Analisis Sebaran Limpasan Permukaan pada Sub DAS Lesti Sebagai Pertimbangan Konservasi Hulu DAS Brantas

(Analysis of Surface Runoff Distribution in Lesti Sub Watershed as a Consideration for the Conservation of the Upstream Brantas Watershed)

Andi Setyo Pambudi[1*], Setyo Sarwanto Moersidik[2], Mahawan Karuniasa[3]

[1]Direktorat Pemantauan, Evaluasi dan Pengendalian Pembangunan Daerah, Kementerian PPN/Bappenas
[2]Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Depok, Jawa Barat, Indonesia
[3]Pascasarjana Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, Kampus Salemba, Jakarta, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Limpasan Permukaan; DAS; Hujan Rancangan; Lahan

Keywords:

Surface Runoff; Watershed; Design Rainfall; Land

Article history:
Received: 31-03-2021
Accepted: 30-11-2021

[*]Koresponden email:
andi.pambudi@bappenas.go.id

Abstrak

Sub DAS Lesti yang secara keseluruhan berada di Kabupaten Malang adalah sub DAS terluas dari hulu DAS Brantas yang berperan paling besar dalam memberikan kontribusi debit air sungai yang berdampak ke bagian hilir di Waduk Sengguruh. Kondisi terkini sebaran limpasan permukaan di Sub DAS Lesti berbasis data hujan dan penggunaan lahan terkini belum banyak dikupas oleh pengambil kebijakan. Informasi sebaran dan proporsi limpasan permukaan pada wilayah DAS menjadi hal yang menarik dikaji lebih lanjut dalam rangka memberikan pertimbangan upaya konservasi DAS. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung limpasan permukaan dan sebarannya sebagai landasan pengambil kebijakan menentukan lokasi prioritas upaya konservasi pada Sub DAS Lesti. Metode analisis yang digunakan adalah kuantitatif yang dimulai dari uji konsistensi data hujan, deleniasi batas DAS, perhitungan hujan rancangan dan juga perhitungan debit limpasan permukaan sampai menggambarkannya secara spasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 12 kecamatan di Sub DAS Lesti, wilayah yang perlu dipertimbangkan sebagai lokasi prioritas konservasi dari sudut pandang besarnya debit limpasan permukaan adalah Kecamatan Tirtoyudo, Kecamatan Dampit dan Kecamatan Bantur, Kecamatan Ampelgading serta sebagian wilayah Kecamatan Sumbermanjing Wetan yang berbatasan dengan Kecamatan Dampit.

Abstract

The Lesti sub-watershed, which is entirely in Malang Regency, is the widest sub-watershed of the upstream Brantas watershed, which has the biggest role in contributing river flow which impacts downstream in the Sengguruh Reservoir. The current condition of surface runoff distribution in Lesti Sub-watershed is based on the latest data on rain and land use, which has not been widely discussed by policy makers. Information on the distribution and proportion of surface runoff in watershed areas is interesting to study further in order to give consideration to watershed conservation efforts. This study aims to calculate surface runoff and its distribution as a basis for policy makers to determine priority locations for conservation efforts in the Lesti sub-watersheds. The analytical method used is quantitative, which starts from the consistency test of rain data, watershed boundary deleniation, calculation of design rainfall and also calculation of surface runoff discharge to describe it spatially. The results showed that from 12 sub-districts in Lesti Sub-watershed, the areas that need to be considered as priority conservation locations from the point of view of surface runoff discharges are Tirtoyudo

subdistrict, Dampit Subdistrict and Bantur Subdistrict, Ampelgading Subdistrict and parts of Sumbermanjing Wetan Subdistrict bordering Dampit Subdistrict.

Kutipan: Pambudi, A.S., Moersidik, S.S., Karuniasa, M. (2021). Analisis Sebaran Limpasan Permukaan pada Sub DAS Lesti Sebagai Pertimbangan Konservasi Hulu DAS Brantas. *Jurnal Teknik Pengairan*. https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.03

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, perlindungan dan pengelolaan DAS telah muncul sebagai keharusan kebijakan lokal dan nasional di seluruh dunia, terutama di daerah-daerah berpenduduk padat di Asia Selatan dan Tenggara (Pambudi, 2019; Reddy *et al.*, 2017). Semenanjung Asia Selatan dan Asia Tenggara mencakup area daratan yang luas dengan beragam ekoregion mengelola lahan dengan praktik manajemen yang kompleks (Lal, 2004). Penelitian Atapattu dan Kodituwakku, 2009 menyampaikan bahwa lebih dari 94% dari lahan yang cocok untuk pertanian di Selatan Asia telah dibudidayakan. Kondisi-kondisi tersebut juga adalah gambaran lahan dan pengelolaan DAS di Indonesia (Pambudi, 2019; Asdak, 2010).

Status penggunaan lahan lingkup DAS di Indonesia telah didominasi untuk keperluan budidaya dan kebutuhan kota sebagai konsekuensi pengembangan wilayah (Bappenas, 2015). Lahan di Indonesia telah digunakan mencapai 50-85% untuk pertanian, 30% untuk perkotaan dan luas lahan hutan rata-rata sudah dibawah 20%. Pola penggunaan lahan seperti ini berdampak pada peningkatan frekuensi, debit dan volume banjir yang mengakibatkan kerugian material dan non material. Regulasi besar tentang Kehutanan yaitu UU 41/1999 sebenarnya sudah memberi batasan, bahwa luas hutan minimal adalah 30% dari luas DAS dengan sebaran yang proporsional (GoI, 1999). Daerah Aliran Sungai yang memiliki luas tutupan hutan kurang dari 30% adalah sebuah peringatan bahwa upaya konservasi perlu segera dilakukan berdasarkan faktor-faktor penyebabnya (Pambudi & Moersidik, 2019).

Kondisi alih fungsi lahan di hulu DAS Brantas memerlukan perbaikan pengelolaan, khususnya sub DAS Amprong, Metro, Lesti, serta Genteng (Bisri *et al.*, 2017; Yetti *et al., 2011)*. Semuanya adalah sub-sub DAS di Kawasan DAS Brantas bagian hulu yang berdampak pada hilir DAS. Sub DAS Lesti yang secara keseluruhan berada di Kabupaten Malang adalah sub DAS terluas dari hulu DAS Brantas yang berperan paling besar dalam memberikan kontribusi debit air sungai yang berdampak ke bagian hilir di Waduk Sengguruh (Pambudi, 2020).

Konversi lahan selalu berkaitan dengan erosi dan limpasan permukaan (Arsyad, 2012). Kawasan DAS Brantas adalah salah satu DAS Prioritas yang menghadapi masalah erosi, termasuk didalamnya besarnya limpasan permukaan (Bappenas, 2015). Sub DAS Lesti sebagai bagian DAS Brantas memegang peran sangat penting terhadap kelangsungan Waduk Sengguruh (Pambudi, 2019). Waduk Sengguruh mempengaruhi penyediaan air irigasi pengendalian banjir, dan membangkitkan sebagian besar energi listrik (PLTA) di Provinsi Jawa Timur. Erosi dari hulu sub DAS Lesti berdampak pengurangan kapasitas tampungan Waduk Sengguruh yang berakibat percepatan pengurangan usia guna waduk dari rencana semula (Ma'wa *et al., 2015)*. Hal yang menarik adalah bahwa daerah hulu DAS Brantas, khususnya sub DAS Lesti memberi kontribusi debit air sungai yang besar ke bagian hilir yaitu Waduk Sengguruh (Ma'wa *et al.*, 2015; Djajasinga *et al.*, 2012). Percepatan alih fungsi lahan DAS Brantas termasuk merambah daerah hulu sumber mata air yang semakin masif terjadi sejak era tahun 1960-an, dimana mencapai puncaknya pada akhir tahun 1990-an menjadi hal mendorong kerusakan DAS (Pambudi, 2021).

Kondisi terkini sebaran limpasan permukaan berbasis data hujan dan penggunaan lahan terkini belum banyak dikupas di Sub DAS Lesti. Hal ini perlu menjadi perhatian mengingat laju erosi yang mempengaruhi sedimentasi di Waduk Sengguruh sebagai *outlet* Sub DAS Lesti tidak dapat dipisahkan dari sebaran limpasan permukaan didalamnya. Informasi sebaran dan proporsi limpasan permukaan pada wilayah DAS menjadi hal yang menarik dikaji lebih lanjut dalam rangka memberikan pertimbangan upaya konservasi DAS. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung

limpasan permukaan dan sebarannya sebagai landasan pengambil kebijakan menentukan lokasi prioritas upaya konservasi pada Sub DAS Lesti.

2. Bahan dan Metode

2.1. Waktu dan Lokasi

Waktu penyelesaian riset dilaksanakan selama 12 bulan dari mulai konsep, pengambilan data, analisis data dan penulisan laporan. Lokasi Penelitian dibatasi pada sub DAS Lesti sebagai salah satu hulu DAS Brantas. Secara administratif sub DAS Lesti terletak pada Kabupaten Malang dengan luas seluruh sub DAS adalah 64.740,84 ha. Lokasi penelitian meliputi 12 wilayah kecamatan di Kabupaten Malang. Batasan wilayah penelitian dimulai dari hulu Sungai Lesti di Kecamatan Poncokusumo sampai *outlet* Waduk Sengguruh.

2.2. Bahan dan Alat

Dalam melakukan penelitian, digunakan data-data sekunder dari instansi terkait di di wilayah DAS Brantas seperti: 1) Data hujan pada 4 stasiun hujan yang berpengaruh di Sub DAS Lesti selama 10 tahun terakhir dari Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur; 2) Peta Topografi dan Peta Tata Guna Lahan terbaru Tahun 2018 dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, khususnya Balai Pengelolaan DAS dan Hutan Lindung (BPDAS-HL) Brantas ; 3) Data tabel-tabel terkait tanah dari para ahli yang telah banyak disepakati peneliti sebelumnya; 4) Peta Kontur dan Sungai skala 1:25.000 yang meliputi wilayah Sub DAS Lesti dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Peta ini terdiri dari 7 *sheet* peta dengan indeks 1607-414 Sumber Manjing Wetan, 1607-423 Gamping, 1607-432 Turen, dan 1607-441 Tlogosari, 1607- 434 Bululawang, 1607-443 Tumpang, 1607-444 Ranupane. Alat analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan bantuan *Software Arc GIS 10.3* dan *Microsoft Excel 2019.*

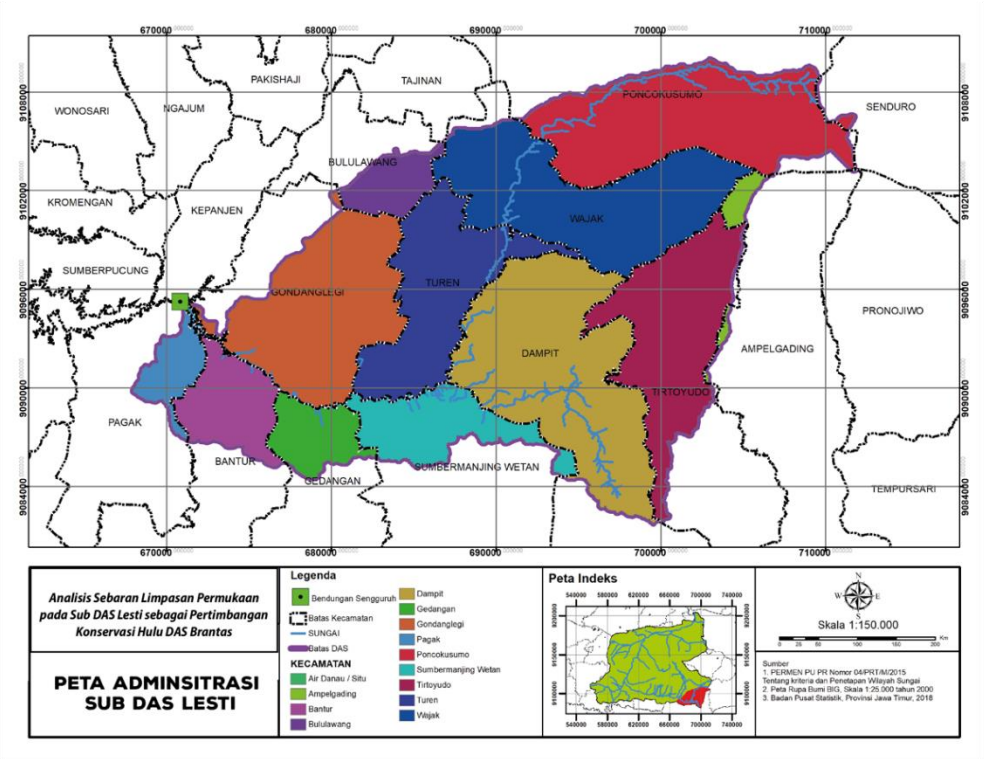
2.3. Metode Penelitian

Pendekatan yang digunakan adalah metode kuantitatif. Deleniasi Sub DAS Lesti dilakukan melakukan pembangkitan data secara Digital Elevation Model (DEM) dari Peta Rupa Bumi, khususnya Peta Kontur dan Sungai skala 1:25.000 yang meliputi wilayah Sub DAS Lesti dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Uji konsistensi data hujan menggunakan pendekatan *double mass curve* (Soemarto, 1987) dan perhitungan hujan maksimum daerah menggunakan *Polygon Thiessen*. Analisis curah hujan rancangan menggunakan distribusi Log Pearson Type III dan kala ulang 1,01. Untuk menghitung debit limpasan permukaan digunakan rumus rasional modifikasi. Dalam rangka mendapatkan data debit limpasan, diperlukan beberapa tahapan: 1) Menentukan Koefisien Pengaliran (C); 2) Menentukan Waktu Konsentrasi (Tc), Koefisien Tampungan (Cs) dan Intensitas Hujan (I) dan; 3) Menghitung debit limpasan dan menggambarkannya dalam bentuk Peta Sebaran Debit Limpasan Permukaan dalam berbagai kala ulang dengan *Software Arc GIS 10.3.*

3. Hasil dan Pembahasan

Proses deleniasi dilakukan dengan bantuan *tools* Sistem Informasi Geografis (SIG), khususnya *software ArcGIS.* Deleniasi dimulai dengan mengubah peta kontur menjadi DEM, kemudian menentukan arah aliran atau *flow direction*, akumulasi aliran *(flow accumulation)*, pendefinisian jaringan sungai secara sintetik, penentuan *outlet* kemudian yang terakhir pendefinisian DAS dan kalkulasi parameter DAS (Pambudi *et al.*, 2021).

Bentuk dan luas DAS dipengaruhi oleh posisi letak *outlet* suatu DAS. Secara administratif sub DAS Lesti terletak pada Kabupaten Malang dengan luas seluruh sub DAS adalah 64.740,84 ha. Lokasi penelitian meliputi 12 wilayah kecamatan yaitu kecamatan Poncokusumo, Wajak, Ampelgading, Turen, Tirtoyudo, Dampit, Sumbermanjing Wetan, Gondanglegi, Bululawang, Gedangan, Pagak dan Bantur. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 berikut. Batasan wilayah penelitian dimulai dari hulu Sungai Lesti di Kecamatan Poncokusumo sampai *outlet* Waduk Sengguruh.



Gambar 1. Hasil *Overlay* Deleniasi Batas DAS dan Batas Kecamatan di Sub DAS Lesti, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur

Sumber: Diolah dari BPDAS-HL Brantas KLHK, BPS Jawa Timur dan BIG, 2019

Uji konsistensi data hujan dengan metode lengkung massa ganda *(double mass curve)* menunjukkan bahwa data hujan yang ada dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Dalam menentukan curah hujan rerata daerah, penelitian ini menggunakan metode Poligon Thiessen. Poligon ini digambarkan dengan memasukkan masing-masing koordinat dari 4 stasiun hujan dengan bantuan perangkat lunak *ArcGIS 10.3* untuk mendapatkan peta sebaran stasiun hujan dalam Peta Sub DAS Lesti. Proses selanjutnya adalah membuat Poligon Thiessen melalui *assign proximity* dengan peta stasiun hujan Sub DAS Lesti sebagai batasan daerah pengaruh.

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum Harian Rerata Daerah (2009-2018)

No.	Tahun	Koefisien Thiessen				Curah Hujan Maksimum Harian Rerata Daerah
		Stasiun Poncokusumo	Stasiun Dampit	Stasiun Tajinan	Stasiun Turen	
		0,205	0,367	0,019	0,409	
1	2009	150	117	71	127	126,959
2	2010	85	106	79	68	85,624
3	2011	94	108	79	100	101,297
4	2012	79	89	60	69	78,204
5	2013	110	109	69	115	110,885
6	2014	115	75	76	102	94,261
7	2015	95	74	71	63	73,740
8	2016	75	89	64	83	83,193
9	2017	115	147	114	88	115,660
10	2018	85	103	73	74	86,863

Dari tabel 1 diketahui bahwa Stasiun Hujan Turen memiliki luas pengaruh paling besar yaitu sebesar 26.496,837 Ha (40,928% atau koefisien thiessen 0,409), setelah itu Stasiun Dampit 23.731,127 Ha (36,665% atau koefisien thiessen 0,367), Stasiun Poncokusumo 13.257,853 Ha

(20,478% atau koefisien thiessen 0,205) dan yang terakhir Stasiun Tajinan 1.255,021 Ha (1,938% atau koefisien thiessen 0,019). Dalam analisis hidrologi, proses selanjutnya dalam rangka memprediksi erosi di Sub DAS Lesti adalah dengan menghitung curah hujan rancangan. Definisi curah hujan rancangan dapat diartikan sebagai curah hujan terbesar yang kemungkinan terjadi pada suatu daerah dengan peluang tertentu. Dalam penelitian ini, metode untuk menganalisis hujan rancangan adalah metode Log Pearson Tipe III.

Tabel 2. Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III (2009-2018)

No.	Tahun	Xi (mm)	P (%)	Log Xi	Log Xi-Log X	(Log Xi-Log X)^3
1	2015	73,74	9,09	1,87	-0,11	-0,001215
2	2012	78,20	18,18	1,89	-0,08	-0,000535
3	2016	83,19	27,27	1,92	-0,05	-0,000160
4	2010	85,62	36,36	1,93	-0,04	-0,000073
5	2018	86,86	45,45	1,94	-0,04	-0,000045
6	2014	94,26	54,55	1,97	0,00	0,000000
7	2011	101,30	63,64	2,01	0,03	0,000030
8	2013	110,88	72,73	2,04	0,07	0,000350
9	2017	115,66	81,82	2,06	0,09	0,000700
10	2009	126,96	90,91	2,10	0,13	0,002159
Jumlah		956,69		19,74		0,001211
Rerata		95,67		1,97		
Stand. Dev		17,52		0,08		
Koefisien Kemencengan (Cs)				0,36		

Keterangan:
Xi = Curah Hujan Rerata Daerah (setelah diurutkan dari kecil ke besar).

Dalam menentukan kala ulang (Tr), dihitung dengan mengambil berbagai peluang/kemungkinan yang diinginkan. Kala ulang ditentukan dengan rumus :

$$Tr = \left(\frac{1}{peluang}\right) x100\% \quad (1)$$

Perhitungan dalam analisis ini akan menggunakan kala ulang dengan peluang terbesar yaitu 99% (dengan asumsi tidak ada peluang pasti 100%) sehingga kala ulang dengan peluang ini adalah 1,01 tahun.

Perhitungan nilai hujan rancangan untuk berbagai kala ulang secara lengkap disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Hujan Rancangan dengan Berbagai Kala Ulang

No	Tr (tahun)	R rata-rata (Log)	Std Deviasi (Log)	Kemencengan (Cs)	Peluang (%)	K	Curah Hujan Rancangan	
							Log	mm
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1,01	1,97	0,08	0,36	99	-2,061	1,81	65,17
2	2	1,97	0,08	0,36	50	-0,059	1,97	93,28
3	5	1,97	0,08	0,36	20	0,819	2,04	109,18
4	10	1,97	0,08	0,36	10	1,314	2,08	119,29
5	25	1,97	0,08	0,36	4	1,867	2,12	131,71
6	50	1,97	0,08	0,36	2	2,240	2,15	140,81
7	100	1,97	0,08	0,36	1	2,585	2,18	149,79
8	1000	1,97	0,08	0,36	0,1	3,606	2,25	179,85

Keterangan:
[1] = Nomor
[2] = Kala Ulang
[3] = $(SlogX_i)/n$
[4] = $((\sum(LogX_i - LogX))/(n-1))^{0,5}$
[5]=$(n.\sum(LogX_i - LogX)^3)/((n-1)(n-2)(SLogX)^3)$
[6] = $\left(\frac{1}{Tr}\right)100$
[7] = tabel faktor sifat distribusi log person III berdasarkan nilai Cs dan peluang atau kala ulang
[8] = $LogX + K.SLogX$
[9] = antilog dari LogX

Definisi curah hujan rancangan dapat diartikan sebagai curah hujan terbesar yang kemungkinan terjadi pada suatu daerah dengan peluang tertentu. Dalam penelitian ini, metode untuk menganalisis hujan rancangan adalah metode Log Pearson Tipe III sebagaimana tabel 3 diatas. Langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut:

1. Melakukan pengubahan data curah hujan harian maksimum tahunan kedalam bentuk logaritma (data curah hujan telah diurutkan dahulu dari kecil ke besar).
2. Melakukan perhitungan peluang empiris (P) dalam % menggunakan rumus Weibull (dalam Soewarno, 1995):

   P (%) = $\frac{m}{n+1}$ x 100 % = $\frac{1}{10+1} x100\% = 9{,}09$

3. Melakukan perhitungan nilai rata-rata ($\overline{LogX}$) dengan rumus:

   $$\overline{LogX} = \frac{\sum_{i=1}^{n} LogXi}{n}$$

   di mana:

   $\overline{LogX}$ = logaritma hujan rata-rata

   n = banyaknya data

   $$\overline{LogX} = \frac{19{,}74}{10} = 1{,}974$$

4. Melakukan perhitungan nilai standar deviasi atau simpangan baku (dalam log) dengan rumus:

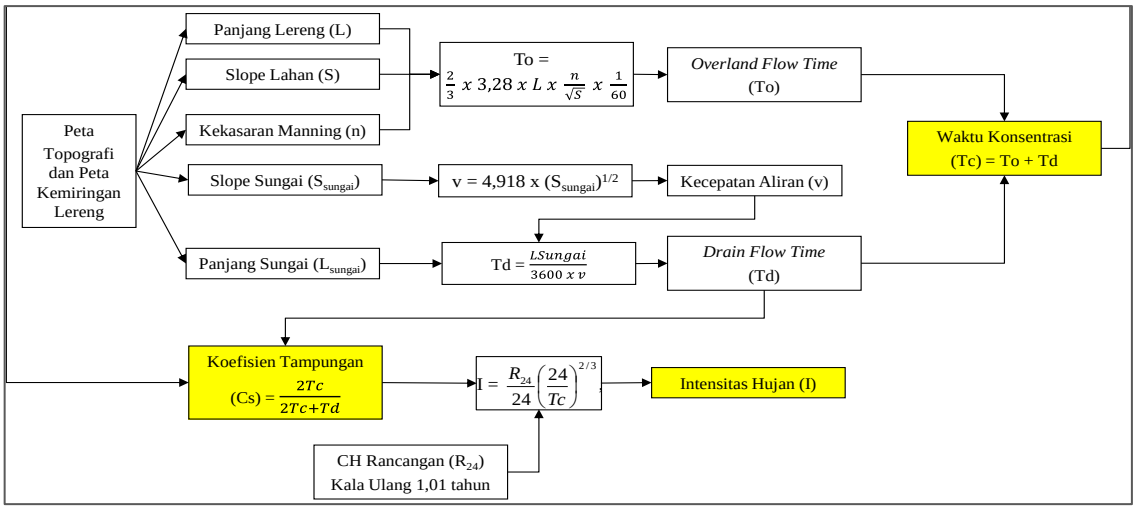
   $$STDEV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (LogXi - LogX)^2}{n-1}}$$

   $$STDEV = \sqrt{\frac{0{,}0545}{9}} = 0{,}08$$

5. Melakukan perhitungan koefisien kepencengan (dalam log) dengan rumus:

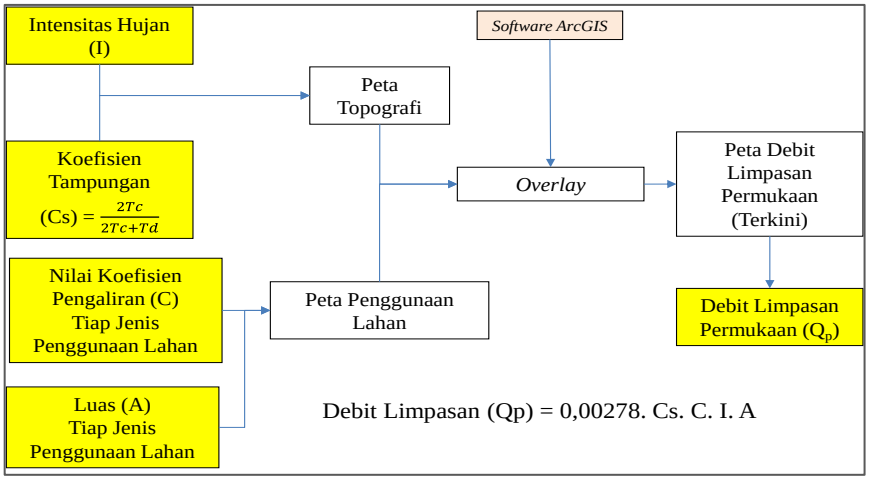
   $$Cs = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\left(LogXi - \overline{LogX}\right)^3}{(n-1)(n-2)STDEV^3}$$

   $$Cs = \frac{(0{,}001211}{72(0{,}08)^3} = 0{,}36$$



Gambar 2. Alur Analisis Waktu Konsentrasi (Tc), Koefisien Tampungan (Cs) dan Intensitas Hujan (I) di Sub DAS Lesti

Alur analisis ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Debit limpasan (Qp) diperhitungkan kaitannya dengan erosivitas limpasan permukaan (Rw) sebagai bagian rumus pendugaan erosi metode *MUSLE*. Untuk mendapatkan data debit limpasan, diperlukan beberapa tahapan: 1) Menentukan Koefisien Pengaliran (C); 2) Menentukan Waktu Konsentrasi (Tc), Koefisien Tampungan (Cs) serta Intensitas Hujan (I); 3) Menghitung debit limpasan & menggambarkannya dalam bentuk Peta Sebaran Debit *run-off* (limpasan permukaan) dalam berbagai kala ulang dengan *ArcGIS 10.3.*



Gambar 3. Alur Analisis Perhitungan Debit Limpasan Permukaan di Sub DAS Lesti

Tabel 4. Perhitungan Koefisien Tampungan (Cs)

Sub-sub DAS	Panjang Lereng [L]	Kemiringan Lahan [S]	Angka Kekasaran Manning [n]	*Overland flow Time* [To]	Panjang Sungai [L sungai]	Slope Sungai [S sungai]	Kecepatan Aliran [v]	*Drain flow Time* [Td]	Waktu Konsentrasi [Tc]	Koefisien Tampungan [Cs]
	(m)			(jam)	(m)		(m/det)	(jam)	(jam)	
1	16650,967	64,241	0,025	1,893	5152,864	4,104	8,504	0,168	2,061	0,961
2	11598,032	34,439	0,025	1,801	138,995	1,728	5,518	0,007	1,808	0,998
3	16181,190	13,397	0,025	4,028	13939,352	1,931	5,834	0,664	4,692	0,934
4	29508,288	44,789	0,025	4,017	21508,196	5,379	9,736	0,614	4,631	0,938
5	3252,203	5,844	0,025	1,226	2587,939	1,157	4,515	0,159	1,385	0,946
6	19686,236	28,918	0,025	3,335	6186,711	2,281	6,340	0,271	3,606	0,964
7	4775,168	5,848	0,025	1,799	3883,330	0,902	3,987	0,271	2,070	0,939
8	22065,841	24,259	0,025	4,082	8780,925	1,931	5,834	0,418	4,500	0,956
9	2415,513	4,817	0,025	1,003	1913,381	0,011	0,446	1,192	2,194	0,786
10	17337,607	1,760	0,025	11,908	4794,285	0,851	3,872	0,344	12,252	0,986
11	23733,851	2,113	0,025	14,875	11583,911	0,784	3,717	0,866	15,741	0,973
12	21871,232	35,384	0,025	3,350	11712,662	3,248	7,566	0,430	3,780	0,946
13	16073,688	21,333	0,025	3,171	2441,960	1,038	4,278	0,159	3,329	0,977
14	13829,768	8,113	0,025	4,424	7789,504	0,546	3,102	0,697	5,121	0,936
15	16614,276	9,052	0,025	5,031	8718,620	0,819	3,799	0,638	5,669	0,947
16	5152,691	2,745	0,025	2,834	3704,163	0,638	3,352	0,307	3,141	0,953
17	10209,403	5,466	0,025	3,979	6543,818	0,086	1,232	1,476	5,454	0,881
18	28700,390	3,335	0,025	14,320	17192,926	0,614	3,288	1,452	15,772	0,956
19	302,132	4,658	0,025	0,128	28,284	2,747	6,958	0,001	0,129	0,996
20	474,558	3,617	0,025	0,227	253,137	0,428	2,746	0,026	0,253	0,952
21	14966,459	23,103	0,025	2,837	2563,503	1,516	5,169	0,138	2,975	0,977
22	2794,457	6,781	0,025	0,978	2038,234	0,286	2,244	0,252	1,230	0,907
23	14379,352	15,089	0,025	3,373	2914,508	1,768	5,582	0,145	3,518	0,980
24	7251,859	8,279	0,025	2,296	1244,680	1,109	4,422	0,078	2,374	0,984
25	7933,768	11,546	0,025	2,127	3052,203	1,769	5,584	0,152	2,279	0,968
26	14246,926	13,744	0,025	3,501	4618,183	0,597	3,243	0,396	3,897	0,952
27	17906,236	2,615	0,025	10,090	6023,402	0,708	3,533	0,474	10,563	0,978
28	9296,732	15,796	0,025	2,131	7197,788	0,221	1,972	1,014	3,145	0,861
29	16853,444	8,089	0,025	5,399	9068,915	0,109	1,383	1,822	7,220	0,888
30	11823,128	17,566	0,025	2,570	10466,316	0,599	3,248	0,895	3,465	0,886
31	16296,286	17,960	0,025	3,504	8549,331	1,195	4,590	0,517	4,021	0,940

Tabel 5. Perhitungan Intensitas Hujan (I) Tahun 2009-2018

Sub-sub DAS	Waktu Konsentrasi [Tc]	R_{24} (1.01 Tahun)	R_{24} (2 Tahun)	R_{24} (5 Tahun)	R_{24} (10 Tahun)	R_{24} (25 Tahun)	Intensitas Hujan 1.01 Tahun	Intensitas Hujan 2 Tahun	Intensitas Hujan 5 Tahun	Intensitas Hujan 10 Tahun	Intensitas Hujan 25 Tahun
	(jam)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/jam)	(mm/jam)	(mm/jam)	(mm/jam)	(mm/jam)
1	2,061	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	13,951	19,968	23,371	25,534	28,194
2	1,808	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	15,226	21,794	25,508	27,869	30,771
3	4,692	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	8,062	11,539	13,506	14,756	16,293
4	4,631	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	8,132	11,640	13,624	14,885	16,435
5	1,385	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	18,185	26,028	30,464	33,284	36,750
6	3,606	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	9,608	13,751	16,095	17,585	19,416
7	2,070	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	13,912	19,913	23,307	25,464	28,116
8	4,500	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	8,290	11,865	13,887	15,172	16,753
9	2,194	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	13,380	19,151	22,415	24,490	27,040
10	12,252	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	4,251	6,085	7,122	7,781	8,592
11	15,741	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	3,597	5,149	6,027	6,584	7,270
12	3,780	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	9,311	13,327	15,599	17,042	18,817
13	3,329	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	10,134	14,504	16,977	18,548	20,480
14	5,121	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	7,605	10,885	12,740	13,919	15,369
15	5,669	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	7,107	10,172	11,906	13,008	14,363
16	3,141	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	10,535	15,080	17,650	19,283	21,292
17	5,454	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	7,292	10,437	12,216	13,346	14,736
18	15,772	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	3,593	5,142	6,018	6,575	7,260
19	0,129	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	88,650	126,886	148,512	162,257	179,157
20	0,253	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	56,491	80,857	94,637	103,396	114,166
21	2,975	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	10,924	15,635	18,300	19,994	22,076
22	1,230	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	19,681	28,170	32,971	36,023	39,775
23	3,518	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	9,768	13,982	16,365	17,879	19,742
24	2,374	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	12,695	18,170	21,267	23,235	25,655
25	2,279	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	13,046	18,673	21,856	23,879	26,366
26	3,897	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	9,124	13,059	15,285	16,700	18,439
27	10,563	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	4,693	6,717	7,862	8,590	9,485
28	3,145	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	10,526	15,066	17,634	19,266	21,273
29	7,220	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	6,048	8,657	10,132	11,070	12,223
30	3,465	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	9,867	14,122	16,529	18,059	19,940
31	4,021	65,173	93,284	109,183	119,288	131,713	8,935	12,789	14,969	16,355	18,058

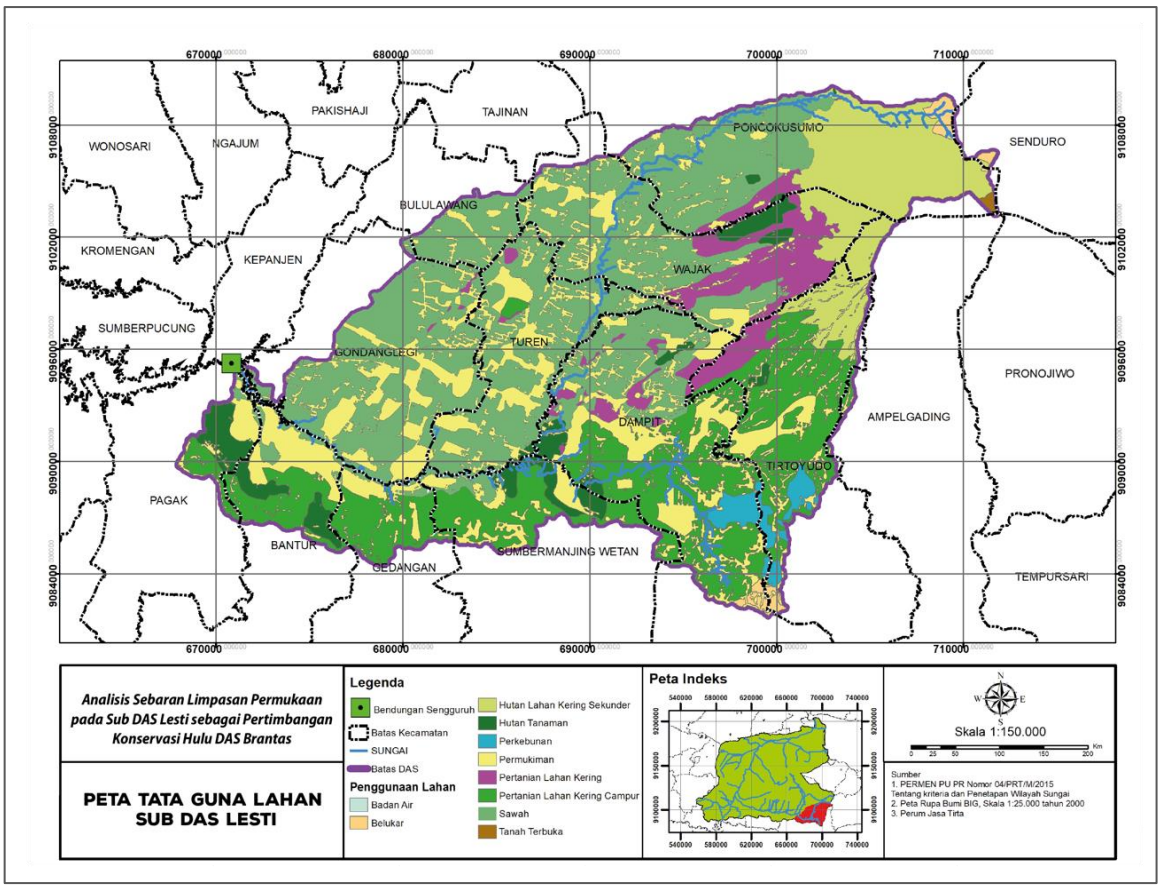
Langkah selanjutnya adalah perhitungan debit limpasan. Penentuan besarnya debit limpasan dilakukan melalui *overlay* dengan perangkat lunak *ArcGIS.* Analisis ini dilakukan melalui analisis *geoprocessing* pada perangkat lunak *ArcGIS*. Data yang digunakan adalah pada Sub-Sub Sub DAS
Lesti (Koefisien Cs dan I), peta tata guna lahan (untuk Koefisien C). Rumus yang digunakan adalah persamaan debit limpasan rasional modifikasi yaitu:

$$Q = 0{,}00278.C_s.C.I.A \qquad (2)$$

Dalam studi ini, besarnya nilai koefisien pengaliran berdasarkan kondisi penggunaan lahan Tahun 2018 pada Sub DAS Lesti dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Koefisien C (Limpasan) Sub DAS Lesti Tahun 2018

No	Tataguna Lahan	Koefisien C	Luas (m^2)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Badan Air	0,00	131396,37	13,14	0,02
2	Belukar	0,15	4941972,16	494,20	0,76
3	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,08	67709252,20	6770,93	10,46
4	Hutan Tanaman	0,06	27804756,09	2780,48	4,29
5	Perkebunan	0,20	9742083,24	974,21	1,50
6	Permukiman	0,25	140276061,24	14027,61	21,67
7	Pertanian Lahan Kering	0,25	39999030,37	3999,90	6,18
8	Pertanian Lahan Kering Campur	0,25	125190399,28	12519,04	19,34
9	Sawah	0,05	231120165,15	23112,02	35,70
10	Tanah Terbuka	0,30	493283,91	49,33	0,08
		Jumlah	647408400,00	64740,84	100,00



Gambar 4. Peta Tata Guna Lahan Sub DAS Lesti

Nilai koefisien pengaliran/limpasan permukaan (C) yang besar menunjukkan tentang jumlah limpasan permukaan yang terjadi di lahan tersebut adalah besar. Hal ini berarti kondisi tata air serta penggunaan lahan pada lahan tersebut telah rusak. Tata guna lahan pada Sub DAS Lesti ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai koefisien pengaliran/limpasan permukaan yang kecil menunjukkan tentang jumlah limpasan permukaan yang terjadi di lahan tersebut kecil. Hal ini berarti jumlah air yang meresap ke dalam tanah serta yang memberikan kontribusi *(recharge)* air tanah adalah besar

Tabel 7. Debit Limpasan Sub DAS Lesti Terkini

No	Sub-sub DAS	Luas Sub-sub DAS	Q Kala Ulang	Q Kala Ulang	Q Kala Ulang	Q Kala Ulang	Q Kala Ulang
			1.01 Tahun	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun
		(Ha)	(m^3/detik)	(m^3/detik)	(m^3/detik)	(m^3/detik)	(m^3/detik)
1	1	2244,76	6,738595	9,645109	11,288965	12,333764	13,618433
2	2	1272,64	3,804667	5,445708	6,373843	6,963745	7,689079
3	3	2585,00	4,276788	6,121467	7,164774	7,827877	8,643220
4	4	4662,40	9,919690	14,198284	16,618158	18,156174	20,047302
5	5	171,96	0,569628	0,815321	0,954280	1,042599	1,151195
6	6	3090,40	10,385970	14,865682	17,399303	19,009615	20,989636
7	7	317,52	0,937318	1,341604	1,570259	1,715588	1,894281
8	8	2945,28	9,854448	14,104904	16,508861	18,036764	19,915453
9	9	140,48	0,313284	0,448411	0,524835	0,573409	0,633134
10	10	2574,12	2,445301	3,500018	4,096541	4,475677	4,941859
11	11	4081,72	4,453628	6,374583	7,461028	8,151551	9,000606
12	12	2224,80	7,882032	11,281739	13,204533	14,426619	15,929279
13	13	1464,68	8,338987	11,935786	13,970054	15,262988	16,852764
14	14	1653,56	3,484639	4,987645	5,837712	6,377994	7,042319
15	15	2388,72	7,105916	10,170863	11,904326	13,006078	14,360776
16	16	280,08	0,846645	1,211823	1,418359	1,549629	1,711037
17	17	1828,48	3,614917	5,174116	6,055962	6,616443	7,305605
18	18	4787,96	5,518171	7,898286	9,244424	10,100001	11,152005
19	19	1,36	0,016832	0,024092	0,028198	0,030809	0,034018
20	20	4,80	0,047501	0,067989	0,079577	0,086942	0,095998
21	21	2781,72	17,928147	25,660976	30,034483	32,814190	36,232078
22	22	192,04	0,575156	0,823235	0,963542	1,052719	1,162368
23	23	1613,12	10,626847	15,210455	17,802838	19,450498	21,476440
24	24	1898,44	14,039289	20,094763	23,519598	25,696348	28,372850
25	25	1412,76	12,330739	17,649276	20,657316	22,569160	24,919939
26	26	2285,20	9,767103	13,979885	16,362536	17,876896	19,738933
27	27	2224,52	3,278022	4,691909	5,491571	5,999819	6,624753
28	28	1674,48	6,867159	9,829125	11,504343	12,569076	13,878257
29	29	4468,48	13,216747	18,917441	22,141619	24,190836	26,710527
30	30	2922,56	15,194143	21,747732	25,454289	27,810095	30,706763
31	31	4546,80	24,910828	35,655454	41,732362	45,594711	50,343805

Keterangan:
Contoh analisis perhitungan pada tabel 7 adalah sebagai berikut:
Sub DAS 1 dengan data - data:

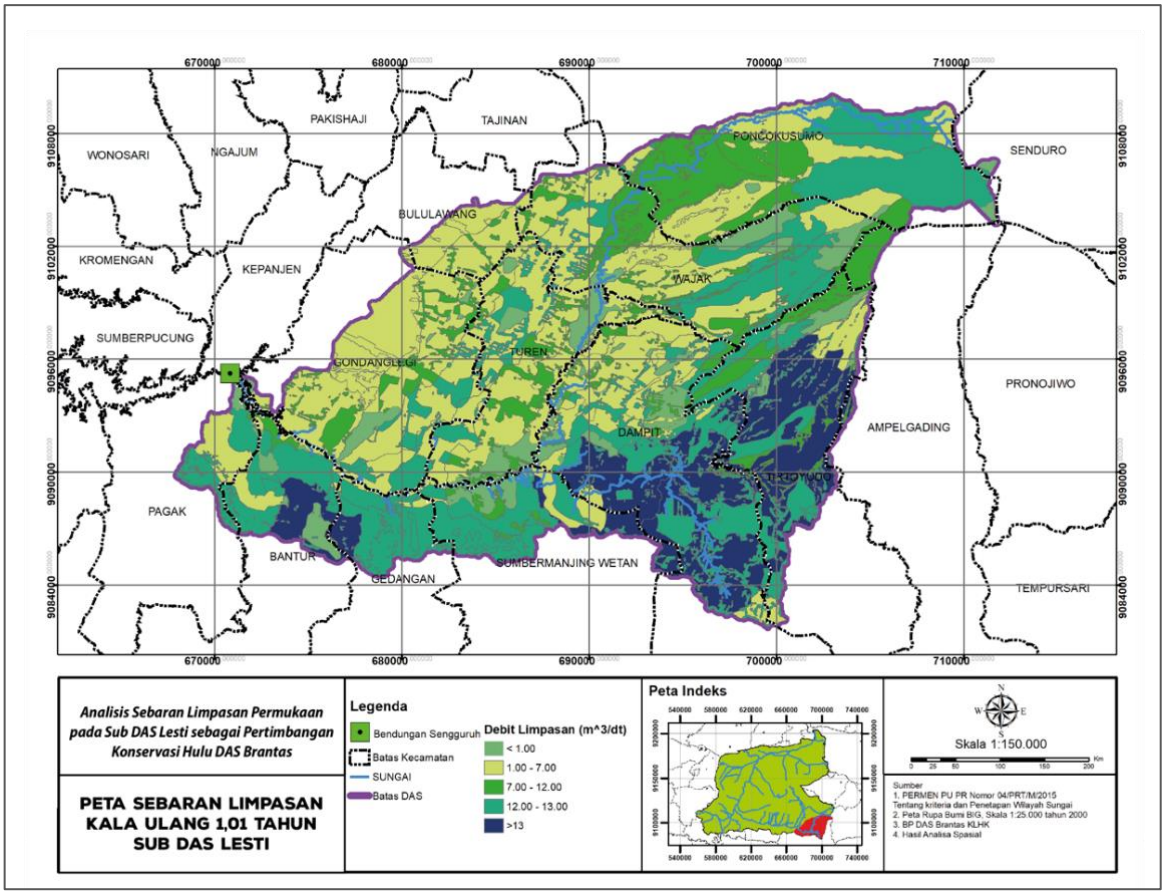
- Luas lahan untuk Sub-sub DAS 1 = 2.244,76 Ha
- Koefisien tampungan (Cs) = 0,961
- Nilai $C_{rata\text{-}rata}$ didapatkan = 0,081

Perhitungan untuk debit limpasan permukaan ($Q_{1,01}$) pada lokasi Sub DAS 1 adalah sebagaimana berikut:

$Q_{1,01}$ = 0,00278 x 0,961 x 0,081 x 13,951 x 2.244,76

$Q_{1,01}$ = 6,738595 m^3/detik

Sebaran limpasan pada Sub DAS Lesti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Peta Sebaran Limpasan Sub DAS Lesti

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan didapatkan kesimpulan bahwa pada Sub DAS Lesti terdapat beberapa wilayah yang memiliki debit limpasan permukaan sangat besar. Wilayah-wilayah tersebut perlu dipertimbangkan sebagai lokasi prioritas konservasi dalam bentuk kegiatan yang dapat meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Kecamatan Tirtoyudo, Kecamatan Dampit dan Kecamatan Bantur dan Kecamatan Ampelgading diidentifikasi sebagai wilayah yang memiliki sebaran debit limpasan permukaan terbesar. Sebagian wilayah Kecamatan Sumbermanjing Wetan yang berbatasan dengan Kecamatan Dampit juga menjadi wilayah yang perlu mendapat prioritas konservasi DAS.

Rekomendasi yang dapat diberikan pada kecamatan ini adalah dalam bentuk konservasi tanah dan air secara vegetatif seperti penanaman pohon dengan perakaran kuat, agroforestry, serta teknik *buffering* atau penutupan lahan pada lahan dengan kemiringan curam dengan tanaman keras dalam rangka meredam laju limpasan permukaan. Pembatas vegetatif seperti pagar Tanaman Vetiver juga direkomendasikan untuk ditanam melintangi lereng/ mengikuti arah kontur agar bisa membantu mengendalikan limpasan permukaan untuk selanjutnya menyebarkan dan memperlambatnya.

Secara sipil teknis, konservasi tanah dan air pada Kecamatan Tirtoyudo, Kecamatan Dampit dan Kecamatan Bantur dan Kecamatan Ampelgading serta sebagian wilayah Kecamatan Sumbermanjing Wetan yang berbatasan dengan Kecamatan Dampit dapat dilakukan dalam bentuk pembangunan sumur resapan dan biopori pada perumahan warga. Selain itu, pembangunan terasering buatan dapat menjadi alternatif untuk mengalihkan limpasan air ke tempat yang lebih aman. Pada aspek sosial, pelibatan komunitas masyarakat dengan kearifan lokalnya menjadi kunci yang perlu dipertimbangkan dalam menjalankan upaya konservasi, baik sipil teknis maupun vegetatif sehingga hasil yang diharapkan dapat lebih berkelanjutan.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih secara khusus kepada Dr. Ir. Medrilzam, M.Prof.Econ (Direktur Lingkungan Hidup Bappenas); Agustin Arry Yanna, SS, MA (Direktur PEPPD Bappenas); Prof. Drs. Raldi Hendrotoro Seputro Koestoer, M.Sc., Ph.D.; Prof. Dr. Ing. Ir. Dwita Sutjiningsih, Dipl. HE; Dr. Muchamad Saparis Soedarjanto, S.Si, M.T.; Dr. Ery Suhartanto, S.T., M,T; Rahmad Junaidi, S.T., M.T.; Silvitia Nindia Nurvia, S. Stat.; Jovany Alifyantera Adistana, ST; Rahmat Hidayat, S.Si, Desak Annisa Cahya Putri, SE, rekan-rekan Bappenas, BIG, BMKG Malang, Perum Jasa Tirta 1, Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, BPDAS-HL Brantas, BBWS Brantas, Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur, dan semua pihak yang membantu dalam penulisan, baik teknis maupun non teknis.

Daftar Pustaka

Arsyad, Sitanala. 2012. *Konservasi Tanah dan Air Edisi Kedua.* Bogor: IPB Press.

Asdak, Chay. 2010. *Hodrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.* Edisi Kelima (Revisi). Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Bappenas. 2015. *Kajian Pengaruh Kebijakan Konservasi Sumber Daya Air di dalam DAS Terhadap Sektor Kehutanan dan Sektor lainnya.* Jakarta: Bappenas.

Bisri, M., L.M. Limantara, L. Prasetyorini, and D. Chasanawati. 2017. "Application of the Kineros model for predicting the effect of land use on the surface run-off. Case study in Brantas sub-watershed, Klojen District, Malang City, East Java Province of Indonesia." *Journal of Water and Land Development* (Polish Academy of Science (PAN) in Warsaw.doi:10.1515/jwld-2017-0062) No.35 p.3-9.

Djajasinga, V., A. Masrevaniah, and P.T. Juwono. 2012. "Kajian Ekonomi Penanganan Sedimen pada Waduk Seri di Sungai Brantas (Sengguruh, Sutami dan Wlingi)." *Jurnal Teknik Pengairan* 3: 143-152.

Gol. 1999. *Undang-undang No.41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.* Jakarta: Pemerintah Indonesia.

Ma'wa , J., U. Andawayanti, and P.T. Juwono. 2015. *Studi Pendugaan Sisa Usia Guna Waduk Sengguruh dengan Pendekatan Erosi dan Sedimentasi.* Skripsi, Malang: Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Pambudi, A.S. (2021). Analisis Stabilitas Bangunan Pengendali Sedimen pada Kondisi Banjir Rancangan dan Tampungan Sedimen Penuh : Suatu Kasus di Arboretum Sumber Brantas, Kota Batu. *Jurnal Teknik Sipil, 17 (2), 169 – 183.* DOI: https://doi.org/10.28932/jts.v17i2.3568

Pambudi, A. S., Moersidik, S.S. & Karuniasa, M. (2021). Analysis of Recent Erosion Hazard Levels and Conservation Policy Recommendations for Lesti Subwatershed, Upper Brantas Watershed. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning, 5(1), 71-93*. https://doi.org/10.36574/jpp.v5i1.167

Pambudi, A. S. 2020. *Determination of the Most Priority Conservation Area Based on Population Pressure and Erosion Hazard Levels in Lesti Sub-Watershed, Malang Regency, Indonesia.* doi:10.5772/intechopen.95386.

Pambudi, A. S., and S. S. Moersidik. 2019. "Conservation Direction Based on Estimation of Erosion in Lesti Sub-Watershed, Malang District." *International Proceeding IOP Conference Series : Earth and Environmental Science.* IOP Publishing Ltd. doi:10.1088/1755-1315/399/1/012097.

Pambudi, Andi Setyo. 2019. "Watershed Management in Indonesia: A Regulation, Institution, and Policy Review." *The Indonesian Journal of Development Planning* 3(2): 185-202. https://doi.org/10.36574/jpp.v3i2.74.

Reddy, V.R., Y.S. Saharawat, and B. George. 2017. "Watershed Management in South Asia: A synoptic Review." *Journal of Hydrology* 551: 4-13. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.05.043.

Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik.* Surabaya: Usaha Nasional.

Yetti, E., D. Soedharma, and S. Haryadi. 2011. "Evaluasi Kualitas Air Sungai-Sungai di Kawasan DAS Brantas Hulu Malang dalam Kaitannya dengan Tata Guna Lahan dan Aktivitas Masyarakat di Sekitarnya." *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (JPSL)* 1(1): 10-15. doi: https://doi.org/10.29244/jpsl.1.1.10.