

Sifat Fisik Tanah dan Hubungannya dengan Kapasitas Infiltrasi DAS Tamiang

Soil Physical Properties and their Relationship with the Infiltration Capacity of Tamiang River Basin

Cut Azizah^{1,2}, Hidayat Pawitan^{*3}, Bambang Dwi Dasanto³, Iwan Ridwansyah⁴ dan Muh Taufik³

¹Study program of Applied climatology, Department of Geophysical and Meteorology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, IPB University, West Java, Bogor, 16680, Indonesia

²Study program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Almuslim University, Aceh, Bireuen, 24211, Indonesia

³Department of Geophysical and Meteorology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, IPB University, West Java, Bogor, 16680, Indonesia

⁴The Indonesian Institute of Sciences, West Java, Cibinong, 16911, Jakarta, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 3 September 2019

Direview: 25 September 2019

Disetujui: 17 Desember 2019

Kata kunci:

Banjir
Limpasan
Tekstur tanah
Porositas
Permeabilitas

Keywords:

Flood
Runoff
Soil texture
Porosity
Permeability

Direview oleh:

Rizatus Shofiyati, Yayan
Apriyana

Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Tamiang merupakan salah satu dari 9 DAS rawan bencana dan 108 DAS kritis di Indonesia karena rawan banjir. Banjir yang terjadi di DAS Tamiang terjadi dua sampai tiga kali dalam satu tahun yang diantaranya banjir bandang (Menhut RI 2009; Nugroho 2017; Hadi 2018). Banjir dalam satu dekade terakhir terjadi lebih dari 30 kali dengan 20 persennya merupakan banjir bandang dan pada tahun 2018, telah mengalami delapan kejadian banjir (BNPB 2018). Banjir bandang terburuk yang dialami terjadi pada tahun 2006

Abstrak. Daerah Aliran Sungai (DAS) Tamiang merupakan wilayah rawan bencana dan digolongkan sebagai DAS kritis di Indonesia karena rawan banjir. Mitigasi banjir memerlukan analisis kuantifikasi limpasan yang diprediksi dari curah hujan dikurangi kapasitas infiltrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi parameter fisik tanah dan hubungannya dengan kapasitas infiltrasi DAS Tamiang. Parameter fisik tanah yang dianalisis adalah tekstur tanah, berat jenis, kadar air, permeabilitas dan porositas. Hasil penelitian menunjukkan tekstur tanah didominasi clay sehingga *Hydrologic Soil Groups* (HSG) termasuk dalam kapasitas infiltrasi sedang, berat jenis tanah 0,9-1,5 g cm⁻³, nilai kadar air pada musim kemarau 20-78 % (volume), nilai permeabilitas termasuk kategori sedang dan agak cepat (3-8 cm jam⁻¹), dan nilai porositas 44-68%. Distribusi parameter fisik tanah menunjukkan kualitas yang kurang baik untuk kapasitas infiltrasi DAS Tamiang. Hasil penelitian dapat digunakan pada perencanaan pengelolaan sumberdaya air yang memerlukan data tanah untuk penelitian terkait.

Abstract. The Tamiang River Basin is one of a disaster-prone and considered as a critical area in Indonesia due to vulnerability to flood. Flood mitigation requires an analysis of runoff quantification derived from the difference between rainfall and infiltration capacity. This study aimed to determine the distribution of soil physical parameters and their relationship to the infiltration capacity of the Tamiang watershed. Soil physical parameters analyzed were soil texture, bulk density, moisture content, permeability and porosity. The results showed the texture of the soil was predominantly clay so that the Hydrologic Soil Groups (HSG) was included in the medium infiltration capacity group, soil bulk density was 0.9-1.5 g cm⁻³, water content in the dry season was 20-78% (by volume), permeability belonged to medium and fairly fast categories (3-8 cm hour⁻¹), and the porosity is was 44-68%. The distribution of soil physical parameters indicate somewhat poor infiltration capacity of the Tamiang watershed. The results of this study can be used in water resources management planning that requires soil data for related research.

yang menimbulkan korban jiwa sebanyak 50 orang, 160 hilang, 250 ribu orang mengungsi dan kerugian ekonomi sebesar satu triliun rupiah (World Bank 2007).

Mitigasi bahaya banjir pada pengelolaan DAS memerlukan data parameter fisik tanah untuk mengetahui kapasitas infiltrasi (Holden 2005; human *et al.* 2011; Asdak 2002). Infiltrasi merupakan proses masuknya air ke dalam tanah yang dipengaruhi parameter fisik tanah (Dooge 1973). Kapasitas infiltrasi merupakan komponen penting dalam pemodelan hidrologi untuk memprediksi debit banjir pada analisis kuantifikasi limpasan. Kuantifikasi limpasan diprediksi dari besaran curah hujan

* Corresponding author: hpawitan@gmail.com

dikurangi kapasitas infiltrasi (Dooge 1973; Singh 1995). Kapasitas infiltrasi dipengaruhi penggunaan lahan, vegetasi dan parameter fisik tanah (Agustina *et al.* 2012; Sajjadi *et al.* 2016; Musa *et al.* 2017). Parameter fisik tanah yang sangat berperan penting dalam kapasitas infiltrasi adalah tekstur tanah, berat jenis, kadar air, permeabilitas dan porositas (Sun *et al.* 2018; Roy and Bhalla 2017; Wohl *et al.* 2012; Young 1988; Black 1965; Foth 1987).

Pengelolaan banjir DAS Tamiang belum memiliki data parameter fisik tanah yang digunakan untuk analisis kapasitas infiltrasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui distribusi parameter fisik tanah dan hubungannya dengan kapasitas infiltrasi DAS Tamiang. Manfaat hasil penelitian dapat digunakan pada perencanaan pengelolaan sumberdaya air yang memerlukan data tanah untuk penelitian terkait.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada DAS Tamiang yang terletak di Provinsi Aceh, Indonesia. Wilayah DAS Tamiang termasuk dalam 3 Kabupaten di Provinsi Aceh yaitu Kabupaten Tamiang, Aceh Timur dan Gayo Lues dengan letak geografis adalah 4° 0' 0" - 4° 30' 0" LU - 97° 30' 0" - 98° 0' 0" BT. Luas DAS Tamiang adalah 5 424 km² dengan outlet di Bukit Suling. DAS ini terbagi kedalam empat sub DAS yaitu Simpang Kiri, Simpang Jernih, Waini Lesten dan Waini Oreng (Gambar 1).



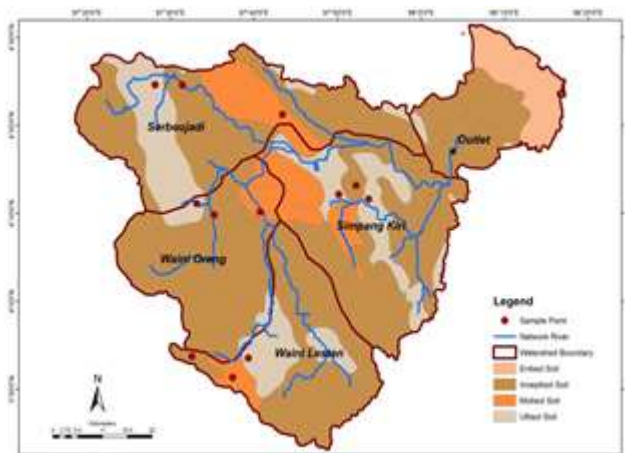
Gambar 1. Peta DAS Tamiang di Provinsi Aceh dengan insert memperlihatkan posisi DAS di Pulau Sumatra

Figure 1. The Tamiang river basin in Aceh Province with Sumatra island in the left corner insert, showing the position of the basin

Alat dan Bahan

Data spasial peta jenis tanah diperoleh dari *Land Unit Classification for the Reconnaissance Soil Survey-Land Resources Evaluation and Planning Project (LREP)* skala 1:250.000 (Buurman and Balsem 1988) yang di overlay dengan batas das Tamiang.

Berdasarkan peta tanah tersebut, jenis tanah di DAS Tamiang terdiri dari 3 jenis tanah yaitu Inceptisol (Udepts), Molisol (Udolls) dan Ultisol (Udults). Pengambilan sampel tanah di DAS Tamiang dilakukan pada 3 jenis tanah untuk 4 sub DAS Tamiang (Gambar 2).



Gambar 2. Ordo tanah dan lokasi pengambilan sampel tanah di DAS Tamiang

Figure 2. Soil order and locations of soil sampling in the Tamiang river basin

Untuk kuantifikasi limpasan dalam analisis hidrologi DAS Tamiang, diperlukan data parameter fisik tanah per jenis tanah pada 4 sub DAS sehingga titik pengambilan sampel adalah 12 titik. Sampel diambil pada bulan Juni sampai dengan Juli 2018 (musim kemarau) dengan distribusi lokasi pengambilan sampel berdasarkan kedekatan jarak dari akses jalan (Gambar 3).

Pengambilan sampel menggunakan metode sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed soil sample*) dan metode sampel tanah terganggu (*disturbed soil sample*) dengan kedalaman 0-40 cm dan 40-60 cm. Jarak kedalaman pengambilan sampel berhubungan dengan kemampuan tanah dalam kapasitas infiltrasi (Wang *et al.* 2015; Yang and Fu 2017). Analisis contoh tanah untuk parameter fisik tanah dilaksanakan di Laboratorium Tanah, Institut Pertanian Bogor (IPB).



Gambar 3. Kode lokasi titik pengambilan contoh tanah dan contoh tanah “ring” yang digunakan untuk analisis parameter fisik tanah

Figure 3. The location code and ring sample for soil physical analysis

Klasifikasi Kelompok Hidrologi Tanah (HSG)

Klasifikasi *Hidrologic Soil Groups* (HSG) ditentukan berdasarkan penilaian ilmuwan tanah dengan menggunakan tekstur tanah untuk memperkirakan kapasitas infiltrasi. HSG dikembangkan oleh *Soil Conservation Service* (SCS) dengan mengelompokkan tanah kedalam 4 kelompok HSG. Kelompok HSG diberi kode huruf A, B, C dan D (Tabel 1) (Arsyad 2010).

Tabel 1. Karakteristik HSG

Table 1. HSG Characteristics

Grup	Keterangan	Kapasitas infiltrasi (cm jam ⁻¹)
A	Potensi air larian paling kecil, termasuk tanah pasir dengan unsur debu dan liat. Kapasitas infiltrasi tinggi.	0,8-1,2
B	Potensi air larian kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari A. Tekstur halus sampai sedang. Kapasitas infiltrasi sedang.	0,4-0,8
C	Potensi air larian sedang, tanah dangkal dan mengandung cukup liat. Tekstur sedang sampai halus. Kapasitas infiltrasi rendah	0,1-0,4
D	Potensi air larian tinggi, kebanyakan tanah liat, dangkal dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah. Infiltrasi paling rendah.	0-0,1

Hasil dan Pembahasan

Distribusi Tekstur Tanah

Tekstur tanah menunjukkan kandungan relatif partikel dari berbagai pasir, lanau dan liat yang digunakan untuk memperkirakan sifat-sifat tanah. Tekstur tanah merupakan faktor utama yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi. Distribusi partikel tanah dan tekstur tanah DAS Tamiang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi tekstur tanah DAS Tamiang

Table 2. Soil texture classification of Tamiang river basin

Grid No.	Particle size analysis			Textural Class
	Sand,%	Silt,%	Clay,%	
1	26,75	22,35	50,91	Clay
2	69,31	18,90	11,79	Sandy loam
3	39,91	28,18	31,92	Clay loam
4	16,57	26,79	56,65	Clay
5	31,15	30,62	38,24	Clay Loam
6	14,77	32,62	52,62	Clay
7	23,84	33,10	43,07	Clay
8	15,86	41,52	42,63	Silty clay
9	24,70	33,64	63,90	Clay
10	37,89	22,97	39,14	Clay Loam
11	47,70	14,83	37,47	Sandy Clay
12	67,31	16,07	16,63	Sandy loam

Tekstur tanah dikategorikan berdasarkan klasifikasi tekstur USDA. Variasi tekstur tanah pasir, debu dan liat ditemukan bervariasi masing-masing antara 24,70% hingga 69,31%, 14,83% hingga 41,52% dan 11,79% hingga 63,21%. Tanah DAS Tamiang dikategorikan dalam lima kelas yaitu *clay*, *sandy loam*, *clay loam*, *silty clay*, dan *sandy clay*.

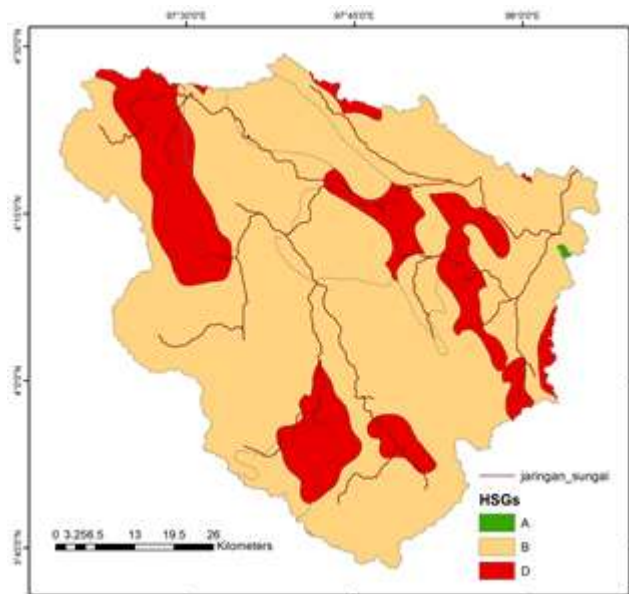
Kelas tekstur utama yang ditemukan adalah liat (*clay*) pada 5 titik dari 12 titik pengambilan sampel. Kelas tekstur tanah lainnya juga memperlihatkan adanya dominasi tanah *clay* dalam tekstur tanah. Tekstur tanah liat memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih rendah daripada tekstur tanah pasir dan lanau, kecuali pada kondisi kering. Dominasi tekstur tanah liat DAS Tamiang menunjukkan kapasitas infiltrasi rendah yang memperbesar volume limpasan sehingga terjadi banjir.

Karakteristik HSG

Vaezi et al. (2010), menyebutkan limpasan secara signifikan berhubungan dengan tekstur tanah yaitu partikel

pasir yang mengurangi limpasan. Limpasan adalah aliran air yang mengalir di atas permukaan tanah karena penuhnya kapasitas infiltrasi tanah. Semakin “baik” tekstur tanah akan membuat *residence time* air semakin lama berada dalam tanah. Hal ini akan menurunkan limpasan permukaan yang dapat mengakibatkan banjir dan erosi (Sajjadi *et al.* 2016).

Hasil analisis HSG DAS Tamiang (Gambar 4) memperlihatkan kelompok B mendominasi pada keseluruhan DAS. Hal ini menunjukkan distribusi rerata kapasitas infiltrasi pada lokasi studi adalah sedang dan sangat lambat pada beberapa wilayah di hulu DAS. Kapasitas infiltrasi rendah dalam hidrologi akan memperbesar volume limpasan yang menyebabkan terjadinya banjir (Bisht *et al.* 2018).



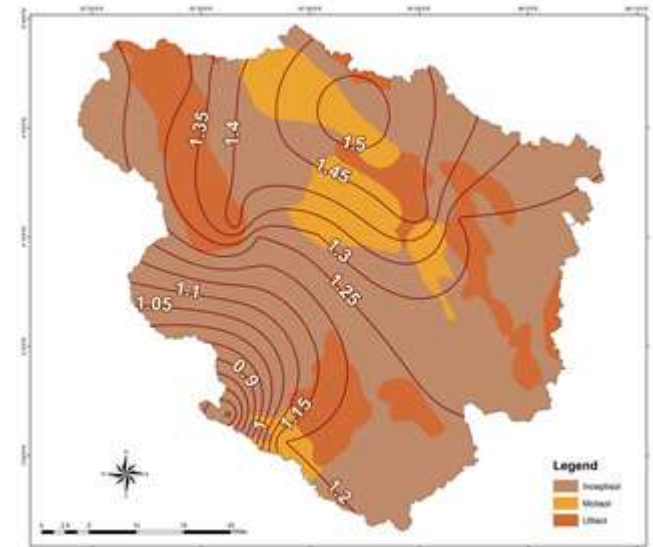
Gambar 4. Distribusi HSG DAS Tamiang
 Figure 4. Distribution HSG of Tamiang river basin

Berat Jenis

Berat jenis merupakan indikator kepadatan tanah dan kesehatan tanah. USDA-NRCS (2015) menyebutkan, berat jenis adalah berat kering tanah per satuan volume tanah dan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi. Berat jenis dinilai dari padatan dan ruang pori, yang dipengaruhi bahan organik tanah, tekstur tanah dan kepadatan mineral tanah (pasir, lanau, dan tanah liat). Kapasitas infiltrasi akan berkurang ketika nilai berat jenis semakin tinggi, dan infiltrasi akan meningkat ketika nilai berat jenis semakin rendah. Berat jenis yang tinggi merupakan indikator porositas tanah rendah dan pemadatan tanah. Pemadatan tanah meningkatkan berat

jenis sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi air ke dalam tanah yang akhirnya menyebabkan peningkatan limpasan dan erosi (Patle *et al.* 2019).

Berat jenis DAS Tamiang (Gambar 5) berkisar antara 0,9 g cm⁻³ sampai 1,5 g cm⁻³. Hal ini sesuai dengan tekstur tanah DAS Tamiang yang didominasi oleh liat (*clay*) dan liat berlempung (*clay loam*). Menurut FAO (1990), tekstur tanah liat memiliki kapasitas infiltrasi 0,1-0,5 cm jam⁻¹ dan clay loam berkisar 0,5-1,0 cm jam⁻¹. Kapasitas infiltrasi ini sesuai dengan hasil analisis HSG rerata DAS Tamiang yang termasuk kelompok B. Kelompok B berdasarkan Tabel 1 memiliki kapasitas infiltrasi 0,4-0,8 cm jam⁻¹. USDA (1986) menyebutkan kapasitas infiltrasi 0,1-1,0 cm jam⁻¹ tergolong lambat.



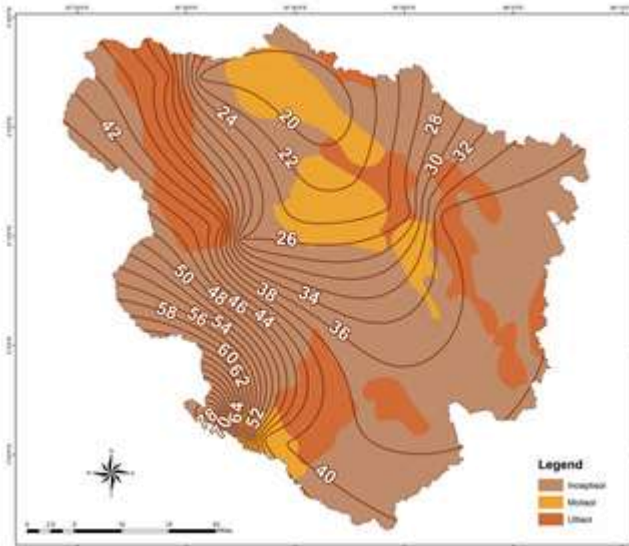
Gambar 5. Distribusi spasial berat jenis (g cm⁻³) DAS Tamiang
 Figure 5. Soil bulk density (g cm⁻³) spatial distribution of Tamiang river basin

Kadar Air

Kadar air tanah berhubungan erat dengan curah hujan, dipengaruhi oleh tekstur bahan organik dan struktur tanah (Sutanto dan Rahmat 2005). Distribusi kadar air DAS Tamiang lebih tinggi di bagian hulu dibandingkan dengan hilir. Gambar 6 menunjukkan sebaran kadar air tanah DAS Tamiang berkisar antara 20-78% pada Bulan Juni-Juli 2018.

Khaerudin *et al.* (2017) menyebutkan kapasitas infiltrasi akan dipengaruhi oleh kadar air sebelumnya dan kondisi permukaan tanah. Distribusi kadar air DAS Tamiang dapat dikategorikan cukup tinggi walaupun pada musim kemarau (waktu pengambilan sampel). Hal ini

karena DAS Tamiang termasuk iklim *fully humid* (Af) dengan curah hujan rerata tahunan 2600 mm dan pola hujan ekuatorial. Pola hujan ekuatorial memiliki dua puncak musim hujan dalam setahun (Kottek *et al.* 2006; Aldrian dan Susanto 2011). Hujan bulanan DAS Tamiang memperlihatkan puncak musim hujan terjadi pada Bulan Mei dan Bulan Oktober. Banjir DAS Tamiang rata-rata terjadi pada Bulan Oktober-November (ON) dan Maret-April-Mei (MAM) (BNPB 2018).



Gambar 6. Distribusi spasial kadar air (% volume) DAS Tamiang pada Bulan Juli 2018

Figure 6. Water content (% by volume) spatial distribution of Tamiang river basin in July 2018

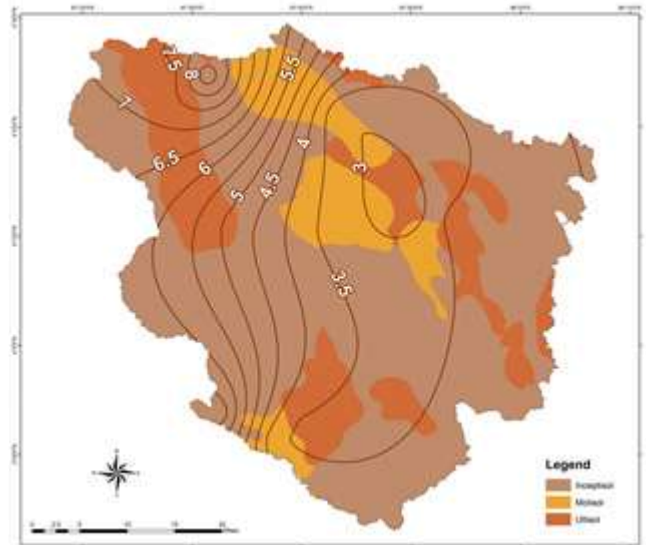
Permeabilitas

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah dalam mentransmisikan air dan udara kedalam tanah pada waktu tertentu. Tekstur tanah dan kadar air sebelumnya mempengaruhi nilai permeabilitas. Semakin halus tekstur tanah maka semakin lambat permeabilitas tanah, sebaliknya semakin besar ukuran butir tekstur tanah maka semakin cepat permeabilitas tanah (Ajidirman 2005).

Uhland *and* O'Neal (1951) menyebutkan variasi penyebaran permeabilitas tanah berkisar antara agak lambat (0,5 - 2,0 cm jam⁻¹), sedang (2,0 - 6,25 cm jam⁻¹), agak cepat (6,25 - 12,5 cm jam⁻¹) dan cepat (12,5 - 25 cm jam⁻¹). Distribusi permeabilitas tanah DAS Tamiang berkisar 3 cm jam⁻¹ sampai 8 cm jam⁻¹ (Gambar 7), sehingga kapasitas infiltrasi bagian hulu DAS termasuk kategori agak cepat dan semakin ke hilir semakin lambat.

Permeabilitas tanah berperan penting dalam kapasitas infiltrasi, dimana semakin tinggi permeabilitas tanah, semakin cepat air dapat masuk kedalam tanah sehingga

mengurangi limpasan (Human *et al.* 2011). Distribusi permeabilitas bagian hilir DAS Tamiang termasuk kapasitas infiltrasi lambat sehingga berkontribusi pada banjir genangan yang umumnya terjadi di kawasan hilir DAS (Darabi *et al.* 2019).

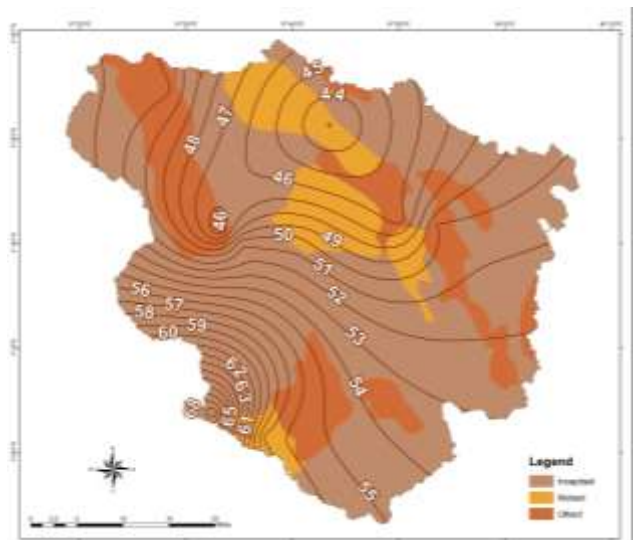


Gambar 7. Distribusi permeabilitas (cm jam⁻¹) DAS Tamiang

Figure 7. Soil permeability (cm hour⁻¹) distribution of Tamiang river basin

Porositas

Porositas adalah jumlah ruang pori tanah. Tanah dengan porositas lebih tinggi memiliki ruang pori lebih banyak dan laju infiltrasi lebih tinggi daripada tanah



Gambar 8. Distribusi porositas tanah (%) DAS Tamiang

Figure 8. Soil porosity (%) distribution of Tamiang river basin

dengan porositas lebih rendah. Tanah yang dipadatkan atau kedap air memiliki ruang pori yang lebih sedikit, sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi (Nimmo 2004).

Nilai porositas tanah DAS Tamiang berkisar antara 44% sampai 68% (Gambar 8). Nilai tersebut termasuk kualitas yang sangat baik yang mengindikasikan kapasitas infiltrasi yang tinggi. Nilai porositas ini terjadi pada musim kemarau, sedangkan pada musim penghujan diperkirakan ruang pori semakin sedikit sehingga kapasitas infiltrasi melambat. Sebaran porositas tanah DAS Tamiang menggambarkan nilai porositas lebih tinggi di bagian hulu daripada di hilir, dengan demikian kapasitas infiltrasi di bagian hilir lebih lambat dari pada bagian hulu.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, distribusi parameter fisik tanah yaitu tekstur tanah, berat jenis, kadar air, permeabilitas dan porositas menunjukkan kualitas yang kurang baik untuk kapasitas infiltrasi DAS Tamiang. Hal ini terlihat dari rerata tekstur tanah yang didominasi *clay* sehingga HSG termasuk kapasitas infiltrasi sedang, kadar air termasuk tinggi pada musim kemarau, dan nilai permeabilitas termasuk kategori sedang dan agak cepat, namun nilai porositas tergolong tinggi sehingga sedikit mempercepat kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi diperkirakan akan semakin rendah pada musim penghujan sehingga diperlukan mitigasi dan strategi pengelolaan DAS untuk mengurangi risiko banjir.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPDP dan Kemenristekdikti melalui Program Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri (BUDI DN), nomor kontrak PRJ-6213/LPDP.3/2016 yang telah mendanai penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pemda Kabupaten Aceh Tamiang, dan Aceh Timur.

Daftar Pustaka

Agustina D, Setyowati DL, Sugiyanto. 2012. Analisis Kapasitas Infiltrasi Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Kelurahan Sekaran Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Geo Image*. 1(1):87-93.

Ajidirman. 2005. Kajian Kapasitas Infiltrasi Dalam Hubungannya Dengan Pergerakan Bahan Liat Penyusun Tubuh Tanah Berbahan Induk Batu Liat Dan Pasir. *J.Solum*. 2(2):74-80.

Aldrian E, Karmini M, Budiman. 2011. *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. BMKG. Jakarta.

Arsyad S. 2010. *Konservasi tanah dan air*. IPB Press. Bogor.

Asdak C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Basche AD, DeLonge MS. 2019. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *PLoS ONE*. 14(9): e0215702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>

BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). 2018. *Data dan Informasi Bencana Indonesia*. Tersedia pada <http://dibi.bnpb.go.id/data-bencana>.

Black CA. 1965. *Methods of Soil Analysis: Part I, Physical and Mineralogical Properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Bisht S, Chaudhry S, Sharma S, Soni S. 2018. Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh Indi. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 12:35-47.

Buurman P, Balsem T. 1988. *Land Unit Classification for the Reconnaissance Soil Survey of Sumatra*. Technical Report No. 2 Version 2.1. Land Resources Evaluation and Planning Proj. Centre for Soil and Agroclimate Research. Bogor.

Darabi H, Choubin B, Rahmati O, Torabi H A, Pradhan B, Kløve B. 2019. Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of Hydrology*. 569 : 142–154.

Dooge J. 1973. *Linear Theory of Hydrologic Systems*. United States Department of Agriculture. Washington DC.

FAO.1990. *FAO Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organisation of the United Nations*. Rome.

Foth HD. 1987. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hadi DW. 2018. *KLHK Siapkan Masterplan Selesaikan Rehabilitasi Lahan Kritis pada 2030*. http://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/1627.

Holden J. 2005. *Infiltration/Capacity/Rates*. In *Water Encyclopedia* (eds J.H. Lehr and J. Keeley). doi:10.1002/047147844X.gw546

- Human M, Schuler G, Muller C, Schneider R, Johst M, Caspari T. 2011. Identification of runoff processes – The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. *Journal of Hydrology*. 409:637-649.
- Kottek M, Jürgen G, Beck C, Rudolf B, Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15(3): 259–263.
- Khaerudin DN, Rispiningtati, Suharyanto A, Harisuseno D. 2017. Infiltration Rate for Rainfall and Runoff Process with Bulk Density Soil and Slope Variation in Laboratory Experiment. *Nature Environment and Pollution Technology*. 16(1):219-224.
- Musa JJ, Anijofor SC, Obasa P, Avwevuruvwe JJ. 2017. Effects of soil physical properties on erodibility and infiltration parameters of selected areas in Gidan kwano. 12(1).
- Menhut RI. 2009. Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: Sk. 328/Menhut-I/2009 Tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas Dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014.
- Nimmo JR. 2004. Porosity and Pore Size Distribution. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 3:295-303.
- Nugroho H. 2017. Pengelolaan DAS Terpadu. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Das) Secara Terpadu 2017. <http://pslh.lppm.unri.ac.id-/2018/02/06/prosiding-seminar-nasional-pengelolaan-daerah-aliran-sungai-das-secara-terpadu-2017/>.
- Patle GT, Sikar TT, Rawat KS, Singh SK. 2019. Estimation of infiltration rate from soil properties using regression model for cultivated land. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 3(1):1-13. DOI: 10.1080/24749508.2018.1481633
- Roy S, Bhalla SK. 2017. Role of Geotechnical Properties of Soil on Civil Engineering Structures. *Resources and Environment*. 7(4):103-109.
- Sajjadi, Hamid SA, Mirzaei, Maryam, Nasab, Afsaneh, Ghezalje, Amin, Tadayonfar, Gholamreza, Sarkardeh, Hamed. (2016). Effect of soil physical properties on infiltration rate. *Geomechanics and Engineering*. 10(6):727-736.
- Singh VP. 1995. Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications (WRP). Colorado. USA.
- Sun D, Yang H, Guan D, Yang M, Wu J, Yuang F, Jin C, Wang A, Zhang Y. 2018. The effects of land use change on soil infiltration capacity in China: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 626:1394–1401.
- Sutanto, Rahmat. 2005. Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Kanisius, Yogyakarta.
- Uhland RE, O’Neal AM. 1951. Soil permeability determinations for use in soil and water conservation. SCS-TP-101.
- USDA. 1986. Urban Hydrology for Small River basins. Soil Conservation. Washington, DC: USDA.
- USDA-NRCS. 2015. Soil Bulk Density/Moisture/Aeration [Online]. www.nrcs.usda.gov.
- Vaezi AR, Bahrami HA, Sadeghi SHR, Mahdian MH. 2010. Modeling relationship between runoff and soil properties in dry-farming lands, NW Iran. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 7: 2577–2607. <https://doi.org/10.5194/hessd-7-2577-2010>.
- Wang L, Zhong C, Gao P, Xi W, Zhang S. 2015. Soil Infiltration Characteristics in Agroforestry Systems and Their Relationships with the Temporal Distribution of Rainfall on the Loess Plateau in China. *PLoS ONE*. 10(4):e0124767. doi:10.1371/journal.pone.0124767.
- Wohl E, Barros A, Brunsell N, Chappell NA, Coe M, Giambelluca T, Goldsmith S, Harmon R, Hendrickx JMH, Juvik J, McDonnell J, Ogden F. 2012. The Hydrology of The Humid Tropics. *Nature Climate Change*. 2: 655-662.
- World Bank. 2007. Aceh Flood, Damage and loss assessment. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/285B8451D62E9F3F4925732200249F88-Full_Report.pdf.
- Yang Y, Fu B. 2017. Soil water migration in the unsaturated zone of semiarid region in China from Isotope Evidence. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21:757–1767. doi:10.5194/hess-21-1757-2017.
- Young EG. 1988. Soil Physics and Hydrology. *Journal of Hydrology*. 100:411-431.