

Analisis Spasial Koefisien Limpasan Permukaan untuk Estimasi Luapan Banjir di DAS Tukad Buleleng Provinsi Bali

ANGGIA WIDYA FATAHILLAH
R. SUYARTO^{*)}
WIYANTI

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana
Jl. PB. Sudirman Denpasar 80362 Bali
^{*)}Email: rsuyarto@unud.ac.id

ABSTRACT

Spatial Analysis of Surface Runoff Coefficient for Estimating Flood Overflow in Tukad Buleleng Watershed Bali Province

Land-use change of high-density vegetation, into agricultural land and built-up land in the upstream area can affect the hydrological function of the watershed. Such conditions are increasingly fatal, with high rainfall, causing a high coefficient of surface runoff. High surface runoff can cause overflow floods in watersheds, one of which is in the Tukad Buleleng watershed, Bali Province. The implication of high surface runoff is flooding in the downstream area of the watershed, thus having a detrimental impact on communities in the downstream area of the watershed. This study aims to analyze the spatial distribution of the surface runoff coefficient. Analysis of the coefficient of surface runoff using the Cook method, by utilizing spatial data of slope, land use, and soil texture. Data analysis technique using Geographic Information System (GIS) on ArcGIS 10.4 software. The results showed that the Tukad Buleleng watershed has a low to extreme runoff coefficient. The high value of the coefficient of surface runoff is due to high rainfall, steep slopes, texture dominated by clay fractions, and land use with low vegetation density. The high surface runoff coefficient value has an impact on the flood overflow in the Tukad Buleleng watershed, Bali Province.

Keywords: Surface Flow Coefficient, Geographic Information System (GIS), Tukad Buleleng Watershed, Flood Overflow

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perubahan tutupan lahan merupakan hasil suatu proses yang mengakibatkan turunnya kualitas lahan dan produktivitas potensial dari sebidang lahan yang bersangkutan baik secara alami maupun akibat campur tangan manusia sehingga tidak dapat berdaya guna secara maksimal dan lestari (Hendi, 2010). Faktor yang dapat

memicu terjadinya penurunan kualitas lahan dan produktivitas tersebut diantaranya adalah cara petani memperlakukan lahan/tanah, karakteristik fisik, curah hujan yang tinggi serta ekstensifikasi lahan pertanian pada lahan kawasan lindung. Degradasi lahan yang terjadi di Indonesia umumnya disebabkan oleh erosi air hujan. Erosi adalah peristiwa terdispersinya agregat tanah kemudian terangkut ke tempat lain yang lebih rendah oleh limpasan permukaan. Laju erosi akan menjadi lebih berbahaya apabila didukung oleh hilangnya tutupan tanah, lahan berlereng dan panjang ketebalan olah tanah sehingga terangkutnya bahan organik yang ada di atas permukaan tanah oleh limpasan permukaan (Karim et al., 2013).

Limpasan permukaan yang terjadi pada suatu wilayah DAS, disebabkan oleh jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi. Setelah laju infiltrasi terpenuhi, air mulai mengisi cekungan atau depresi pada permukaan tanah. Setelah pengisian selesai maka air akan mengalir dengan bebas di permukaan tanah. Limpasan permukaan merupakan salah satu aspek yang dapat dikaji dalam mempelajari perubahan fungsi hidrologi DAS. Berbagai studi mengemukakan bahwa limpasan permukaan digunakan untuk menghitung besarnya laju limpasan permukaan yang terjadi dengan memperhatikan sifat-sifat fisik tanah (Ismail, 2009). Semakin tinggi derajat kemiringan suatu lereng maka semakin besar pula limpasan permukaan yang terjadi (Purba, 2009). Disamping itu, semakin baik sifat tanah maka akan semakin kecil limpasan permukaan yang terjadi. Perubahan parameter fisik lahan yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai koefisien limpasan adalah infiltrasi tanah dan penutup vegetasi (Murwibowo dan Gunawan, 2013). Oleh karena itu untuk dapat tetap mempertahankan nilai fungsi hidrologi DAS perlu diketahui nilai koefisien limpasan yang terjadi di suatu wilayah DAS. Informasi ini akan sangat berguna di dalam menentukan besarnya koefisien limpasan permukaan di DAS Tukad Buleleng, mengingat kondisi daerah penelitian memiliki kelerengan yang bervariasi. Informasi mengenai limpasan permukaan di DAS Tukad Buleleng, belum pernah diteliti, maka perlu dilakukan penelitian terhadap besarnya koefisien limpasan permukaan.

DAS Tukad Buleleng salah satu bagian SWP DAS Saba Daya dengan luas 3.359 ha dan memiliki bentuk hulu sungai yang memanjang. DAS Tukad Buleleng terletak pada dua kecamatan yaitu Kecamatan Sukasada dan Kecamatan Buleleng, dengan melalui Sembilan desa dan sepuluh kelurahan yaitu: Desa Wanagiri, Gitgit, Sukasada, Nagasepeha, Petandakan, Sarimekar, Beratan, Liligundi, Kelurahan Banyuning, Kampung Singaraja, Banjar Tegal, Astina, Banjarjawa, Banjarbali, Kampung Kajanan, Kampung Baru, Kampung Bugis dan Kampung Anyar. Kemiringan lereng di DAS Tukad Buleleng memiliki kelas datar (0-5%), bergelombang (5-10%), berbukit (10-30%), dan curam (>30%). Kelas kemiringan lereng berbukit mendominasi DAS Tukad Buleleng dengan persentase luas 32,93% dari luas DAS. Kemiringan luas lereng berbukit dan curam menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi. Selain itu, penggunaan lahan di DAS Tukad Buleleng didominasi oleh perkebunan yaitu sebesar 54,09% dari luas DAS. Penggunaan lahan dengan tutupan vegetasi yang rendah menyebabkan air jatuh ke

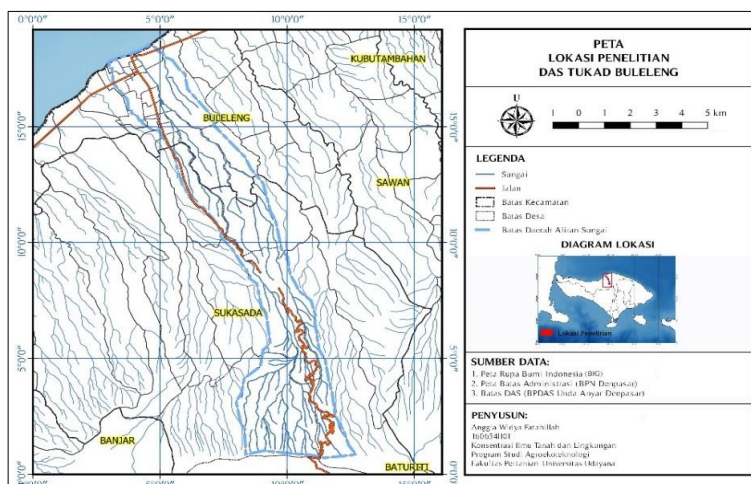
tanah secara langsung dan mempercepat titik jenuh tanah. Menurut BMKG (2019), curah hujan tahunan di DAS Tukad Buleleng lebih besar dari 2.750 mm/tahun dengan kategori sangat tinggi yang berpengaruh pada nilai debit puncak dan menimbulkan luapan banjir pada DAS Tukad Buleleng.

Berdasarkan permasalahan di atas, diperlukan adanya teknologi seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) sehingga dapat memberikan perolehan data yang digunakan dalam penentuan kondisi hidrologi suatu DAS lebih efektif dan efisien. Data penginderaan jauh ini memiliki keunggulan yaitu mampu memberikan informasi secara cepat dan time series. Fungsi dari SIG adalah pengukuran, pemetaan, pemantauan dan pemodelan (Bolstad, 2016; Olorunfemi et al., 2017). Aplikasi SIG dilakukan dengan menggunakan metode overlay dan melakukan kalkulasi parameter yang menyebabkan luapan banjir meliputi kemiringan lereng, curah hujan, dan penggunaan lahan. Sistem Informasi memudahkan penyampaian informasi Geospasial terkait analisis spasial koefisien limpasan permukaan di DAS Tukad Buleleng, Provinsi Bali.

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Secara geografis, DAS Tukad Buleleng terletak di antara $8^{\circ}63'0,324''$ – $8^{\circ}14'14,712''$ Lintang Selatan dan $115^{\circ}09'23,112''$ – $115^{\circ}04'55,416''$ Bujur Timur. Berdasarkan letak geografis, DAS Tukad Buleleng terletak di Kecamatan Sukasada dan Kecamatan Buleleng yang berbatasan dengan Kecamatan Sawan di sebelah timur, Kecamatan Banjar di sebelah barat dan Laut Bali di sebelah utara. Secara administrasi, DAS Tukad Buleleng melewati sembilan desa dan sepuluh kelurahan, yaitu Desa Wanagiri, Gitgit, Sukasada, Nagasepeha, Petandakan, Sarimekar, Beratan, Liligundi, Kelurahan Banyuning, Kampung Singaraja, Banjar Tegal, Astina, Banjarjawa, Banjarbali, Kampung Kajanan, Kampung Baru, Kampung Bugis dan Kampung Anyar. Peta lokasi penelitian dicantumkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di DAS Tukad Buleleng, Provinsi Bali

2.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Alat-alat tulis, *Global Positioning System*, hardisk, kamera *handphone*, Laptop, Meteran, Pelampung (gabus), Penggaris, *Software* Microsoft Excel 2017, *Software* Microsoft Word 2017, *Software* ArcGIS 10.4, *Stopwatch*, Yalon. Bahan penelitian meliputi data spasial penggunaan lahan tahun 2018 (Citra SPOT 7), *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) resolusi 8 meter (<http://tides.big.go.id/DEMNAS>), dan sampel tanah untuk analisis tekstur.

2.3 Analisis data

Koefisien limpasan permukaan yang diperoleh dari teknik overlay dari peta kemiringan lereng, peta tekstur tanah dan peta penggunaan lahan dengan menggunakan metode *Cook*. Nilai koefisien limpasan permukaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik DAS Metode Cook

Karakteristik Fisik DAS	Karakteristik yang Menghasilkan Aliran			
	Ekstrem (100)	Tinggi (75)	Sedang (50)	Rendah (25)
Kemiringan Lereng	Curam (>30%)	Berbukit (10%-30%)	Sedang (5%-10%)	Datar (0%-5%)
Bobot	40	30	20	10
Infiltrasi Tanah	Tidak ada penutupan tanah efektif, lapisan tanah tipis, kapasitas infiltrasi diabaikan	Lambat menyerap air, material liat atau tanah lain dengan kapasitas infiltrasi rendah	Lempung dengan infiltrasi kira-kira setipe dengan tanah-tanah prairie	Pasir dalam atau tanah lain yang mampu menyerap air cepat
Bobot	20	15	10	5
Vegetasi Penutup	Pemukiman, Lahan kosong	Sawah irigasi, Sawah tadah hujan, tegalan	Kebun campuran, Hutan kurang rapat	Hutan rapat
Bobot	20	15	10	5

Sumber: Samaawa, 2016

Nilai koefisien limpasan permukaan total pada setiap satuan pemetaan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Suripin, 2004):

$$C_{total} = C_k + C_t + C_p \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

C_{total} : total nilai koefisien aliran pada setiap satuan pemetaan

- C_k : nilai C kemiringan lereng
C_i : nilai C infiltrasi tanah
C_p : nilai C penggunaan lahan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Parameter Koefisien Limpasan Permukaan DAS Buleleng

Analisis terhadap koefisien limpasan permukaan di DAS Tukad Buleleng menggunakan data spasial kemiringan lereng, tekstur tanah dan penggunaan lahan. Peta kemiringan lereng DAS Tukad Buleleng dengan menggunakan proses ekstraksi dari Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) resolusi 8 meter dan *reclassify* didapatkan bahwa kemiringan lereng dibagi menjadi empat kelas. Samaawa (2016) menyatakan bahwa terdapat empat kelas kemiringan lereng yaitu datar (0%-5%), bergelombang (5%-10%), berbukit (10%-30%) dan curam (>30%) yang ditunjukkan dengan skor limpasan permukaan (10, 20, 30 dan 40) seperti disajikan pada Tabel 2, dan secara spasial ditunjukkan pada Gambar 2a. Skor 10, 20, 30, dan 40 menunjukkan bahwa besar kecilnya pengaruh kemiringan lereng terhadap limpasan permukaan. Kelas Kemiringan lereng berbukit mendominasi DAS Tukad Buleleng dengan luas sebesar 1.610,06 ha (47,93%), sedangkan luas terkecil adalah kemiringan lereng datar dengan luas 403,25 ha (12%) yang terletak pada bagian hilir DAS Tukad Buleleng.

Tekstur tanah didapatkan melalui proses interpolasi titik pengambilan sampel tanah. Berdasarkan hasil analisis diperoleh empat macam tekstur tanah yaitu pasir berlempung, lempung berpasir, lempung, lempung berliat. Secara lengkap tekstur tanah di DAS Buleleng disajikan pada Tabel 2 dan secara spasial ditunjukkan pada Gambar 2b. Data mengenai tekstur tanah sangat diperlukan dalam menentukan kapasitas infiltrasi tanah dan nilai koefisien limpasan permukaan. Tekstur lempung merupakan tekstur tanah yang mendominasi di DAS Tukad Buleleng dengan persentase luas 46,37% dan tekstur lempung berliat merupakan tekstur tanah dengan persentase luas terendah yaitu 7,54% (Tabel 3).

Data penggunaan lahan yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil ekstraksi dari peta penggunaan lahan skala 1:25.000 dari Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2018, pada Citra Satellite SPOT 7. Berdasarkan Interpretasi secara visual, terdapat empat jenis penggunaan lahan, yaitu hutan rapat, kebun campuran, sawah dan pemukiman. Penggunaan lahan di DAS Tukad Buleleng dapat dilihat pada Tabel 4 dan secara spasial disajikan pada Gambar 2c. Penggunaan lahan mempengaruhi besar kecilnya pengaruh terhadap limpasan permukaan yang ditunjukkan dari skor 5, 10, 15 dan 20. Penggunaan lahan kebun campuran adalah penggunaan lahan yang mendominasi DAS Tukad Buleleng yaitu sebesar 1816,92 ha dengan persentase luas sebesar 54,09% dari luas DAS, sedangkan hutan rapat merupakan kelas penggunaan lahan dengan luas terkecil sebesar 56,84 ha yaitu 1,69% dari luas DAS.

Tabel 2. Kemiringan Lereng DAS Tukad Buleleng

No	Kelas Kemiringan Lereng	Sudut Kemiringan Lereng (%)	Luas (ha)	Persentase (%)	Skor C
1	Datar	0-5	403,25	12	10
2	Bergelombang	5-10	624,08	18,58	20
3	Berbukit	10-30	1610,06	47,93	30
4	Curam	>30	721,74	21,49	40
Total			3.359,13	100	

Sumber: Hasil analisis DEMNAS (2020)

Tabel 3. Tekstur Tanah DAS Tukad Buleleng

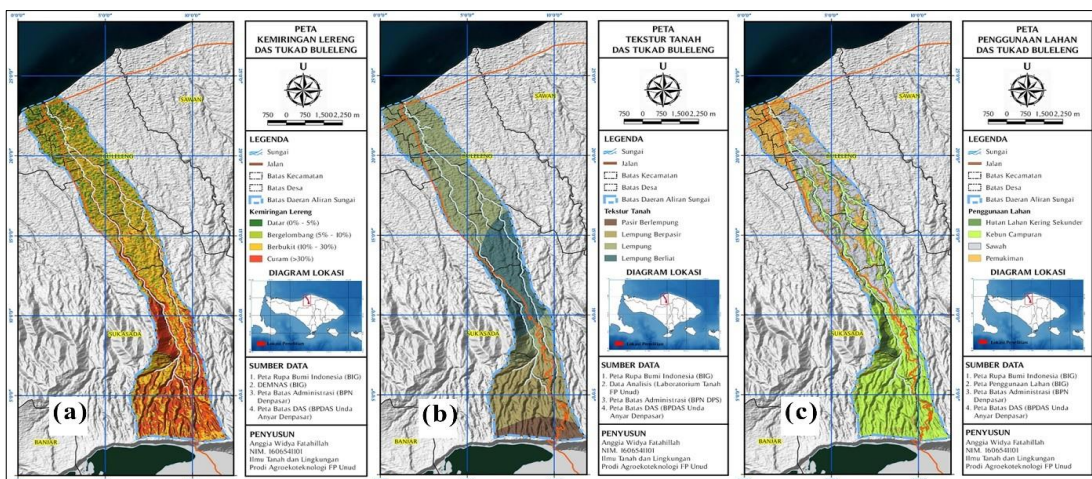
No	Tekstur Tanah	Infiltrasi	Luas (ha)	Persentase (%)	Skor C
1	Pasir Berlempung	Cepat	253,21	7,54	5
2	Lempung Berpasir	Sedang	847,12	25,22	10
3	Lempung	Lambat	1.557,63	46,37	15
4	Lempung Berliat	Sangat	701,17	20,87	20
Total			3359,13	100	

Sumber: Hasil penelitian (2020)

Tabel 4. Penggunaan Lahan DAS Tukad Buleleng

No	Jenis Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)	Skor C
1	Hutan Rapat	56,84	1,69	5
2	Kebun Campuran	1816,92	54,09	10
3	Sawah	772,64	23,00	15
4	Pemukiman	712,73	21,22	20
Total		3359,13	100	

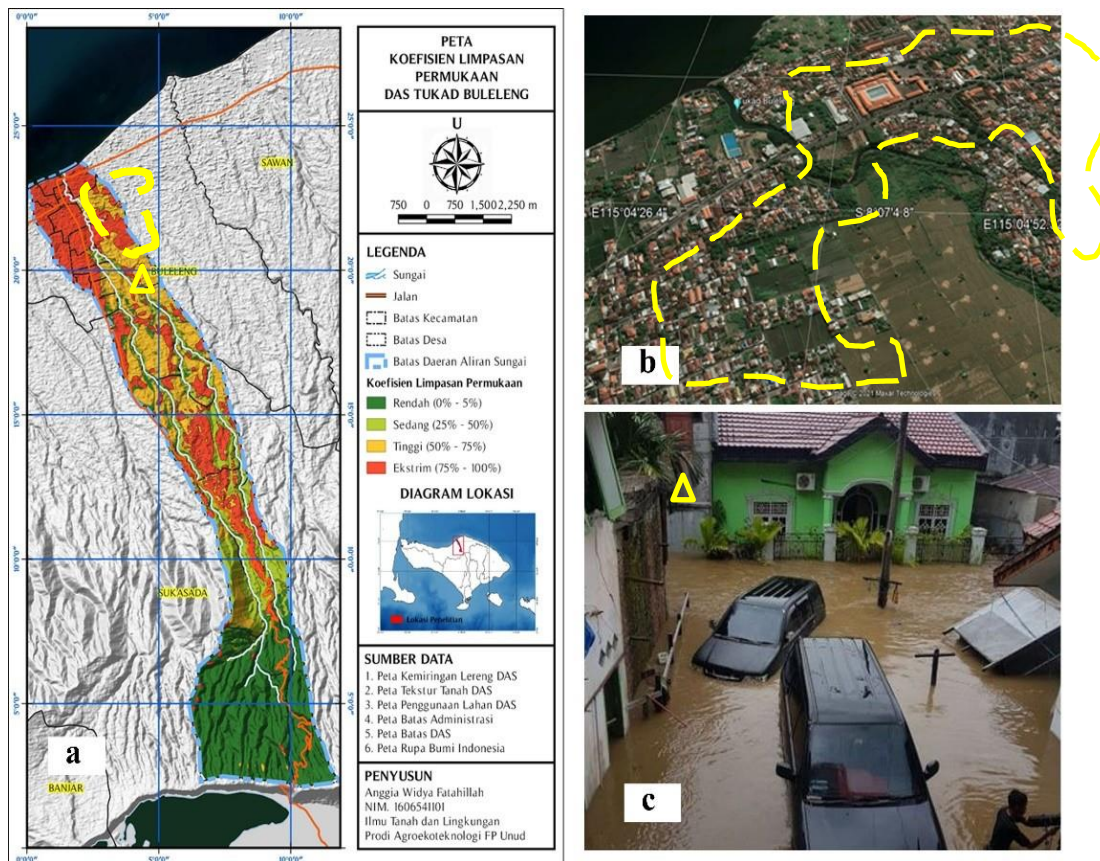
Sumber: Hasil penelitian (2020)



Gambar 2. Sebaran spasial kemiringan lereng (a), tekstur tanah (b), dan penggunaan lahan (c) di DAS Tukad Buleleng

3.2 Koefisien Limpasan Permukaan di DAS Tukad Buleleng

Koefisien limpasan permukaan diperoleh melalui proses tumpang tindih (overlay) pada aplikasi ArcGIS 10.4 terhadap peta kemiringan lereng (CS), peta tekstur tanah (CST), dan peta penggunaan lahan (CL). Berdasarkan hasil analisis yang sudah disesuaikan dengan skor koefisien limpasan permukaan, didapatkan 4 kelas koefisien (rendah, normal, tinggi dan ekstrem). Koefisien limpasan permukaan di DAS Tukad Buleleng disajikan pada Tabel 5 dan secara spasial ditampilkan pada Gambar 3. Kemiringan lereng, tekstur tanah dan penggunaan lahan sangat memengaruhi jumlah air yang menjadi limpasan permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien limpasan permukaan yang mendominasi adalah kelas rendah (0-25%) dengan luas 1196,68 ha, sedangkan kelas normal (25-50%) mempunyai luas terkecil, yaitu sebesar 642,03 ha.



Gambar 3. Peta Koefisien Aliran Permukaan DAS Tukad Buleleng (a), Lahan permukiman di sekitar Tukad Buleleng (b), Dampak Kejadian Banjir Luapan Tukad Buleleng, di Kelurahan Banjar Tegal, Kecamatan Buleleng pada hari Sabtu, 10 April 2021 (<https://bali.suara.com/>) (c)

Tabel 5. Koefisien Limpasan Permukaan DAS Tukad Buleleng

No	Kelas Koefisien Limpasan Permukaan	Skor Koefisien Aliran Permukaan (%)	Luas (ha)	Persentase (%)	Nilai C
1	Rendah	0 - 25%	1.196,68	35,62	19,73
2	Normal	25 - 50%	642,03	19,11	25,37
3	Tinggi	50 - 75%	684,01	20,36	31,59
4	Ekstrem	75 - 100%	836,41	24,90	43,04
Total			3359,13	100	

Sumber: Hasil analisis spasial (2021)

Koefisien limpasan permukaan dengan kelas rendah (0-25%) seluas 1.196,68 ha merupakan limpasan permukaan yang mendominasi di DAS Tukad Buleleng, tersebar di bagian hulu DAS Tukad Buleleng dengan kemiringan lereng berbukit (10-30%) hingga curam (>30%) (Gambar 2a) dan tekstur lempung berpasir dan sedikit tekstur pasir berlempung pada bagian hulu paling atas dari DAS (Gambar 2b). Penggunaan lahan yang mendominasi adalah kebun campuran Jenis penggunaan lahan sangat mempengaruhi nilai limpasan permukaan, yaitu semakin rendah penutup vegetasi maka semakin tinggi nilai limpasan permukaan. Gafuri et. al. (2016) menyatakan bahwa penggunaan lahan berperan sebagai penghalang dan mengurangi limpasan permukaan. Berdasarkan hasil penelitian yang menunjang rendahnya koefisien limpasan permukaan adalah penggunaan lahan kebun campuran (Tabel 3) dikarenakan limpasan permukaan tertahan oleh infiltrasi tanah yang cepat dan kanopi yang memperkecil tetesan hujan. Hal ini didukung oleh penelitian Jia et. al. (2020) yaitu kanopi berdampak pada efek intersepsi curah hujan yang akan melemahkan dampak percikan tetesan hujan pada permukaan tanah dan memungkinkan tanah untuk mempertahankan tingkat infiltrasi yang cepat dalam waktu yang lama, sehingga menunda waktu limpasan permukaan.

Koefisien limpasan permukaan dengan kelas sedang (25-50%) seluas 642,03 ha merupakan limpasan permukaan dengan luasan terkecil di DAS Tukad Buleleng dan penggunaan lahan didominasi oleh kebun campuran. Tekstur tanah lempung berliat; dan lempung mendominasi di wilayah ini serta kemiringan lereng bergelombang (5-10%) hingga berbukit (10-30%). Kemiringan lereng yang curam menyebabkan peningkatan kecepatan aliran, sehingga mengurangi kemungkinan air untuk menembus ke permukaan tanah (infiltrasi) dan air mengalami limpasan permukaan. Pernyataan ini didukung oleh Li et. al. (2020) yaitu pola aliran dipengaruhi oleh kemiringan lereng dan jumlah limpasan permukaan meningkat secara signifikan disebabkan oleh curamnya kemiringan lereng jika dibandingkan dengan kemiringan lereng landai. Syajruddin (2019) juga menyatakan bahwa semakin besar kemiringan lahan maka kapasitas infiltrasi akan kecil. Sebaliknya semakin kecil kemiringan maka kapasitas infiltrasi akan besar, dimana besar kecilnya limpasan dipengaruhi kapasitas infiltrasi.

Kelas koefisien limpasan permukaan tinggi (50-75%) seluas 684,01 ha memiliki kemiringan lereng bergelombang (5-10%). Tekstur tanah pada kelas ini adalah lempung dan memiliki penggunaan lahan yang didominasi oleh sawah dan pemukiman. Kondisi infiltrasi lambat yang mempengaruhi tingginya limpasan permukaan yaitu tekstur lempung disebabkan oleh air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan mengisi pori-pori mikro tanah. Hanafiah (2007) menyatakan bahwa tanah yang didominasi fraksi pasir akan mempunyai pori makro, tanah dengan dominasi debu akan banyak mempunyai pori meso, sementara tanah dengan fraksi liat akan mempunyai banyak pori mikro (kecil), sehingga ruang pori air tersedia terdiri dari ruang pori makro dan sebagian ruang pori mikro yang dapat mengikat air secara kuat sehingga dapat menghambat pergerakan air. Kemudian dapat disimpulkan bahwa semakin halus tekstur tanah (lempung) maka semakin tinggi nilai koefisien limpasan permukaan.

Koefisien limpasan permukaan ekstrem (75-100%) seluas 836,41 ha mempunyai kemiringan lereng datar (0-5%), berbukit (5-10%), hingga berbukit (10-30%) dapat dilihat pada Gambar 2a, dengan penggunaan lahan yang didominasi oleh pemukiman dan sawah. Tekstur tanah yang tersebar pada kelas ini adalah lempung. Penggunaan lahan, tekstur tanah, dan kemiringan lereng sangat berhubungan erat dengan intensitas hujan dalam mempengaruhi limpasan permukaan. Limpasan permukaan terjadi ketika nilai intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi, sehingga air hujan tidak dapat menyusup ke dalam tanah. Selain itu, hubungan antara kemiringan lereng, tekstur tanah (infiltrasi), penggunaan lahan, dan intensitas hujan didukung oleh penelitian Zhao et al. (2019), tetesan hujan yang mencapai permukaan lereng berkepanjangan dengan peningkatan cakupan vegetasi, waktu infiltrasi tanah juga dipersingkat, membuat tingkat limpasan dan volume limpasan meningkat. Jia et al. (2020) juga menyatakan bahwa intensitas hujan menjadi sumber limpasan permukaan, semakin tinggi intensitas hujan maka semakin besar rata-rata diameter butiran hujan. Koefisien limpasan ekstrem berada di wilayah pesisir dengan penggunaan lahan didominasi berupa pemukiman (Gambar 3b). Akibat intensitas hujan yang tinggi, pada zona dengan koefisien limpasan permukaan ekstrem terjadi luapan banjir di sekitar desa pada Tukad Buleleng (Gambar 3c). Limpasan permukaan berbanding lurus dengan potensi peningkatan debit banjir (Hidayat et al., 2021). Informasi mengenai limpasan permukaan dapat digunakan sebagai dasar mitigasi banjir luapan (Anna, 2014; Ideawati et al., 2015).

4. Kesimpulan

DAS Tukad Buleleng mempunyai koefisien limpasan permukaan rendah sampai dengan ekstrem. Koefisien limpasan permukaan dengan kelas rendah (0-25%) seluas 1.196,68 ha, serta mendominasi di DAS Tukad Buleleng, tersebar di bagian hulu DAS Tukad Buleleng. Koefisien limpasan permukaan dengan kelas sedang (25-50%) seluas 642,03 ha merupakan limpasan permukaan dengan luasan terkecil di DAS Tukad Buleleng. Kelas koefisien limpasan permukaan tinggi (50-75%)

seluas 684,01 ha. Koefisien limpasan permukaan ekstrem (75-100%) seluas 836,41 ha. Tingginya nilai koefisien limpasan permukaan disebabkan karena curah hujan tinggi, kemiringan lereng curam, tekstur yang didominasi fraksi liat serta penggunaan lahan dengan kerapatan vegetasi rendah. Tingginya nilai koefisien limpasan permukaan (ekstrem) berdampak terhadap banjir luapan di DAS Tukad Buleleng Provinsi Bali.

Daftar Pustaka

- Anna, A. N. 2014. Analisis Potensi Limpasan Permukaan (Run Off) Menggunakan Model CookS Di Das Penyangga Kota Surakarta Untuk Pencegahan Banjir Luapan Sungai Bengawan Solo. In Prosiding Seminar Nasional 2014 Pembangunan Berkelanjutan di DAS Bengawan Solo.
- Bolstad, P. 2016. GIS fundamentals: A first text on geographic information systems. Eider (PressMinnesota).
- Gafuri, R., Ichsan R., Nurlina. 2016. Analisis Limpasan Permukaan (Runoff) Pada Sub- sub DAS Riam Kiwa menggunakan Metode Cook. Jurnal Fisika FLUX. Vol. 13, No. 1. Hal. 89-100.
- Hanafiah, K, A., 2007. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Rajawali Pers. Jakarta.
- Hendi. 2010. Manajemen Sumber Daya Lahan (Sumber Daya Alam Yang Dapat Pulih). Universitas Gunadarma : Jakarta Pusat
- Hidayat, A. K., Irawan, P., Atmadja, S., & Sari, N. K. 2021. Analisis dan Pemetaan Limpasan Permukaan di DAS Citanduy Hulu dengan Metode SCSN. Rona Teknik Pertanian, 14(1), 73-86.
- Ideawati, L. F., Limantara, L. M., & Andawayanti, U. 2015. Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit Banjir Di DAS Lesti. Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering, 6(1), 37-45.
- Ismail, A. 2009. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Daerah Tangkapan Air Waduk Darma, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat. Tesis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia : Depok
- Jia, C., Baoping, S., Xinxiao, Y., Xiaohui, Y. 2020. Analysis of Runoff and Sediment Losses from a Sloped Roadbed under Variable Rainfall Intensities and Vegetation Condition. Sustainability Journal. MDPI.
- Karim, Rudi dan Rusli Alibasyah. 2013. Evaluasi Degradasi Lahan Diakibatkan Erosi Pada Areal Pertanian Di Kecamatan Lembah Seulawah Kabupaten Aceh Besar. Jurnal Konservasi Sumber Daya Lahan : Universitas Syiah Kuala
- Li, X., Jianen, G., Zihao, G., Xingchen, Z., Pengcheng, S., Zhe, G. 2020. A Study of Rainfall-runoff Movement Process on High and Steep Slopes Affected by Double Tubulence Sources. Scientific Reports. Vol. 10, No. 9001.
- Murwibowo dan Gunawan. 2013. Aplikasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis Untuk Mengkaji Perubahan Koefisien Limpasan Permukaan Akibat Letusan Gunung Merapi Tahun 2010 Di Sub Das Gendol Yogyakarta. Jurnal 137-268-1-SM.pdf. Yogyakarta
- Olorunfemi, J. F., Idowu, O. O., & Ashaolu, E. D. 2017. Remote Sensing and Geographic Information System in Development.
- Purba, M. P. 2009. Besar Aliran Permukaan (Run Off) Pada Berbagai Tipe Kelerengan Dibawah Tegakan Eucalyptus spp. (Studi Kasus Di HPHTI PT.

Toba Pulp Lestari, Tbk. Sektor Aek Nauli). Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara: Medan

Samaawa A., M. Pramono, H. 2016. Estimasi Debit Puncak Berdasarkan Beberapa Metode Penentuan Koefisien Aliran permukaan di Sub DAS Kedung Gong, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

Zhao, B., Lun, Z., Zhenyao, X., Wennian, X., Lu, X., Yongzhe, L. Dong, X. 2019. Effects of Rainfall Intensity and Vegetation Cover on Erosion Characteristics of a Soil Containing Rock Fragments Slope. Hindawi. Vol. 2019. Article ID 7043428.