

PENGARUH KEMIRINGAN LERENG TERHADAP INFILTRASI AIR HUJAN MENGUNAKAN MODEL GREEN-AMPT

Isma Nurul Fadhillah¹, Bambang Setiawan² dan Cahyono Ikhsan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36. Jebres, Surakarta,
Jawa Tengah

Email: 1ismanurulfaa@student.uns.ac.id, 2bambangsetiawan@staff.uns.ac.id, 3cahyonoikhsan@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Curah hujan tinggi dapat memicu longsor karena air yang meresap ke dalam tanah mengisi rongga udara dan menjadikannya jenuh. Infiltrasi air hujan ke dalam tanah disebabkan oleh faktor geologis dan hidrologis seperti tekstur tanah, struktur dan porositas tanah, kemiringan lereng, intensitas dan durasi hujan, serta penggunaan lahan. Kemiringan lereng dapat mempengaruhi laju dan kedalaman infiltrasi air hujan melalui perubahan dalam distribusi air permukaan dan perkolasi ke dalam tanah. Analisis hidrologi perlu dilakukan untuk mengetahui besarnya intensitas hujan dalam durasi tertentu untuk menentukan besarnya infiltrasi air hujan yang masuk ke dalam permukaan tanah pada lereng. Hasil analisis hidrologi berupa intensitas hujan sebesar 10,80 mm/jam hingga 37,01 mm/jam pada kala ulang hujan 2 tahun hingga 200 tahun, dengan durasi hujan tetap berlangsung selama 6 jam. Analisis infiltrasi pada lereng dilakukan dengan metode Green-Ampt, karena metode tersebut mampu menggambarkan dinamika infiltrasi berdasarkan sifat-sifat fisik tanah. Hasil analisis laju infiltrasi pada kemiringan lereng 0°, 25°, 45°, 60°, dan 75° menghasilkan nilai antara 0,636 mm/jam hingga 0,493 mm/jam, bergantung pada besaran intensitas hujan dan kecuraman lereng. Nilai kedalaman tanah jenuh yang dihasilkan juga bergantung pada tingkat kemiringan lereng dan intensitas hujan, yaitu antara 30,515 cm hingga 26,627 cm. Hasil penelitian menghasilkan nilai laju infiltrasi yang lebih cepat pada lereng yang lebih landai, dan lebih lambat pada lereng curam. Kedalaman infiltrasi semakin dalam pada kemiringan lereng landai, dan semakin dangkal pada lereng dengan kemiringan curam.

Kata kunci: Green-Ampt, hujan, infiltrasi, kemiringan lereng

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis dengan curah hujan tinggi, terutama saat musim penghujan. Wilayah di Indonesia berpotensi mengalami hujan yang dapat menyebabkan banjir dan longsor, merusak infrastruktur, mengganggu transportasi, dan bahkan menimbulkan kerugian manusia dan ekonomi yang signifikan (Astuti & Sudarsono, 2018; Prayoga & Ahdika, 2021; Suhadi dkk., 2023). Tanah longsor dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perubahan iklim, tingkat pelapukan, kemiringan lereng, curah hujan, struktur geologi, dan intensitas gempa bumi (Gariano & Guzzetti, 2016; Iswahyudi dkk., 2021; Putra & Wardika, 2021; Retyanto, 2016). Curah hujan yang tinggi dapat memicu longsor karena air yang meresap ke dalam tanah mengisi rongga udara, menyebabkan peningkatan massa tanah dan menjadikannya jenuh. Longsor pada lereng saat musim hujan terjadi karena infiltrasi air yang menyebabkan tanah jenuh dan perubahan karakteristik tanah (Hidayat, 2020; Sitepu dkk., 2017).

Infiltrasi air hujan merupakan proses penting dalam siklus hidrologi yang mempengaruhi keseimbangan air tanah dan ketersediaan air bagi ekosistem serta aktivitas manusia. Beberapa faktor geologis dan hidrologis yang berpengaruh terhadap infiltrasi air hujan yaitu tekstur tanah, struktur dan porositas tanah, kemiringan lereng yang mengatur aliran permukaan (*surface run-off*), intensitas dan durasi hujan, serta dampak penggunaan lahan (Andayono & Palinto, 2023; Arianto dkk., 2021; Irawan & Yuwono, 2016; Sapkota dkk., 2019; Septriana dkk., 2020). Salah satu faktor yang berperan signifikan dalam proses infiltrasi adalah kemiringan lereng (Qur'ani dkk., 2022). Kemiringan lereng dapat mempengaruhi laju dan kedalaman infiltrasi air hujan melalui perubahan dalam distribusi air permukaan dan perkolasi ke dalam tanah.

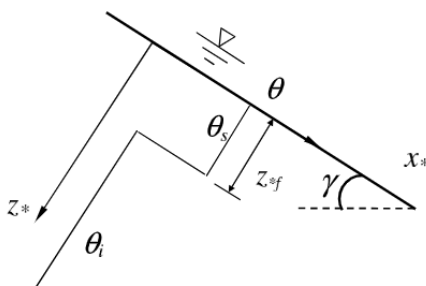
Analisis hidrologi dilakukan pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai hujan rencana kala ulang, yang nantinya digunakan untuk menghitung nilai intensitas hujan dengan durasi hujan selama waktu tertentu. Intensitas dan durasi hujan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap laju infiltrasi air hujan dalam tanah (Chen & Young, 2006). Intensitas hujan mengacu pada jumlah air hujan yang jatuh dalam waktu tertentu, sementara durasi hujan

Corresponding Author

E-mail Address : ismanurulfaa@student.uns.ac.id,

mencerminkan lamanya periode hujan berlangsung. Kedua faktor ini secara langsung mempengaruhi kemampuan tanah untuk menyerap air hujan. Intensitas hujan yang tinggi cenderung menyebabkan aliran permukaan yang lebih cepat dan meningkatkan risiko erosi, yang dapat mengurangi waktu yang tersedia bagi air hujan untuk meresap ke dalam tanah (Staddal dkk., 2017). Hujan dengan durasi yang lebih lama memberikan waktu lebih banyak bagi air hujan untuk meresap ke dalam tanah, terutama jika intensitasnya sedang hingga rendah.

Penelitian ini menggunakan model Green-Ampt untuk menganalisis pengaruh kemiringan lereng terhadap infiltrasi air hujan. Model infiltrasi Green-Ampt merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam studi hidrologi karena kemampuannya dalam menggambarkan dinamika infiltrasi berdasarkan sifat-sifat fisik tanah. Model ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti kapasitas infiltrasi awal, koefisien permeabilitas tanah, kelembaban tanah, dan *suction head*, sehingga memungkinkan estimasi yang lebih akurat terhadap laju dan kedalaman infiltrasi (Chen & Young, 2006).



Gambar 1. Sketsa infiltrasi pada lereng (L. Chen & Young, 2006)

Metode Green-Ampt adalah metode yang dipakai untuk menganalisis laju infiltrasi jenuh pada tanah saat hujan berlangsung. Laju infiltrasi merupakan fungsi dari parameter hidraulik tanah yaitu permeabilitas, *suction head*, dan kelembaban tanah (Green & Ampt, 1911). Parameter hidraulik tanah mempunyai hubungan erat dengan dengan karakteristik fisik tanah, hubungan kedua hal tersebut dapat diformulasikan dengan penelitian empirik. Chen & Young (2006) mengembangkan persamaan-persamaan dari Green-Ampt untuk diaplikasikan pada lereng dengan kemiringan tertentu. Infiltrasi untuk daerah yang tergenang air atau *ponded infiltration*, berdasarkan hukum Darcy, seperti pada Gambar 1.

Parameter Green-Ampt untuk berbagai jenis dan tekstur tanah diteliti oleh (Rawls dkk., 1983), seperti pada Tabel 1. Jenis tanah untuk parameter tersebut dibagi menjadi beberapa jenis, seperti pasir, pasir berlumpur, lumpur berpasir, lumpur, lumpur berlanau, lumpur berpasir-berlempung, lumpur berlempung, lumpur berlanau-berlempung, lempung berpasir, lempung berlanau, dan lempung.

Tabel 1. Parameter Green-Ampt untuk berbagai jenis dan tekstur tanah (Rawls dkk., 1983)

Jenis Tanah	Total porosity, ϕ	Effective porosity, θ_e	Wetted front capillary pressure, ψ_f (cm)	Koefisien permeabilitas, K (cm/jam)
Sand	0,437	0,417	4,95	11,78
Loamy sand	0,437	0,401	6,13	2,99
Sandy loam	0,453	0,412	11,01	1,09
Loam	0,463	0,434	8,89	0,34
Silt loam	0,501	0,486	16,68	0,65
Sandy clay loam	0,398	0,330	21,85	0,15
Clay loam	0,464	0,309	20,88	0,10
Silty clay loam	0,471	0,432	27,30	0,10
Sandy clay	0,430	0,321	23,90	0,06
Silty clay	0,479	0,423	29,22	0,05
Clay	0,475	0,385	31,63	0,03

Studi ini melakukan eksperimen komparatif laju dan kedalaman infiltrasi pada berbagai kemiringan lereng menggunakan model Green-Ampt. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang mendalam mengenai hubungan antara kemiringan lereng dan infiltrasi air hujan, serta pengaruh besaran intensitas hujan terhadap infiltrasi dalam durasi waktu hujan tertentu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah untuk pengelolaan lahan yang lebih efektif dan efisien.

2. METODE

Penelitian ini menganalisis pengaruh kemiringan lereng terhadap infiltrasi air hujan di kawasan Desa Girilayu, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Data curah hujan yang diperoleh merupakan data dari stasiun hujan Tawangmangu, dengan periode hujan 20 tahun (2004 hingga 2023), seperti disajikan pada Tabel 2. Data tanah yang digunakan berjenis lanau berlumpur (*silt loam*), yang diperoleh dari (Moses, 2022). Sampel tanah yang diambil pada lokasi penelitian merupakan tanah pada kedalaman 1 m, dengan cara bor tangan. Data parameter tanah disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data curah hujan harian maksimum tahunan stasiun Tawangmangu

Tahun	Tinggi Hujan (mm)	Tahun	Tinggi Hujan (mm)
2004	124	2014	72
2005	94	2015	87
2006	102	2016	131
2007	185	2017	176
2008	152	2018	86
2009	143	2019	44
2010	179	2020	28
2011	93	2021	25
2012	227	2022	73
2013	101	2023	94

Tabel 3. Data parameter tanah

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Kadar air jenuh	w_{sat}	%	51,9
Kepadatan volume jenuh	ρ_{sat}	g/cm ³	1,72392
Kepadatan volume basah	ρ_b	g/cm ³	1,7
Kadar air	w	%	49,81
<i>Specific gravity</i>	G_s		2,61
Kohesi	c	kPa	3,33
Sudut geser dalam	ϕ	°	28,16
<i>Atterberg limit</i>			
- Batas cair	LL	%	45,58
- Batas plastis	PL	%	30,63
- Indeks plastisitas	PI	%	15,95
<i>Grainsize</i>			
- Gravel	G	%	0,05
- Sand	S	%	10,86
- Silt	M	%	76,24
- Clay	C	%	12,84
Klasifikasi tanah USDA	Lanau berlumpur (<i>silt loam</i>)		
Kepadatan volume kering	ρ_d	g/cm ³	1,13
Angka pori	e		1,3
Porositas	n		0,57
Koefisien permeabilitas	k	cm/detik	$7,84 \times 10^{-6}$
		cm/jam	0,03
Derajat kejenuhan	S_r	%	100

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan hujan rencana kala ulang dan intensitas hujan pada lokasi tinjauan. Nilai intensitas hujan yang telah dikalkulasi kemudian digunakan sebagai bahan perhitungan infiltrasi. Tahapan analisis hidrologi dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut,

1. Uji konsistensi data hujan dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*),
2. Uji distribusi probabilitas menggunakan metode Gumbel
3. Uji kecocokan distribusi dengan metode Smirnov-Kolmogorof,
4. Perhitungan intensitas hujan dengan metode Mononobe dengan durasi hujan 6 jam, dengan mengasumsikan kondisi hujan yang terjadi merupakan hujan tetap (*steady rainfall*).

Salah satu parameter hidrologi lain yang diperhitungkan adalah *ponding depth*. Penelitian ini menganalisis *ponding depth* menggunakan persamaan limpasan permukaan (*surface run-off*) metode SCS saat hujan terjadi.

Analisis Infiltrasi

Analisis infiltrasi air hujan digunakan untuk mengetahui nilai laju infiltrasi dan kedalaman infiltrasi yang meresap ke dalam tanah selama hujan berlangsung. Metode yang digunakan untuk menganalisis infiltrasi adalah metode Green-Ampt. Pengembangan persamaan infiltrasi Green-Ampt dilakukan oleh (Chen & Young, 2006), berupa analisis infiltrasi pada lereng dengan kemiringan yang berbeda-beda, seperti pada Persamaan 1 dan 2. Analisis infiltrasi pada dilakukan pada tanah datar dengan kemiringan 0° dan pada lereng dengan variasi kemiringan 25°, 45°, 60°, dan 75°.

$$i = K_e \left(\cos \gamma + \frac{SM}{I} \right) \quad (1)$$

$$z_{*f} = \frac{I}{M} \quad (2)$$

dengan i = laju infiltrasi (mm/jam), K_e = koefisien permeabilitas (mm/jam), γ = sudut kemiringan lereng (°), S = *wetting front matric potential + ponding water head-on sloping lands* atau $s_f + H$ (mm), M = selisih antara kadar air jenuh dengan kadar air *initial*, z_{*f} = kedalaman tanah jenuh dan I = infiltrasi kumulatif (mm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Perhitungan data hujan melalui tahapan pertama yaitu uji konsistensi. Metode yang digunakan merupakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*), hasil analisis konsistensi data hujan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji konsistensi data hujan

Q_{hitung}	Q_{kritis}	R_{hitung}	R_{kritis}	Keterangan
6,00	6,35	6,23	7,16	$Q_{hitung} < Q_{kritis}$ $R_{hitung} < R_{kritis}$ Konsisten

Pengujian selanjutnya merupakan uji distribusi probabilitas menggunakan metode Gumbel untuk mendapat hujan rencana kala ulang, seperti disajikan pada Tabel 5. Data tersebut kemudian diuji kecocokan distribusinya menggunakan metode Smirnov-Kolmogorof, seperti pada Tabel 6.

Tabel 5. Hujan rencana kala ulang

Kala Ulang (Tahun)	Tinggi Hujan (mm)	Kala Ulang (Tahun)	Tinggi Hujan (mm)
2	102,84	25	246,27
5	160,24	50	281,89

10	198,24	100	317,25
20	234,22	200	352,50

Tabel 6. Uji kecocokan distribusi

ΔP_{kritis} ($\alpha = 0,2$)	ΔP_{kritis} ($\alpha = 0,1$)	ΔP_{kritis} ($\alpha = 0,05$)	ΔP_{kritis} ($\alpha = 0,01$)	ΔP_{hitung}	Keterangan
0,23	0,26	0,29	0,36	0,0772	$\Delta P_{kritis} > \Delta P_{hitung}$ Diterima

Data hujan rencana kala ulang kemudian dihitung intensitasnya menggunakan metode Mononobe, kemudian dihitung limpasan permukaannya menggunakan metode SCS, dengan durasi hujan tetap selama 6 jam. Tabel 7 menyajikan nilai intensitas hujan dan limpasan permukaannya pada masing-masing kala ulang.

Tabel 7. Intensitas hujan

Kala Ulang (Tahun)	Tinggi Hujan (mm)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Limpasan Permukaan (mm)
2	102,84	10,80	65,80
5	160,24	16,82	119,46
10	198,24	20,81	156,01
20	234,22	24,59	191,00
25	246,27	25,86	202,77
50	281,89	29,60	237,70
100	317,25	33,31	272,51
200	352,50	37,01	307,31

Model Green-Ampt kemudian digunakan untuk menganalisis laju infiltrasi dan kedalaman infiltrasi. Parameter tanah untuk model Green-Ampt menggunakan Tabel 1 dengan jenis tanah *clay* atau lempung, karena nilai koefisien permeabilitas pada tanah tinjauan sebesar 0,03 cm/jam dan hal tersebut sesuai dengan kriteria pada Tabel 1. Parameter tanah yang digunakan untuk menghitung infiltrasi pada Tabel 8.

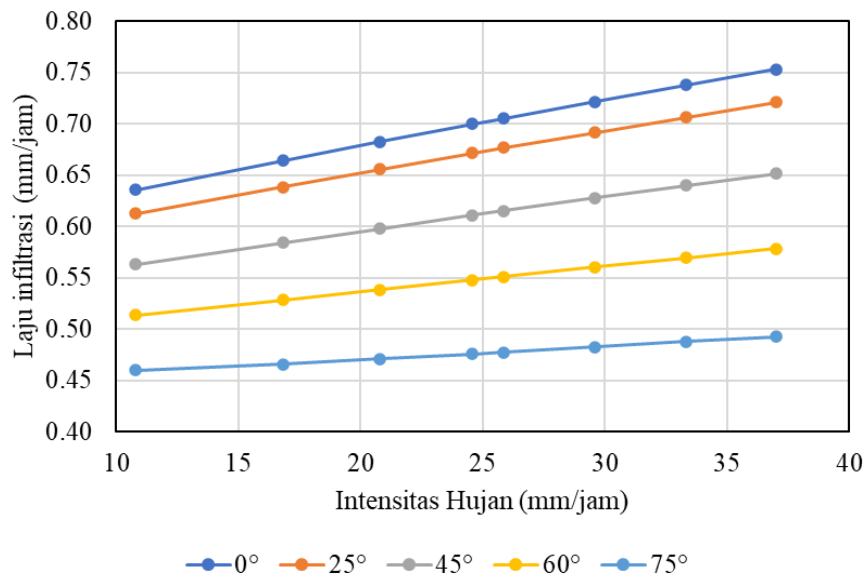
Tabel 8. Parameter Green-Ampt untuk tanah tinjauan

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Jenis tanah (<i>texture</i>)	<i>Clay</i>		
Koefisien permeabilitas efektif	K_e	cm/jam	0,03
<i>Suction at the wetting front</i>	s_f	cm	31,63
Kadar air jenuh	w_{sat}		0,519
Kadar air <i>initial</i>	w		0,498

Laju infiltrasi dan kedalaman tanah jenuh kemudian dianalisis menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2. Variasi kemiringan lereng yang dianalisis pada 25°, 45°, 60°, dan 75° serta pada permukaan tanah datar (0°). Hubungan laju infiltrasi terhadap intensitas hujan disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 9, sedangkan hubungan antara kedalaman tanah jenuh dengan intensitas hujan pada Gambar 3 dan Tabel 10.

Tabel 9. Laju infiltrasi

Kala Ulang (Tahun)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Laju infiltrasi (mm/jam) pada kemiringan				
		0°	25°	45°	60°	75°
2	10,80	0,636	0,612	0,563	0,514	0,460
5	16,82	0,664	0,639	0,584	0,528	0,466
10	20,81	0,683	0,656	0,598	0,538	0,471
20	24,59	0,700	0,671	0,611	0,548	0,476
25	25,86	0,705	0,677	0,615	0,551	0,478
50	29,60	0,722	0,692	0,628	0,560	0,483
100	33,31	0,738	0,706	0,640	0,569	0,488
200	37,01	0,753	0,721	0,652	0,578	0,493



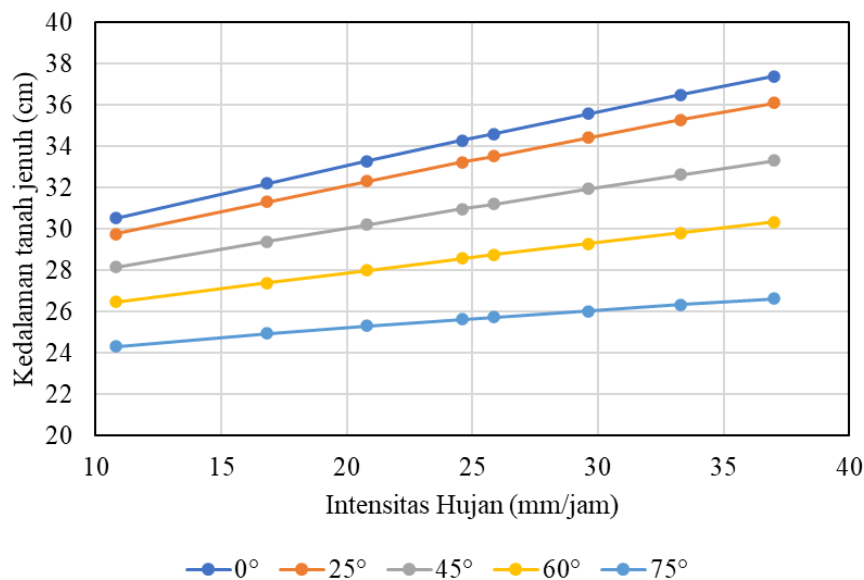
Gambar 2. Laju infiltrasi vs. intensitas hujan

Gambar 2 menunjukkan nilai laju infiltrasi yang berbeda-beda pada setiap nilai intensitas hujan yang berbeda dan kemiringan yang berbeda. Nilai intensitas hujan yang semakin meningkat mengakibatkan laju infiltrasi yang semakin cepat pada tanah. Hal tersebut berlaku sebaliknya pada kemiringan lereng. Kemiringan lereng yang landai mengakibatkan infiltrasi berlangsung cepat, sebaliknya, pada lereng yang curam laju infiltrasi semakin menurun. Hal itu dapat terjadi karena pada kemiringan lereng yang curam, proses infiltrasi berlangsung lebih lambat dibanding limpasan permukaan yang terjadi. Air akan cenderung mengalir dibandingkan meresap karena adanya gaya gravitasi. Lereng yang landai memberikan air waktu yang lebih lama untuk meresap karena air cenderung menggenangi di permukaan tanah dibanding melimpas.

Tabel 10. Kedalaman tanah jenuh

Kala Ulang (Tahun)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Kedalaman tanah jenuh (cm) pada kemiringan				
		0°	25°	45°	60°	75°
2	10,80	30.515	29.754	28.146	26.463	24.321
5	16,82	32.200	31.305	29.403	27.405	24.951
10	20,81	33.286	32.304	30.214	28.008	25.305
20	24,59	34.286	33.229	30.966	28.568	25.625
25	25,86	34.615	33.534	31.214	28.753	25.730
50	29,60	35.569	34.421	31.936	29.294	26.036
100	33,31	36.489	35.281	32.638	29.821	26.334
200	37,01	37.390	36.103	33.322	30.337	26.627

Grafik hubungan antara kedalaman tanah jenuh dengan intensitas hujan pada Gambar 3 menunjukkan pola yang sama dengan grafik hubungan laju infiltrasi dengan intensitas hujan pada Gambar 2. Hal tersebut membuktikan bahwa pada kondisi lereng yang landai, proses infiltrasi berlangsung lebih cepat sehingga banyaknya air yang masuk ke dalam tanah juga semakin dalam. Lereng yang memiliki kemiringan curam pada saat hujan cenderung mengalirkan airnya pada permukaan dibanding meresap ke dalam tanah, sehingga proses infiltrasi lebih lambat dan kedalaman infiltrasi juga dangkal.



Gambar 3. Kedalaman tanah jenuh vs. intensitas hujan

Besaran intensitas hujan juga berpengaruh terhadap laju infiltrasi dan kedalaman tanah jenuh akibat infiltrasi pada lereng, semakin besar hujan intensitas hujan, semakin cepat pula infiltrasi berlangsung, sehingga tanah yang jenuh semakin dalam. Faktor lain seperti koefisien permeabilitas, kadar air, dan jenis tanah juga mempengaruhi proses infiltrasi.

4. KESIMPULAN

Kemiringan lereng memiliki pengaruh yang besar terhadap laju infiltrasi dan kedalaman tanah jenuh akibat terjadinya infiltrasi. Permukaan lereng yang lebih landai menghasilkan laju infiltrasi yang lebih cepat dibandingkan permukaan lereng yang curam. Hal tersebut juga berlaku terhadap kedalaman tanah jenuh yang dihasilkan, semakin curam lereng, kedalaman tanah jenuh semakin dangkal. Intensitas hujan juga berpengaruh terhadap laju dan kedalaman infiltrasi, semakin besar hujan, maka infiltrasi semakin cepat dan dalam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih Penulis sampaikan kepada rekan-rekan dan pengajar Universitas Sebelas Maret Surakarta yang memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung dalam proses keberjalanan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andayono, T., & Palinto, G. (2023). Hubungan Tekstur Tanah Terhadap Laju Infiltrasi di Daerah Pengembangan Permukiman Kota Padang. *Cived: Journal Of Civil Engineering and Vocational Education*, 10(2), 355–364.
- Arianto, W., Suryadi, E., & Perwitasari, S. D. N. (2021). Analisis Laju Infiltrasi dengan Metode Horton Pada Sub DAS Cikeruh. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 9(1), 8–19. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.02>
- Astuti, A. F., & Sudarsono, H. (2018). ANALISIS PENANGGULANGAN BANJIR SUNGAI KANCI. *JURNAL KONSTRUKSI*, 7(3), 163–170.
- Chen, L., & Young, M. H. (2006). Green-Ampt infiltration model for sloping surfaces. *Water Resources Research*, 42(7). <https://doi.org/10.1029/2005WR004468>
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Green, W. H., & Ampt, G. A. (1911). Studies on Soil Physics, 1: The Flow of Air and Water through Soils. *The Journal of Agricultural Science*, 4, 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0021859600001441>
- Hidayat, R. (2020). Analisis Pengaruh Infiltrasi Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Di Pangkalan, Sumatera Barat. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(1), 25–36. <https://doi.org/10.32679/jth.v11i1.630>
- Irawan, T., & Yuwono, S. B. (2016). Infiltrasi Pada Berbagai Tegakan Hutan di Arboretum Universitas Lampung.

Sylva Lestari, 4(3), 21–34.

- Iswahyudi, S., Widagdo, A., & Laksono, F. (2021). Sosialisasi Analisis Penyebab Bencana Longsor Desa Sirau, Karangmoncol, Purbalingga. In *DHARMA BAKTI*. journal.akprind.ac.id.
- Moses, F. P. (2022). *DATA TRMM DOWNSCALING DAN TERKALIBRASI DENGAN METODE REGRESI SUPPORT VECTOR*. Universitas Sebelas Maret.
- Prayoga, I. S., & Ahdika, A. (2021). Pemodelan Kerugian Bencana Banjir Akibat Curah Hujan Ekstrem Menggunakan Evt Dan Copula. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*, 13(1), 35–46. <https://doi.org/10.34123/jurnalasks.v13i1.273>
- Putra, I. K. A., & Wardika, I. G. (2021). Analisis Kerentanan Lahan Terhadap Potensi Bencana Tanah Longsor pada Wilayah Kaldera Batur Purba. *Media Komunikasi Geografi*.
- Qur'ani, N. P. G., Harisuseno, D., & Fidari, J. S. (2022). Studi Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Laju Infiltrasi. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(1), 1–254. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.01.19>
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Miller, N. (1983). Green-ampt Infiltration Parameters from Soils Data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(1), 62–70. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1983\)109:1\(62\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1983)109:1(62))
- Retyanto, B. D. (2016). Analisis Faktor Penyebab Longsor Tebing Daerah Aliran Sungai Serayu Untuk Pertimbangan Sebagai Daerah Pemukiman Di Kabupaten Wonosobo. *Jurnal PPKM II*, 82–88.
- Sapkota, A., Ahmed, A., Pandey, P., & ... (2019). Stabilization of rainfall-induced slope failure and pavement distresses using recycled plastic pins and modified moisture barrier. ... *Conference on Case ...* <https://doi.org/10.1061/9780784482070.023>
- Septriana, F. E., Alnavis, N. B., Gustia, R., Wirawan, R. R., Putri, N. P., Hasibuan, H. S., & Tambunan, R. P. (2020). Dampak Perubahan Penutupan Lahan Terhadap Sistem Hidrologi Di Jakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 22(1), 51. <https://doi.org/10.24895/mig.2020.22-1.1150>
- Sitepu, F., Selintung, M., & Harianto, T. (2017). Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Lereng Terhadap Erosi Yang Berpotensi Longsor. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 21(1), 23–27. <https://doi.org/10.25042/jpe.052017.03>
- Staddal, I., Haridjaja, O., & Hidayat, Y. (2017). Analisis debit aliran sungai DAS Bila, Sulawesi Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(2), 117–130. <https://doi.org/10.32679/jsda.v12i2.56>
- Suhadi, S., Mabruroh, F., Wiyanto, A., & Ikra, I. (2023). Analisis Fenomena Perubahan Iklim Terhadap Curah Hujan Ekstrem. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 94–100. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i1.2738>