permukaan. Kurva kapasitas infiltrasi disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kurva Kapasitas Infiltrasi (Triadmodjo, 2008)

Metode Horton

Metode Horton merupakan salah satu pengukuran empiris laju infiltrasi. Menurut Horton, kapasitas infiltrasi berkurang seiring bertambahnya waktu hingga mendekati nilai konstan. Horton menyatakan bahwa dibandingkan dengan proses aliran di dalam tanah, penurunan kapasitas infiltrasi ditentukan oleh komponen yang ada di permukaan tanah. Faktor yang mempengaruhi pengurangan laju infiltrasi seperti tutupan lahan, penutupan retakan tanah oleh koloid dan pembentukan kerak tanah, penghancuran struktur permukaan lahan dan pengangkutan partikel halus di permukaan tanah oleh tetesan hujan.

Kurva infiltrasi model Horton disajikan pada Gambar 2. Laju infiltrasi yang dikembangkan oleh Horton menggunakan persamaan 3

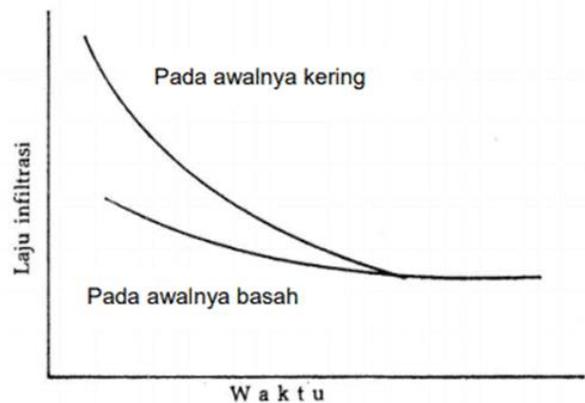
$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \quad (3)$$

f adalah laju infiltrasi saat t (cm/jam), f_o adalah laju infiltrasi awal (cm/jam), f_c adalah laju infiltrasi akhir (cm/jam), e adalah bilangan dasar logaritma Naperian (2,718), t adalah waktu yang dihitung dari mulainya hujan (jam), k adalah konstanta yang menunjukkan laju pengurangan kapasitas infiltrasi, dimana konstanta K diperoleh dengan menggunakan persamaan umum linier.

Kelembaban

Kelembaban tanah adalah air yang mengisi dan tersimpan sebagian atau seluruh pori-pori tanah. Menurut Yoerdy (2015) beberapa faktor yang mempengaruhi kelembaban tanah adalah tekstur tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik dan kedalaman solum tanah. Terdapat empat tekstur tanah utama, yaitu pasir, geluh, debu, dan lempung. Semakin halus tekstur tanah, maka pori-pori pada tanah akan semakin kecil, sehingga semakin tinggi kemampuan dalam menahan air yang berarti infiltrasi akan semakin kecil.

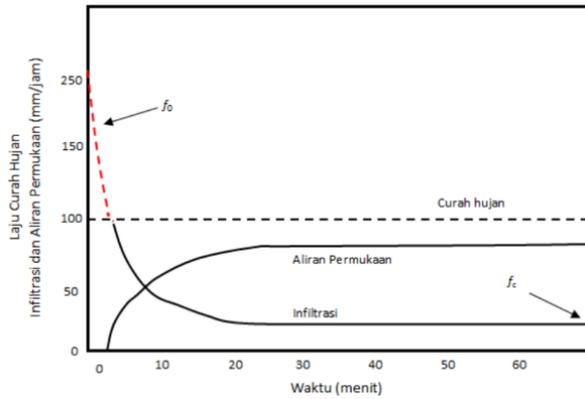
Menurut Harto (1993) menjelaskan bahwa kelembaban tanah yang selalu berubah setiap saat juga berpengaruh terhadap nilai laju infiltrasi. Semakin tinggi kadar air tanah maka laju infiltrasi dalam tanah tersebut semakin kecil. Hubungan kelembaban awal tanah dengan infiltrasi disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan Kelembaban Awal Tanah dengan Infiltrasi (Triadmodjo, 2008)

Limpasan

Limpasan adalah bagian dari curah hujan yang tidak terserap ke dalam tanah dan mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan. Aliran permukaan berlangsung ketika jumlah hujan melampaui laju infiltrasi air ke dalam tanah (Asdak, 2007). Limpasan terjadi akibat intensitas hujan yang turun melebihi kapasitas infiltrasi, saat laju infiltrasi terpenuhi maka air akan mengisi cekungan yang terdapat pada permukaan tanah. Air akan mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah setelah cekungan tersebut penuh dengan air. Hubungan curah hujan, infiltrasi dan aliran permukaan disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hubungan Curah Hujan, Infiltrasi dan Limpasan

Erosi Lembar/Permukaan

Erosi lembar adalah pengangkutan lapisan tanah yang merata tebalnya dari suatu permukaan bidang tanah (Arsyad, 1989 dalam Cahyadi, 2012). Erosi ini disebut juga sebagai erosi limpasan permukaan. Erosi permukaan tidak hanya disebabkan oleh gesekan aliran permukaan, tetapi juga disebabkan oleh gesekan material yang ikut terangkut oleh aliran permukaan.

Konsentrasi sedimen akan berkaitan dengan tingkat sedimentasi di muara sungai yang berpotensi menyebabkan pendangkalan (Triadmodjo, 1999). Untuk mengetahui jumlah sedimentasi tersuspensi dapat menggunakan metode *total suspended solid* (TSS). Total suspended solid (TSS) adalah residu dari padatan yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal $2\mu\text{m}$ atau lebih besar dari ukuran partikel koloid (BSN, 2004). Perhitungan nilai konsentrasi sedimen tersuspensi menggunakan persamaan 4.

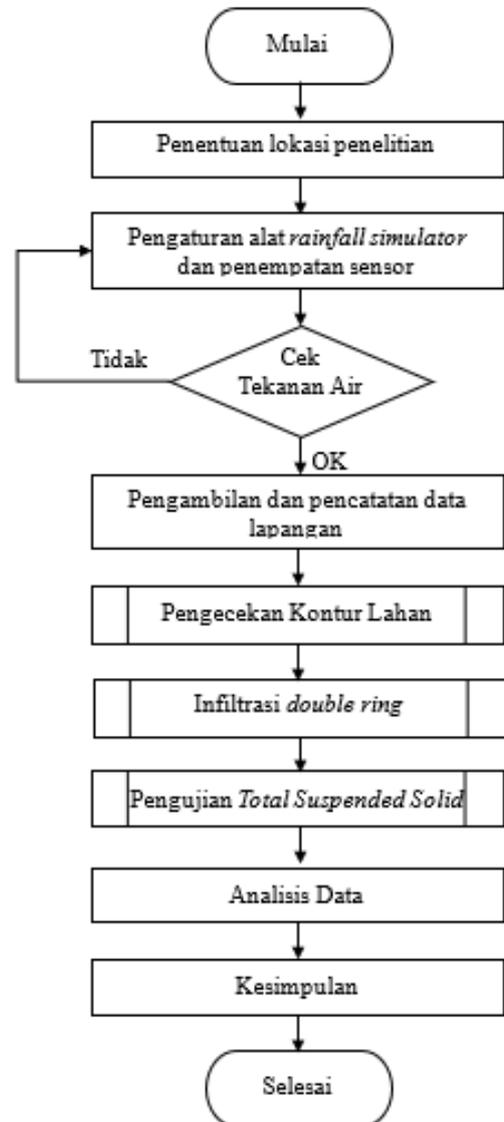
$$TSS = \frac{(A-B) \times 1000}{C} \quad (4)$$

TSS adalah *total suspended solid* (mg/L), A adalah berat kertas saring + residu kering (mg), B adalah berat kertas saring (mg), C adalah volume sampel uji (mL).

METODE

Penelitian dilakukan di Situ Cibuntu, tepatnya di belakang Gedung Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi - BRIN, Kawasan Sains dan Teknologi (KST) Dr. (Hc). Ir. Soekarno, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong, Bogor. Secara geografis Situ Cibuntu terletak pada titik koordinat S106o 51' 02" dan E6o 29' 02". Lokasi lahan diambil pada jarak yang berdekatan

sebagai asumsi memiliki sifat dan karakter fisik yang sama. Lahan 1 berupa hutan buatan sedangkan lahan 2 berupa lahan terbuka. Metode yang dilakukan pada penelitian dengan mengambil data lapangan yang meliputi infiltrasi, limpasan, kelembaban tanah dan kontur. Alur penelitian disajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Diagram Alir Prosedur Penelitian

Lokasi Penelitian

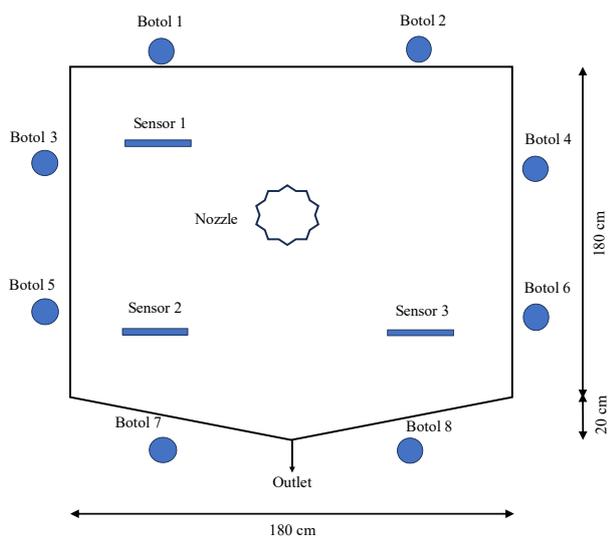
Lokasi lahan diambil 2 titik dengan jarak sekitar 2meter dengan alasan memiliki sifat dan karakter fisik yang sama. Pada lahan 2 setelah dibersihkan lahan kemudian diratakan dan dibiarkan selama 2 hari untuk mewakili kondisi perubahan tata guna lahan menjadi lahan terbuka. Kondisi lahan disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kondisi Lahan Penelitian

| Keterangan | Lahan 1 | Lahan 2 |
|---------------|--|--------------------------------|
| Kondisi Lahan | Tak Terusik | Terusik |
| Perlakuan | Alami, banyak tanaman pendek dan serasah | Dibersihkan dari tutupan lahan |
| Durasi Hujan | 45 menit | 50 menit |
| Kondisi Cuaca | Cerah, Tidak berangin | Mendung, Berangin |
| Tekanan Air | 2,25 bar | 2 bar |

Pengaturan Alat

Penempatan alat rainfall simulator dilakukan pada tengah area lahan. Nozzle ditempatkan setinggi 2,4meter dari permukaan lahan dengan posisi tegak, botol sampel diletakkan menyebar pada beberapa titik pada luar area pengujian dan soil moisture sensor ditempatkan menyebar pada lahan pengujian serta di setting pembacaan kelembaban otomatis setiap 1 menit. Area penempatan alat disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Penempatan Alat dan Sensor

Analisis Data

Analisis merupakan tahap untuk pengolahan data yang didapatkan untuk mendapatkan hasil penelitian. Dalam penelitian ini, analisis yang digunakan sebagai berikut.

1. Curah Hujan

Curah hujan dihitung dari sampel botol yang diletakkan pada beberapa titik di lahan penelitian dan durasi hujan. Perhitungan curah hujan dan intensitas hujan digunakan persamaan 5.

$$H = \frac{v}{A} \tag{5}$$

H adalah curah hujan tertampung (cm), v adalah volume (ml), A adalah luas mulut botol (cm²)

2. Polygon Thiessen

Polygon thiessen dihitung dengan sampel botol yang diletakkan pada beberapa titik sekitar area pengujian dengan luasan yang mewakili. Perhitungan polygon thiessen digunakan persamaan 6.

$$\bar{p} = \frac{A_1p_1 + A_2p_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \tag{6}$$

\bar{p} adalah hujan rerata kawasan, p1 adalah hujan pada stasiun, A1 adalah luas daerah yang mewakili stasiun.

3. Koefisien Keseragaman

Keseragaman distribusi curah hujan berdasarkan jumlah volume tertampung pada botol tampung. Perhitungan koefisien keseragaman digunakan persamaan 7.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |xi - xr|}{n xr}\right) \times 100\% \tag{7}$$

CU adalah Koefisien keseragaman (%), xi adalah pengukuran air dalam pengamatan (ml), xr adalah nilai rata-rata pengamatan (ml), n adalah banyaknya data.

4. Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE)

Perhitungan Efisiensi Nash-Sutcliffe yang digunakan disajikan pada Persamaan 8.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \tag{8}$$

NSE adalah Efisiensi Nash-Sutcliffe (%), Y_i^{obs} adalah data observasi ke-I, Y_i^{sim} adalah data simulasi ke-i, Y_i^{mean} adalah data observasi rata-rata, n adalah jumlah observasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Curah Hujan

Curah hujan dihitung dari botol sampel yang ditempatkan pada beberapa tempat di sekitar area lahan yang disimulasi hujan. Data dianalisis menggunakan metode *polygon thiessen*. *Polygon*

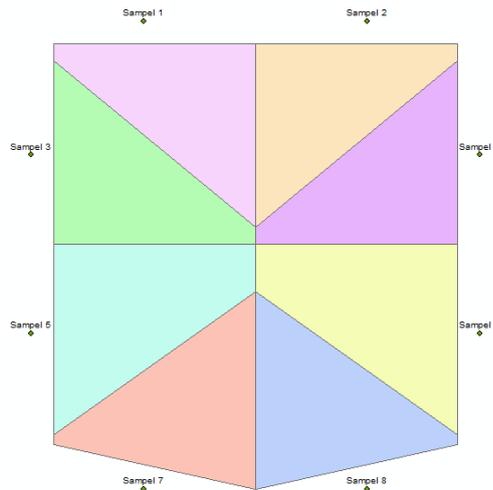
thiessen hasil analisis ArcGis 10.8 ditunjukkan pada **Tabel 3** dan **Gambar 6** sedangkan pengukuran curah hujan disajikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 3. Perhitungan Polygon Thiessen

| No Sampel | Luas Thiessen (m ²) | Koefisien Thiessen |
|-----------|---------------------------------|--------------------|
| Sampel 1 | 0.405 | 0.1184 |
| Sampel 2 | 0.405 | 0.1184 |
| Sampel 3 | 0.405 | 0.1184 |

| No Sampel | Luas Thiessen (m ²) | Koefisien Thiessen |
|-----------|---------------------------------|--------------------|
| Sampel 4 | 0.405 | 0.1184 |
| Sampel 5 | 0.482 | 0.1409 |
| Sampel 6 | 0.482 | 0.1409 |
| Sampel 7 | 0.418 | 0.1222 |
| Sampel 8 | 0.418 | 0.1222 |
| Total | 3.42 | 1 |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 6. Polygon Thiessen

Tabel 4. Intensitas Hujan pada Lahan 1 (tekanan 2,25 bar selama 45 menit)

| Botol | Vol (ml) | Luas mulut botol (cm ²) | Curah Hujan 45 menit (mm) | Intensitas Hujan (mm/jam) | Koefisien Thiessen | Intensitas Hujan Rata-Rata (mm/jam) | Intensitas Hujan Rata-rata (mm/min) |
|-------|----------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 220 | 18,096 | 121,57 | 162,10 | 0,1185 | 180,049 | 3,001 |
| 2 | 215 | | 118,81 | 158,42 | 0,1185 | | |
| 3 | 235 | | 129,86 | 173,15 | 0,1185 | | |
| 4 | 255 | | 140,92 | 187,89 | 0,1185 | | |
| 5 | 277 | | 153,07 | 204,10 | 0,1409 | | |
| 6 | 285 | | 157,75 | 209,97 | 0,1409 | | |
| 7 | 210 | | 116,05 | 154,73 | 0,1222 | | |
| 8 | 245 | | 125,39 | 180,52 | 0,1222 | | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Intensitas Hujan pada Lahan 2 (tekanan 2 bar selama 50 menit)

| Botol | Vol (ml) | Luas mulut botol (cm ²) | Curah Hujan 50 menit (mm) | Intensitas Hujan (mm/jam) | Koefisien Thiessen | Intensitas Hujan Rata-Rata (mm/jam) | Intensitas Hujan Rata-rata (mm/min) |
|-------|----------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 225 | 18,096 | 124,34 | 149,21 | 0,1185 | 134,42 | 2,240 |
| 2 | 195 | | 107,76 | 129,31 | 0,1185 | | |
| 3 | 260 | | 143,68 | 172,42 | 0,1185 | | |
| 4 | 200 | | 110,52 | 132,63 | 0,1185 | | |
| 5 | 200 | | 110,52 | 132,63 | 0,1409 | | |

| Botol | Vol (ml) | Luas mulut botol (cm ²) | Curah Hujan 50 menit (mm) | Intensitas Hujan (mm/jam) | Koefisien Thiessen | Intensitas Hujan Rata-Rata (mm/jam) | Intensitas Hujan Rata-rata (mm/min) |
|-------|----------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 6 | 230 | | 127,10 | 152,52 | 0,1409 | | |
| 7 | 150 | | 82,89 | 99,47 | 0,1222 | | |
| 8 | 160 | | 88,42 | 106,10 | 0,1222 | | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Keseragaman Curah Hujan

Uji keseragaman metode Christiansen digunakan untuk mengetahui kinerja dari alat rainfall simulator dalam memancarkan air secara merata. Hasil perhitungan keseragaman disajikan pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Tabel 6. Analisis Keseragaman Hujan Lahan 1

| No Sampel | Curah Hujan 45 Menit (mm) (xi) | xi-xr |
|----------------|--------------------------------|---------|
| 1 | 121,57 | 12,572 |
| 2 | 118,81 | 15,335 |
| 3 | 129,86 | 4,283 |
| 4 | 140,92 | 6,770 |
| 5 | 153,07 | 18,927 |
| 6 | 157,75 | 23,348 |
| 7 | 116,05 | 18,098 |
| 8 | 125,39 | 1,546 |
| Rata-rata (xr) | 134,15 | |
| Jumlah | | 100,880 |
| Keseragaman | 90,60% | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Analisis Keseragaman Hujan Lahan 2

| No Sampel | Curah Hujan 50 Menit (mm) (xi) | xi-xr |
|----------------|--------------------------------|---------|
| 1 | 134,34 | 12,434 |
| 2 | 107,76 | 4,145 |
| 3 | 143,68 | 31,776 |
| 4 | 110,52 | 1,382 |
| 5 | 110,52 | 1,382 |
| 6 | 127,10 | 15,197 |
| 7 | 82,89 | 29,013 |
| 8 | 88,42 | 23,486 |
| Rata-rata (xr) | 111,91 | |
| Jumlah | | 118,814 |
| Keseragaman | 86,73% | |

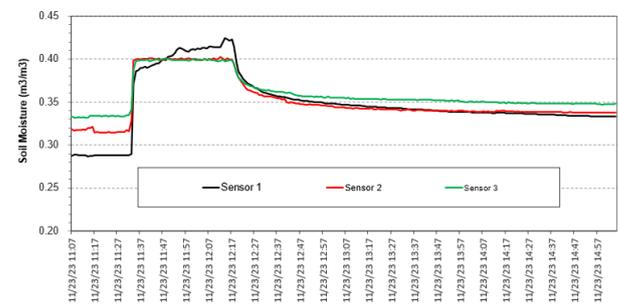
Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis keseragaman dengan metode Christiansen pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**, didapatkan hasil koefisien keseragaman (CU) sebesar 90,60% pada lahan 1 dan 86,73% pada lahan 2. Berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh American Standard of Agricultural Engineering (ASAE), pada lahan 1 memiliki sebaran hujan yang sangat baik, sedangkan lahan 2 memiliki sebaran

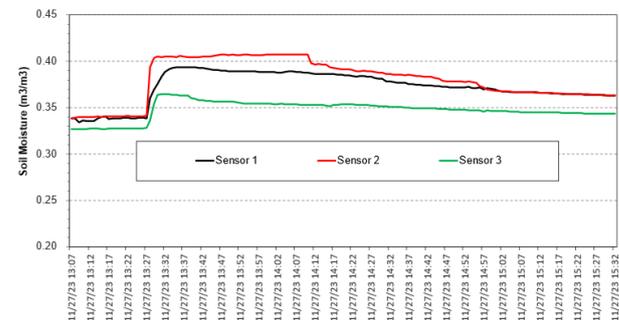
hujan yang baik.

Kelembaban Tanah (Soil Moisture)

Hasil dari pembacaan soil moisture sensor disajikan pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 7. Grafik Soil Moisture pada Lahan 1

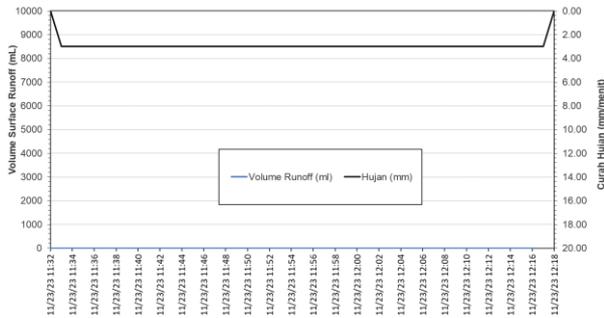


Gambar 8. Grafik Soil Moisture pada Lahan 2

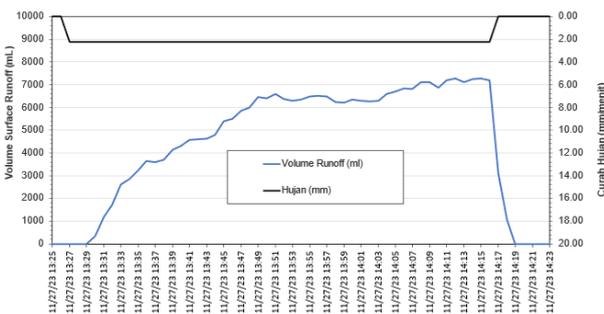
Kelembaban tanah dari kedua grafik menunjukkan kenaikan kelembaban tanah hingga maksimum di angka 40%. Hal tersebut menunjukkan bahwa, hujan yang turun akan meningkatkan kelembaban tanah hingga mencapai titik jenuh tanah.

Aliran Permukaan (Surface Runoff)

Grafik limpasan ditunjukkan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.

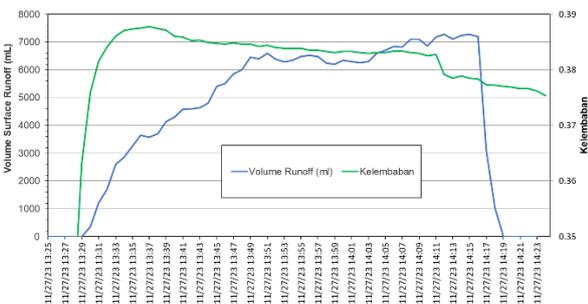


Gambar 9. Hubungan antara Curah Hujan dan Volume Limpasan Lahan 1



Gambar 10. Hubungan antara Curah Hujan dan Volume Limpasan Lahan 2

Pada lahan 1 tidak terjadi aliran setelah hujan 45 menit sedangkan pada lahan 2 terjadi runoff pada waktu 3 menit setelah hujan pertama kali turun. Hubungan kelembaban tanah berbanding lurus dengan volume runoff yang terjadi pada lahan. Hubungan antara kelembaban dan volume runoff disajikan pada Gambar 11.



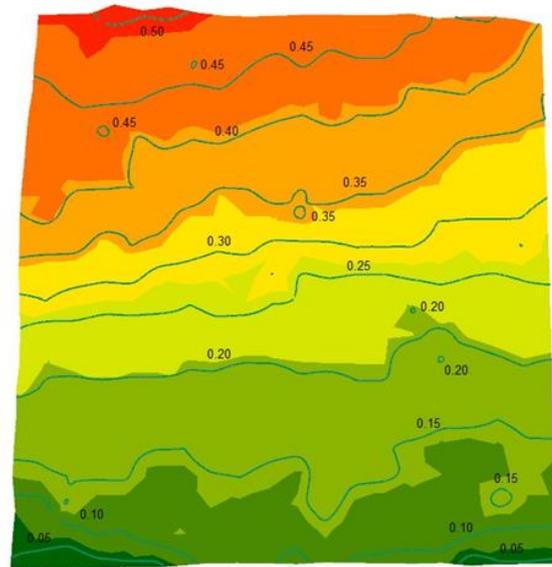
Gambar 11. Hubungan antara Kelembaban dan Volume Limpasan Lahan 2

Pada Gambar 12 hujan yang membasahi lahan menyebabkan peningkatan kadar air dalam tanah hingga mencapai kadar air maksimum (jenuh air). Kondisi peningkatan kadar air berbanding lurus dengan peningkatan aliran permukaan.

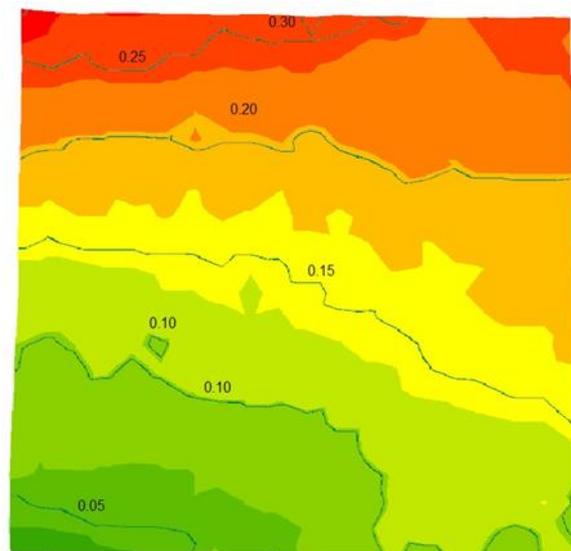
Kontur Lahan (Topografi)

Pengukuran topografi dilakukan dengan mengambil data beda tinggi dengan jarak setiap 10

cm menggunakan digital laser distance. Gambar topografi pada lahan 1 dan 2 disajikan pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.



Gambar 12. Topografi pada Lahan 1



Gambar 13. Topografi pada Lahan 2

Berdasarkan perhitungan didapatkan kemiringan lahan 1 sebesar 20%, kondisi lahan 1 termasuk klasifikasi agak curam sedangkan lahan 2 sebesar 9%, kondisi lahan 2 termasuk klasifikasi landai. Berdasarkan Gambar 15 lahan 1 memiliki kemiringan yang lebih tinggi, sehingga seharusnya lahan 1 lebih berpotensi untuk terjadinya surface run-off ketika hujan dibandingkan dengan Gambar 16 pada lahan 2.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tutupan lahan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap laju dan

kapasitas infiltrasi dibandingkan kemiringan pada lahan.

Pengukuran dilakukan selama 60 menit dengan memperhitungkan jeda penguangan air (*delay*) saat pengukuran, dengan rata-rata delay 2,32 detik atau 0,0388 menit. Hasil pengukuran infiltrasi di lapangan disajikan pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Pengukuran Infiltrasi

Pengukuran infiltrasi pada pengujian ini menggunakan alat *infiltrometer double ring*.

Tabel 8. Pengukuran Infiltrasi Lahan 1 (hutan buatan)

| Akumulasi Waktu, t (menit) | Interval Pengukuran (detik) | Interval Pengukuran (menit) | Interval Pengukuran + delay (menit) | Penurunan Air (mm) |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 5 | 300 | 5 | 5,388 | 137 |
| 10 | 600 | 5 | 5,388 | 66 |
| 15 | 900 | 5 | 5,388 | 55 |
| 20 | 1200 | 5 | 5,388 | 50 |
| 25 | 1500 | 5 | 5,388 | 49,5 |
| 30 | 1800 | 5 | 5,388 | 49 |
| 35 | 2100 | 5 | 5,388 | 49 |
| 40 | 2400 | 5 | 5,388 | 40 |
| 45 | 2700 | 5 | 5,388 | 39 |
| 50 | 3000 | 5 | 5,388 | 40 |
| 55 | 3300 | 5 | 5,388 | 40 |
| 60 | 3600 | 5 | 5,388 | 40 |

Sumber: Data Pengukuran

Tabel 9. Pengukuran Infiltrasi Lahan 2 (lahan terbuka)

| Akumulasi Waktu, t (menit) | Interval Pengukuran (detik) | Interval Pengukuran (menit) | Interval Pengukuran + delay (menit) | Penurunan Air (mm) |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 5 | 300 | 5 | 5,194 | 137 |
| 10 | 600 | 5 | 5,194 | 66 |
| 15 | 900 | 5 | 5,194 | 55 |
| 20 | 1200 | 5 | 5,194 | 50 |
| 25 | 1500 | 5 | 5,194 | 49,5 |
| 30 | 1800 | 5 | 5,194 | 49 |
| 35 | 2100 | 5 | 5,194 | 49 |
| 40 | 2400 | 5 | 5,194 | 40 |
| 45 | 2700 | 5 | 5,194 | 39 |
| 50 | 3000 | 5 | 5,194 | 40 |
| 55 | 3300 | 5 | 5,194 | 40 |
| 60 | 3600 | 5 | 5,194 | 40 |

Sumber: Data Pengukuran

Analisis Perhitungan Nilai Kapasitas Infiltrasi

Perhitungan kapasitas infiltrasi menggunakan rumus metode Horton. Hasil ringkasan hasil perhitungan disajikan pada **Tabel 10** dan **Tabel 11**.

Tabel 10. Perhitungan Parameter Infiltrasi Lahan 1 (Hutan Buatan)

| Akumulasi Waktu, t (menit) | Pengukuran Infiltrasi (ft) | Laju Infiltrasi Akhir (fc) | ft-fc | log (ft-fc) |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|-------------|
| 5 | 127,134 | 7,424 | 90,015 | 6,026 |
| 10 | 61,247 | | 24,128 | 3,364 |
| 15 | 51,039 | | 13,920 | 2,121 |
| 20 | 46,399 | | 9,280 | 1,343 |
| 25 | 45,935 | | 8,816 | 1,218 |
| 30 | 45,471 | | 8,352 | 1,042 |
| 35 | 45,471 | | 8,352 | 1,042 |
| 40 | 37,120 | | 0 | 0 |
| 45 | 36,192 | | -0,928 | 0 |
| 50 | 37,120 | | 0 | 0 |
| 55 | 37,120 | | 0 | 0 |
| 60 | 37,120 | | 0 | 0 |

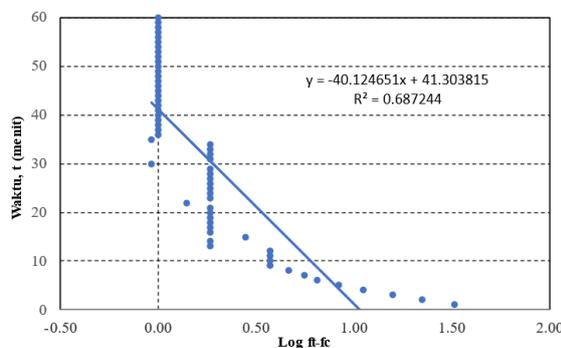
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 11. Perhitungan Parameter Infiltrasi Lahan 2 (Lahan Terbuka)

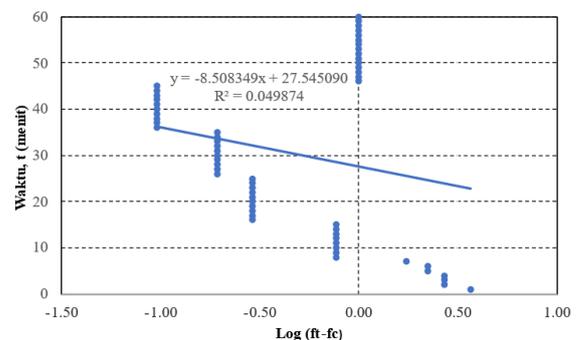
| Akumulasi Waktu, t (menit) | Pengukuran Infiltrasi (ft) | Laju Infiltrasi Akhir (fc) | ft-fc | log (ft-fc) |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|-------------|
| 5 | 14,921 | 0,193 | 13,958 | 2,003 |
| 10 | 7,220 | | 6,257 | 0,244 |
| 15 | 4,813 | | 3,851 | -0,567 |
| 20 | 2,407 | | 1,444 | -2,697 |
| 25 | 2,407 | | 1,444 | -2,697 |
| 30 | 1,925 | | 0,963 | -3,577 |
| 35 | 1,925 | | 0,963 | -3,577 |
| 40 | 1,444 | | 0,481 | -5,083 |
| 45 | 1,444 | | 0,481 | -5,083 |
| 50 | 0,963 | | 0 | 0 |
| 55 | 0,963 | | 0 | 0 |
| 60 | 0,963 | | 0 | 0 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan pada Tabel 10 dan 11, nilai t dan log (ft-fc) digambarkan sebagai kurva untuk mencari gradien m, seperti pada kurva pada **Gambar 14** dan **Gambar 15**.



Gambar 14. Kurva Log (ft-fc) Lahan 1 (Hutan Buatan)



Gambar 15. Kurva Log (ft-fc) Lahan 2 (Lahan Terbuka)

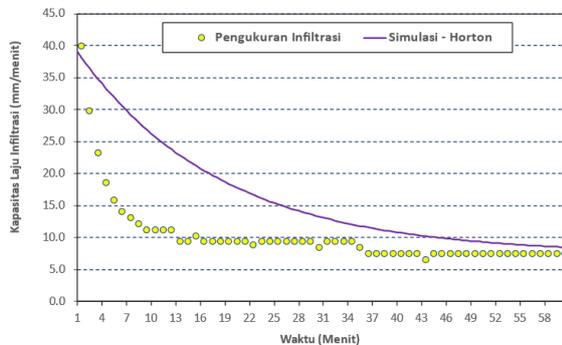
Dari persamaan linier pada Gambar 14 dan 15 maka parameter infiltrasi yang diperoleh perhitungan laju infiltrasi yang disajikan pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Laju Infiltrasi

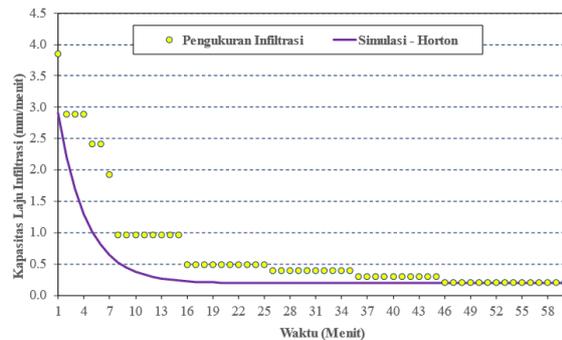
| Uraian | Satuan | Jenis Lahan | |
|----------------|----------|------------------------------|-----------------------------|
| | | Lahan 1 | Lahan 2 |
| Gradien m | - | -40,125 | -7.706 |
| R ² | - | 0,687 | 0.050 |
| k (konstanta) | - | 0,057 | 0.299 |
| fo | mm/menit | 39,903 | 3.851 |
| fc | mm/menit | 7,424 | 0.193 |
| ft (Horton) | mm/menit | $7,424 + 32,479e^{-0,057.t}$ | $0,193 + 3,658e^{-0,299.t}$ |

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan, gambar kurva persamaan infiltrasi model Horton pada lahan 1 (hutan buatan) dan lahan 2 (lahan terbuka) disajikan pada **Gambar 16** dan **Gambar 17**.



Gambar 16. Kurva Persamaan Infiltrasi Model Horton Lahan 1



Gambar 17. Kurva Persamaan Infiltrasi Model Horton Lahan 2

Efisiensi Model Nash-Sutcliffe (NSE)

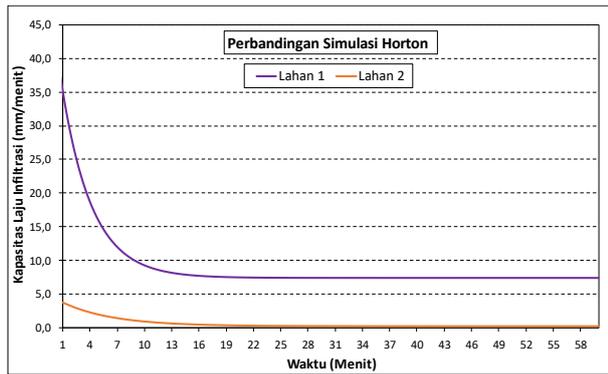
Kurva yang dihasilkan dari persamaan yang sudah dihitung belum memiliki pola yang menyerupai dengan pengukuran di lapangan. Oleh karena itu, maka dilakukan penyesuaian (adjusted) konstanta (K) dan laju infiltrasi awal (fo).

Penyesuaian dilakukan dengan Microsoft Excel dengan mencoba merubah nilai K dan fo dengan angka secara acak hingga mendapatkan angka kesesuaian infiltrasi di lapangan dengan pemodelan horton diatas 75%. Hasil dari penyesuaian konstanta (K) dan laju infiltrasi awal (fo) disajikan pada **Tabel 13** dan grafik perbandingan infiltrasi pada lahan 1 dan 2 disajikan pada **Gambar 18**.

Tabel 13. Perubahan (*Adjusted*) nilai K dan fo

| Uraian | Lahan 1 | | Lahan 2 | |
|---------------------------|------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | Awal | Adjusted | Awal | Adjusted |
| Konstanta (K) | 0,057 | 0,3 | 0,299 | 0,180 |
| Laju infiltrasi awal (fo) | 39,903 | 45,00 | 3,851 | 4,5 |
| NSE | 93,7% | | 92,5% | |
| ft (Horton) adjusted | $7,424 + 37,576e^{-0,300.t}$ | | $0,193 + 3,658e^{-0,140.t}$ | |

Sumber: Hasil Perhitungan



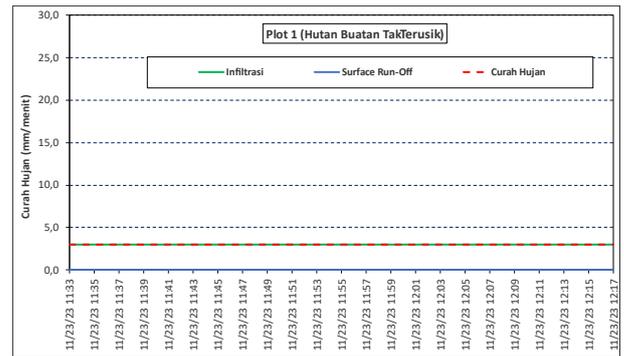
Gambar 18. Perbandingan Kapasitas Laju Infiltrasi pada Lahan 1 dan 2

Berdasarkan perhitungan, pada lahan 1 menunjukkan laju infiltrasi minimum sebesar 7,42 mm/menit atau 44,52 cm/jam, sedangkan pada lahan 2 menunjukkan laju infiltrasi minimum sebesar 0,19 mm/menit atau 1,15 cm/jam. Berdasarkan klasifikasi yang diberikan Uhland and O’Neal (1951) dalam Salsabila & Nugrahaeni (2020) lahan 1 termasuk kedalam klasifikasi infiltrasi sangat cepat sedangkan lahan 2 termasuk klasifikasi infiltrasi agak lambat. Lahan dengan tanaman (vegetasi) lebih banyak menyerap air, yang disebabkan oleh adanya bahan organik, mikroorganismenya dan akar tanaman yang menambah pori pada tanah (porositas).

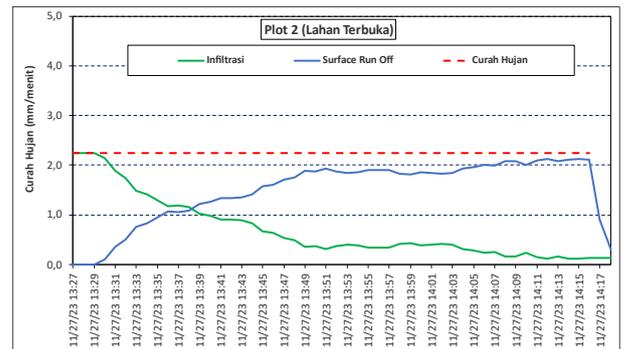
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perubahan fungsi tata guna lahan dapat menyebabkan perubahan kapasitas infiltrasi. Rendahnya bahan organik dapat mempengaruhi pemampatan agregat akibatnya tanah mudah hancur saat terkena air hujan atau saat tergenangi sehingga pori tanah tersumbat oleh butiran-butiran tanah yang terdispersi dan menurunkan laju infiltrasi (Yunagardasari dkk, 2017).

Hubungan Laju Infiltrasi Terhadap Aliran Permukaan

Hubungan antara curah hujan, infiltrasi dan Aliran Permukaan adalah keseimbangan curah hujan yang masuk ke area lahan simulasi, nilainya sama dengan besarnya infiltrasi dan aliran permukaan. Grafik hubungan laju infiltrasi terhadap aliran permukaan disajikan pada **Gambar 19** dan **Gambar 20**.



Gambar 19. Hubungan Laju Infiltrasi dan Aliran Permukaan pada Lahan 1



Gambar 20. Hubungan Laju Infiltrasi dan Aliran Permukaan pada Lahan 2

Berdasarkan **Gambar 19** ditunjukkan bahwa curah hujan konstan sebesar 3,001 mm/menit yang turun pada lahan 1 terinfiltrasi semuanya ke dalam tanah. Pada hari yang lain dilakukan pengujian infiltrasi dengan hasil yang telah ditunjukkan pada **Gambar 18** bahwa laju infiltrasi minimum pada lahan 1 sebesar 7,42 mm, berdasarkan dua pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa pada lahan 1 tidak terjadi aliran permukaan dikarenakan curah hujan yang turun tidak dapat memenuhi laju infiltrasi minimum pada lahan 1.

Gambar 20 ditunjukkan bahwa curah hujan konstan sebesar 2,240 mm/menit yang turun pada lahan 2. Setelah 3 menit setelah hujan turun mulai terjadi runoff pada lahan 2, nilai runoff yang terjadi semakin besar dengan berkurangnya nilai infiltrasi seiring dengan berjalannya waktu. Pada hari yang lain dilakukan pengujian infiltrasi dengan hasil yang telah ditunjukkan pada **Gambar 18** bahwa laju infiltrasi awal sebesar 4,5 mm dan laju infiltrasi minimum sebesar 0,19 mm/menit. Berdasarkan dua pengujian yang telah dilakukan terjadi persamaan bahwa laju infiltrasi awal yang lebih besar dari curah hujan menyebabkan lahan tidak langsung terjadi runoff.

Hasil pengujian yang telah dilakukan memiliki kesimpulan yang sama dengan pengujian yang telah dilakukan oleh (Ramehiang & Rombang, 2019) yang menunjukkan bahwa lahan terbuka memiliki koefisien aliran permukaan yang tinggi dibandingkan dengan hutan.

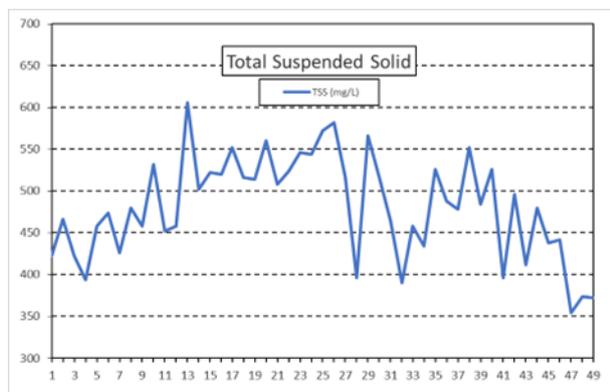
Pengujian TSS ditujukan untuk mencari besarnya sedimentasi tersuspensi yang terbawa oleh limpasan. Pengujian hanya dilakukan pada lahan 2, dikarenakan hanya lahan 2 yang terjadi aliran permukaan. Hasil dari pengujian *Total Suspended Solid* (TSS) pada lahan 2 disajikan pada **Tabel 14** dan grafik sebaran TSS disajikan pada **Gambar 21**.

Total Suspended Solid (TSS)

Tabel 14. Hasil Pengujian Total Suspended Solid

| No Sampel | TSS (mg/L) | Volume Runoff (mL) | Sedimen Runoff (gr) | No Sampel | TSS (mg/L) | Volume Runoff (mL) | Sedimen Runoff (gr) |
|-----------|------------|--------------------|---------------------|-----------|------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 422 | 350 | 0,1477 | 26 | 582 | 6480 | 3,7714 |
| 2 | 466 | 1200 | 0,5592 | 27 | 516 | 6520 | 3,3643 |
| 3 | 422 | 1700 | 0,7174 | 28 | 396 | 6480 | 2,5661 |
| 4 | 394 | 2600 | 1,0244 | 29 | 566 | 6240 | 3,5318 |
| 5 | 458 | 2850 | 1,3053 | 30 | 516 | 6200 | 3,1992 |
| 6 | 474 | 3250 | 1,5405 | 31 | 464 | 6340 | 2,9418 |
| 7 | 426 | 3640 | 1,5506 | 32 | 390 | 6300 | 2,4570 |
| 8 | 480 | 3580 | 1,7184 | 33 | 458 | 6260 | 2,8671 |
| 9 | 458 | 3700 | 1,6946 | 34 | 434 | 6300 | 2,7342 |
| 10 | 532 | 4140 | 2,2025 | 35 | 526 | 6600 | 3,4716 |
| 11 | 452 | 4300 | 1,9436 | 36 | 488 | 6700 | 3,2696 |
| 12 | 458 | 4580 | 2,0976 | 37 | 478 | 6850 | 3,2743 |
| 13 | 606 | 4590 | 2,7815 | 38 | 552 | 6820 | 3,7646 |
| 14 | 502 | 4640 | 2,3293 | 39 | 484 | 7100 | 3,4364 |
| 15 | 522 | 4800 | 2,5056 | 40 | 526 | 7100 | 3,7346 |
| 16 | 520 | 5400 | 2,8080 | 41 | 396 | 6860 | 2,7166 |
| 17 | 552 | 5500 | 3,0360 | 42 | 496 | 7180 | 3,5613 |
| 18 | 516 | 5860 | 3,0238 | 43 | 412 | 7280 | 2,9994 |
| 19 | 514 | 6000 | 3,0840 | 44 | 480 | 7110 | 3,4128 |
| 20 | 560 | 6450 | 3,6120 | 45 | 438 | 7240 | 3,1711 |
| 21 | 508 | 6400 | 3,2512 | 46 | 442 | 7280 | 3,2178 |
| 22 | 524 | 6600 | 3,4584 | 47 | 354 | 7200 | 2,5488 |
| 23 | 546 | 6380 | 3,4835 | 48 | 374 | 3100 | 1,1594 |
| 24 | 544 | 6280 | 3,4163 | 49 | 372 | 1050 | 0,3906 |
| 25 | 572 | 6340 | 3,6265 | | | | |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 21. Grafik Sebaran *Total Suspended Solid* (TSS)

Berdasarkan hasil pengujian, pada curah hujan 134,42 mm/jam selama 50 menit pada area pengujian seluas 3,420 m². Air yang masuk ke dalam area pengujian sebanyak 383,099 liter, didapatkan jumlah limpasan permukaan (*Surface Water Yield*) sebesar 263,72 liter. Sedangkan total sedimen hasil erosi yang terjadi (*Sediment Yield*) sebesar 128,4796 gram.

Hasil pengujian yang telah dilakukan berbanding lurus dengan penelitian yang dilakukan oleh (Salim dkk, 2019) yang menunjukkan bahwa perubahan fungsi hutan akan meningkatkan limpasan dan potensi erosi. Pada pengujian yang

telah dilakukan pada lahan 1 tidak terdapat limpasan, sehingga tidak terjadi erosi, sedangkan pada lahan 2 terdapat limpasan yang menyebabkan erosi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Infiltrasi pada lahan hutan buatan sebesar 7,42 mm/menit atau 44,52 cm/jam, sedangkan pada lahan terbuka menunjukkan laju infiltrasi minimum sebesar 0,19 mm/menit atau 1,15 cm/jam.
2. Pada lahan 1 intensitas hujan rata-rata sebesar 3,001 mm/ menit atau 180,049 mm/jam sedangkan pada lahan 2 intensitas hujan rata-rata sebesar 2,240 mm/menit atau 134,42 mm/jam. Berdasarkan klasifikasi intensitas hujan, pada lahan 1 dan lahan 2 termasuk ke dalam klasifikasi hujan sangat lebat.
3. Hasil uji keseragaman Christiansen pada lahan 1 sebesar 96,60% dan lahan 2 sebesar 86,73%. Berdasarkan klasifikasi, lahan 1 dan 2 termasuk ke dalam klasifikasi keseragaman yang sangat baik.
4. Pada lahan hutan buatan tidak terjadi aliran permukaan (runoff), dikarenakan intensitas hujan masih berada dibawah kapasitas infiltrasi. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi hutan secara hidrologis sebagai tempat penyerapan dan penyimpanan air di dalam tanah berjalan dengan baik. Lahan dengan tanaman (vegetasi) lebih banyak menyerap air, yang disebabkan oleh adanya bahan organik, mikroorganisme dan akar tanaman yang menambah pori pada tanah (porositas).
5. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tutupan lahan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap laju dan kapasitas infiltrasi dibandingkan kemiringan pada lahan.
6. Berdasarkan hasil pengujian pada lahan terbuka, pada curah hujan 134,42 mm/jam selama 50 menit pada area pengujian seluas 3,420 m². Air yang masuk ke dalam area pengujian sebanyak 383,099 liter, didapatkan jumlah limpasan permukaan (Surface Water Yield) sebesar 263,72 liter. Sedangkan total sedimen hasil erosi yang terjadi (Sediment Yield) sebesar 128,4796 gram.
7. Perubahan fungsi lahan dari hutan menjadi lahan terbuka menyebabkan perubahan respon hidrologi, yang menyebabkan potensi terjadinya banjir akibat berkurangnya lahan yang

permeabel, sehingga hujan banyak yang melimpas.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials*. (2019). *Standard Test Method for Determination of Rolled Erosion Control Product (RECP) Performance in Protecting Hillslopes from Rainfall-Induced Erosion*. In: 10. *Standard for Test Method: American Society for Testing and Materials*.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi ke-2. Bogor: IPB Press.
- Asdak C. (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.3-2004: Air dan Air limbah Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Cahyadi, Ahmad. (2012). *Kajian Permasalahan Daerah Aliran Sungai Juwet Kabupaten Gunungkidul Dan Usulan Penanggulangannya*. Seminar Nasional Geospatial Day 2012. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Harto S. (1993). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Ramehiang, I., & Rombang, J. (2019). *Analisis Koefisien Aliran Permukaan pada Tiga Tipe Penggunaan Lahan di Tanah Andisol*. In COCOS (Vol. 1, No. 5).
- Salim, A. G., Dharmawan, I. W. S., & Narendra, B. H. (2019). *Pengaruh luas tutupan lahan hutan terhadap karakteristik hidrologi DAS Citarum Hulu*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 17(2).
- Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). *Pengantar Hidrologi*. Anugrah Utama Raharja, Lampung.
- Triadmodjo, Bambang. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Yoerdy, A. S. (2015). *Hubungan Iklim dengan Kejadian Diare Berdasarkan Topografi Wilayah pada Dua Kabupaten di Sumatera Barat Tahun 2010- 2014*. Doctoral dissertation, Universitas Andalas.
- Yunagardasari, Cindy., Paloloang, Abdul Kadir., Monde, Anthon. (2017). *Model Infiltrasi pada Berbagai Penggunaan Lahan di Desa Tulo Kecamatan Dolo Kabupaten Sigi*. E-J. Agrotekbis 5 (3)