

KARAKTERISTIK DAERAH ALIRAN SUNGAI KLOWOGUK DI KOTA SORONG, PAPUA BARAT DAYA

Characteristics of Klawoguk Watershed in Sorong City, Southwest Papua

Mahmud^{1)*}, Danang Jatmika Wahyu Wijaya²⁾, Wahyudi¹⁾, Bambang Nugroho¹⁾, Arif Faisol³⁾, Febriza Dwiranti⁴⁾ dan Mutakim¹⁾

¹⁾ Fakultas Kehutanan Universitas Papua, Manokwari, 98314

²⁾ Staf BPDASHL Remu Ransiki Manokwari Papua Barat, Manokwari, 98314

³⁾ Fakultas Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Papua, Manokwari, 98314, Indonesia

⁴⁾ Fakultas Matematika dan IPA Universitas Papua, Manokwari, 98314, Indonesia

ABSTRACT

Floods have become the biggest disaster in the last decade. This study aims to examine the characteristics of the Klawoguk Watershed which are expected to contribute in planning, managing and mitigating floods in Sorong City. This study used survey methods, spatial analysis and field observations. The results showed that the characteristics of the Klawoguk watershed have a very wet tropical climate type with rainfall throughout the year without a recognized dry season. In an oval-shaped watershed, it is possible for the water to take longer to reach the water's end point. The flat topography covering an area of 2,599.30 ha has become the urban area of Southwest Papua Province including the villages of Sawagumu, Malaingke, Klasabi, Kalwalu and Klamana which are prone to flooding. In the last seven months the flow regime coefficient (CRF) has been changing, dominated by very low, which means that the water flow in the Klawoguk river is more stable. The sediment is dominated by very high podzolic soil types and there is degradation of protected forest by taking soil and C excavation which causes an increase in sediment yield in rivers.

Keywords: Mitigation, morphometry, oval, River flow, and Sorong

ABSTRAK

Banjir telah menjadi musibah terbesar dalam dasawarsa terakhir. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik DAS (Daerah Aliran Sungai) Klawoguk yang diharapkan dapat berkontribusi dalam perencanaan, pengelolaan dan mitigasi banjir di Kota Sorong. Penelitian ini menggunakan metode survey, analisis spasial dan pengamatan lapang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DAS Klawoguk memiliki tipe iklim tropik sangat basah dengan curah hujan sepanjang tahun tanpa dikenali musim kemarau. DAS berbentuk lonjong berdampak air semakin lama untuk mencapai titik akir air. Topografi datar seluas 2.599,30 ha telah menjadi wilayah perkotaan Provinsi Papua Barat Daya meliputi kelurahan Sawagumu, Malaingke, Klasabi, Kalwalu dan Klamana yang menjadi langganan banjir. Dalam tujuh bulan terakhir koefisien regim aliran (KRA) berubah-ubah didominasi sangat rendah yang berarti aliran air pada sungai Klawoguk lebih stabil. Sedimen didominasi sangat tinggi dan adanya degradasi hutan lindung oleh pengambilan tanah dan galian C yang menyebabkan peningkatan hasil sedimen pada sungai.

Kata kunci: mitigasi, morfometri, oval, aliran sungai, Sorong

PENDAHULUAN

Sepanjang tahun 2020 dari total 2,925 bencana di Indonesia, sebanyak 1,065 (36%) didominasi bencana banjir (Detik News, 2020). Kecenderungan banjir terus meningkat dari tahun ke tahun termasuk tahun 2021 dan tahun 2022. Menurut Mufrida (2023) kejadian bencana di Indonesia sebanyak 835 mulai awal Januari sampai April tahun 2023 didominasi banjir. Banjir mengindikasikan ketidakmampuan ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam memberikan layanan lingkungan sebagai akibat telah terjadi degradasi dan deforestasi sumber daya hutan dan lahan (Papaioannou *et al.*, 2015). Banjir sebagai dampak perubahan iklim, alih fungsi hutan, peningkatan jumlah penduduk dan perubahan penggunaan lahan telah meningkatkan rasio curah hujan terhadap aliran permukaan, sehingga debit puncak menjadi lebih besar (Nasir *et al.*, 2017).

DAS merupakan bagian dari ekosistem yang kompleks karena melibatkan berbagai komponen

biogeofisik, sosial, ekonomi, budaya dan kelembagaan yang saling berinteraksi satu dengan lainnya. Interaksi di antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem DAS memiliki dampak langsung maupun tidak langsung dan besar atau kecil. Debit air dan hasil sedimen turut dipengaruhi oleh kondisi fisik dan morfometri DAS (Dharmananta *et al.*, 2019). Sementara itu menurut (Sutrisno, dkk. 2019) ketersediaan debit Air menjadi peluang untuk pemanfaatan sumber air baku bagi masyarakat. Pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik hidrologi DAS serta faktor yang berpengaruh sangat diperlukan untuk pengelolaan DAS berkelanjutan terutama berkaitan dengan pemanfaatan sumberdaya air dan penggunaan lahan (Azizah *et al.*, 2021).

Karakteristik DAS (tipologi) menjadi sangat penting untuk diketahui sebagai acuan penyusunan rencana pengelolaan DAS. Tipologi DAS dapat diketahui melalui analisis karakteristik DAS yang merupakan watak dan sifat yang melekat pada DAS. Kondisi tata air seperti debit air, hasil sedimen dan fluktuasi tinggi muka air menjadi bagian

*) Penulis Korespondensi: Telp. +6285292837916, Email: mahmudalya6@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jitl.26.1.1-11>

dari karakteristik DAS yang menjadi perhatian dalam penanganan bencana banjir. Debit air tersebut jika berlebih bisa menyebabkan debit puncak, pendangkalan dan daya tampung sungai tidak mencukupi maka banjir tidak terelakan. Diantara parameter yang menjadi karakteristik DAS diantaranya iklim, curah hujan, vegetasi, morfometri, tanah, penggunaan lahan, geologi, hidrologi, topografi dan lain-lain. Menurut Ningkeula (2016) curah hujan berpengaruh terhadap parameter watak dan ciri khusus tata air seperti, evaporasi, transpirasi, limpasan permukaan, infiltrasi, intersepsi, air tanah, dan debit sungai. Limpasan permukaan yang meningkat akan berdampak pada debit sungai yang apabila air tidak bisa tertampung maka banjir tak terelakan. Selain itu penggunaan lahan oleh aktifitas manusia dan morfologi DAS turut mempengaruhi tata air termasuk hasil sedimen.

DAS Klawoguk yang berada di Kota Sorong merupakan bagian dari 2.145 DAS di wilayah Nusantara yang berstatus tidak sehat. Kota Sorong berada di ibukota Provinsi Papua Barat Daya terus tumbuh dan berkembang, akan tetapi semakin menurun daya dukungnya (Arief *et al.* 2019). DAS Klawoguk dalam beberapa tahun terakhir telah menjadi sumber bencana banjir bagi sebagian penduduk Kota Sorong dalam 6 distrik seperti: Sorong, Manoi, Sorong Utara, Sorong Timur, Malainsimsa, dan Klaurung. Sebagai konsekuensi perkembangan Kota Sorong, alih fungsi hutan serta lahan dan perubahan iklim berdampak banjir di daerah hilir DAS Klawoguk pada beberapa tahun terakhir. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tipologi DAS dan dampak terhadap tata air yang diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan pengelolaan dan mitigasi banjir di Kota sorong.

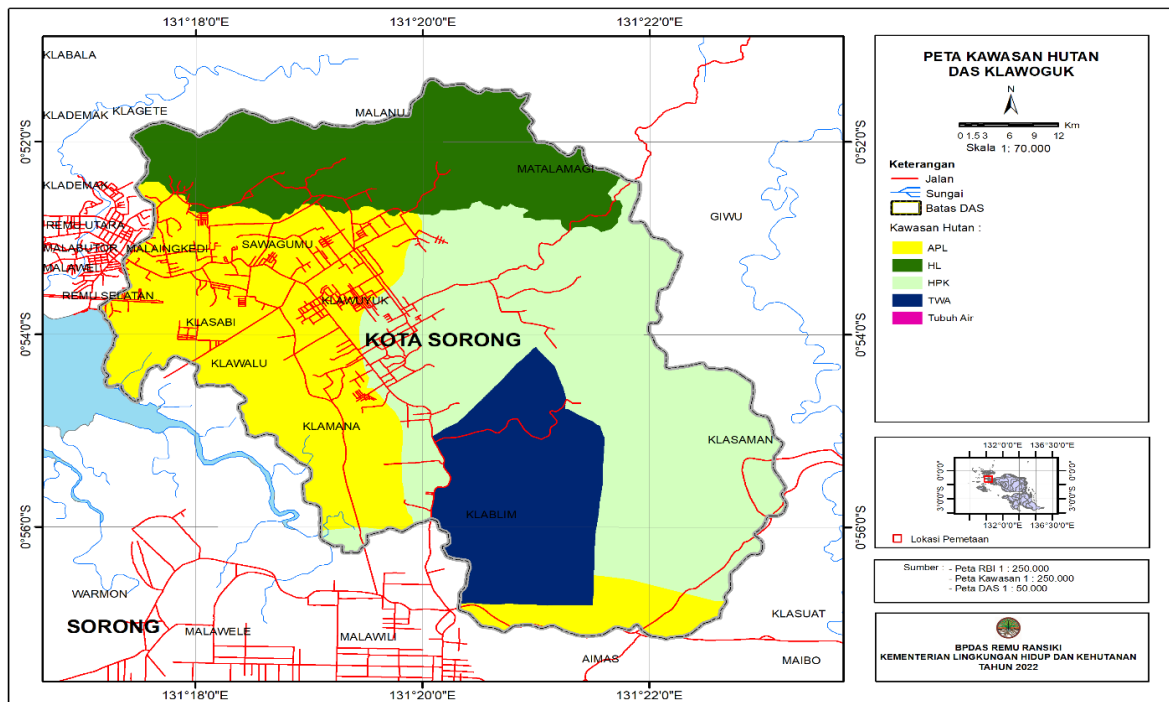
BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan selama 7 bulan mulai Mei sampai Desember 2022 dengan lokasi di DAS Klawoguk

yang secara geografis terletak pada 0°43' LS – 0°57' LS serta 133°40' BT – 133°48' BT. Wilayah DAS Klawoguk memiliki luas 7.456 ha. Batas administrasi yaitu sebelah selatan berbatasan dengan DAS Warmon, sebelah barat berbatasan dengan Selat Dampir, sebelah utara berbatasan dengan DAS Klagison, dan sebelah timur berbatasan dengan DAS Klasaman (Gambar 2.1). Sungai Klawoguk mengalir dari arah Timur ke Barat, melintasi wilayah distrik Sorong dan Distrik Sorong Timur. Wilayah DAS Klawoguk secara administrasi mencakup 5 (Lima) distrik yaitu Distrik Sorong Manoi, Distrik Sorong Utara dan Distrik Sorong Timur, Malainsimsa, dan Klaurung.

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Metode penelitian yang digunakan adalah survei dan observasi lapangan. Bahan dan alat penelitian diantaranya: peta DAS (peta kawasan hutan, jaringan sungai dan drainase, topografi/kontur), blanko pengamatan hujan (P), currentmeter (alat pengukur kecepatan aliran sungai untuk mendapatkan debit air (Q), dan debit suspensi (Qs), stasiun penakar hujan (unit penakar hujan tipe Automatic Rainfall Recorder (ARR) untuk mendapatkan curah hujan harian, suspended sampler (pengambil contoh air untuk pengukuran muatan sedimen, untuk memperoleh sedimen digunakan alat *suspended sediment sampler*, kertas filter dan oven, tinggi muka air (TMA) dengan menggunakan alat AWLR. Data sekunder morfologi DAS meliputi: jenis tanah, fungsi kawasan hutan dan topografi melalui *digital elevation model*. Pada morfometri antara lain: bentuk DAS, luas DAS, tingkat percabangan, kerapatan aliran, pola aliran dan panjang sungai utama diukur secara digitasi berdasarkan pedoman identifikasi karakteristik DAS. Sementara itu data primer tata air data yang diamati yang terpasang pada SPAS DAS Klawoguk terdiri curah hujan, debit air, hasil sedimen dan tinggi muka air selama 7 bulan mulai Juni sampai Desember 2022.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data curah hujan 10 tahun terakhir diperoleh dari BMKG Kota Sorong meliputi: curah hujan harian, bulanan, tahunan, bulan kering (BK), bulan lembab(BL) dan bulan basah (BB). BK dengan jumlah curah hujan kurang dari 60 mm/bulan, BL jumlah curah hujan antara 60-100 mm/bulan dan BB jumlah curah hujan lebih dari 100 mm/bulan, Data curah hujan tersebut digunakan untuk mengklasifikasikan iklim menurut Schmidt & Fergusson (1954) dalam (Soewarno 1991).

$$Q = \frac{Bk}{Bb} \times 100\% \quad [1]$$

Keterangan : Q = iklim; Bk = Jumlah bulan kering; Bb = Jumlah bulan basah

Untuk menentukan bentuk DAS, maka diperlukan nilai rasio sirkulasi atau RC (Strahler, 1964) dengan formula sebagai berikut:

$$RC = \frac{4 \pi A}{P^2} \quad [2]$$

Keterangan : RC = rasio sirkulasi ; A = Luas DAS (m²; P = keliling DAS (m); π = 3.14

Data rasio sirkulasi dan keliling DAS diperoleh melalui sistem informasi geografis (SIG).

Kerapatan sungai, jumlah sungai yang panjang termasuk anak sungai dan DAS yang luas diperoleh melalui SIG. Kerapatan sungai adalah indeks yang menunjukkan jumlah sungai dan anak sungai di DAS. Indeks diperoleh dengan persamaan berikut (Soewarno, 1991):

$$Dd=L/A \quad [3]$$

Keterangan :Dd = kerapatan sungai; L = total panjang sungai termasuk anak-anak sungainya; A = lebar DAS

Penghitungan debit air pada SPAS dilakukan dengan cara mengukur kecepatan arus dan penampang sungai.

$$Q = A \times V \quad [4]$$

Keterangan : Q = Debit (m³/ detik) ; A = Luas penampang basah (m²);V = Kecepatan aliran (m/ detik)

Koefisien rezim aliran (KRA) diperoleh dari perbandingan antara debit maksimum (Qmaks) dengan debit minimum (Qmin) dalam suatu DAS mengacu pada Peraturan Menteri Nomor 61 /Menhut-II/2014.

$$KRA = Q_{maks}/Q_{min} \quad [5]$$

Saat musim penghujan dan kemarau pengambilan contoh air pada berbagai Tinggi muka air (TMA) untuk mengukur hasil sedimen dalam air. Debit sedimen (Qs) dalam ton/hari dapat dijadikan dalam ton/ha/bulan dengan membagi nilai Qs dengan luas DAS. Nilai Qs (ton/ha/bulan) dikonversikan menjadi Qs (mm/bulan) dengan mengalikan dengan berat jenis (BJ) tanah menghasilkan nilai tebal endapan sedimen (TES). Hasil sedimen dalam aliran air dinyatakan dalam besaran laju sedimentasi (mm/tahun). Debit sedimen dihitung dengan pengukuran langsung,

menggunakan persamaan persamaan (Tjakrawarsa *et al.*2014):

$$Q_s = k \times C \times Q \quad [6]$$

Keterangan: Qs =debit sedimen (ton/hari); k = konstanta (0.0864); C =kadar muatan sedimen (mg/ l); Q= debit air (m³/ detik)

Analisis dampak karakteristik terhadap debit air dan sedimen didasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.61/Menhut-II/2014 dari indikator dan parameter pada masing-masing nilai, bobot, skor. Koefisien rezim aliran (KRA) diperoleh dari perbandingan antara debit maksimum (Qmaks) dengan debit minimum (Qmin) dalam suatu DAS mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 61 /Menhut-II/2014. Dengan menjumlahkan hasil kali nilai dan bobot akan diperoleh hasil akhir sedimen. KRA >110 kategori sangat tinggi; 80 < KRA ≤ 110 tinggi; 50 < KRA ≤ 80 sedang, 20 < KRA ≤ 50 rendah; KRA ≤ 20 sangat rendah. Sementara itu tebal endapan sedimen (TES) jika nilai TES >20 sangat banyak 15< TES ≤20 banyak; 10< TES ≤15 sedang; 5< TES ≤ 10 kecil; TES ≤ 5 sangat kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Daerah Aliran Sungai

Karakteristik DAS menunjukkan karakter spesifik yang berhubungan dengan sistem tata air, seperti jenis tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan, dan panjang lereng. Seberapa besar evaporasi, transpirasi, infiltrasi, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan debit air sangat tergantung watak dan sifat DAS dalam merespon air hujan. Diantara watak dan sifat DAS tersebut yaitu: curah hujan, bentuk DAS, kerapatan sungai, kelerengan DAS, dan penggunaan lahan.

1. Curah Hujan

Terbesar masukan air di permukaan bumi berasal dari curah hujan. Saat terjadi hujan sebelum air terserap oleh tanah pada daerah yang bervegetasi air akan tertahan pada tajuk tegakan kemudian mengalir melalui aliran batang dan lolosan tajuk. Air hujan yang mengalir melalui aliran batang dan lolosan tajuk, jika hujan dengan intensitas tinggi maka tanah tidak bisa menyerap kemudian air menggenang atau mengalir di permukaan tanah. Lebih lanjut aliran permukaan menuju ke daerah lebih rendah seperti pada badan air seperti waduk, situ, danau dan sungai. Curah hujan yang tinggi selain bermanfaat juga mengancam kualitas air, longsor, sedimentasi, dan bahkan banjir (Vannier, 2016). Demikian juga menurut Biswas *et al.*(2017) untuk terjadi banjir distribusi dan jumlah curah hujan sangat berpengaruh.

Menurut Zhang dkk. (2017) air hujan yang mencapai tanah sebagian menjadi aliran permukaan, terserap ke serasah dan sebagian lagi terinfiltrasi. Air hujan yang meresap rendah selanjutnya mungkin air akan tergenang dan terkumpul jika tidak ada saluran yang lebih rendah. Data curah hujan tahunan dikelompokkan berdasarkan kriteria, bulan kering, bulan sedang dan bulan basah untuk mendapatkan tipe iklim pada kawasan DAS Klawoguk (Tabel 1).

Tabel 1. Bulan basah, bulan sedang, dan bulan kering

Tahun	BK(<60 mm)	BL (60-100 mm)	BB(>100mm)
2013	0	0	12
2014	0	3	9
2015	2	1	9
2016	1	1	10
2017	0	1	11
2018	0	0	12
2019	1	3	8
2020	1	1	10
2021	0	0	12
2022	0	4	8
Jumlah	5	14	101
Rata-rata	0,5	1,4	10,1

Sumber: BMKG Kota Sorong, 2022

$$Q = \frac{0,5}{10,1} \times 100 \%$$

$$Q = 0,049$$

Berdasarkan Tabel 1. musim kemarau terlama hanya 2 bulan terjadi pada tahun 2015, sedangkan tahun 2016, 2019 dan 2020 kemarau hanya 1 bulan. Dalam 10 tahun terakhir musim hujan mendominasi pada DAS Klawoguk Kota Sorong Papua Barat Daya. Berdasarkan sistem Schmidt dan Fergusson maka DAS Klawoguk (perhitungan Tabel 2) memiliki tipe iklim tropik sangat basah/tipe iklim A (0.049) dengan nilai $Q= 0 \leq Q < 0,143$. Sebagai dampak iklim tropik sangat basah/tipe iklim A di DAS Klawoguk dan sekitarnya mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun, tekanan udara pada wilayah dengan iklim tropis relatif rendah dan perubahannya secara beraturan dan perlahan. Penguapan air baik melalui tanah, vegetasi dan badan air cukup tinggi sehingga banyak terdapat awan. Awan dengan bantuan tiupan angin menyatu dalam jumlah besar dan kandungan titik air yang sudah besar tidak bisa ditahan di atmosfer maka turunlah hujan. Tanah di wilayah iklim tropis relatif lebih subur sebagai dampak curah hujan tinggi. Perbedaan suhu tidak terlalu besar antara siang dengan malam, sinar matahari sepanjang tahun dan lahan yang subur berdampak keanekaragaman hayati wilayah

Indonesia dan DAS Klawoguk melimpah. Pada wilayah dengan iklim tropis sangat basah, tumbuhan senantiasa lebat dan berwarna hijau yang bisa mempengaruhi iklim global.

Menurut Worman *et al.* (2017) aliran permukaan yang relatif besar disebabkan oleh curah hujan tinggi dengan keragaman vegetasi rendah. Tabel 2 menunjukkan dalam 10 tahun terakhir didominasi hujan/bulan basah (>100 mm). Dampak curah hujan besar jika kawasan tersebut rusak /penutupan lahan rendah maka air dengan mudah sampai di permukaan tanah. Air dalam jumlah besar menyebabkan limpasan permukaan semakin tinggi sedangkan infiltrasi yang rendah sangat mungkin banjir musiman akan terus terjadi sebagaimana Gambar 2. Hujan besar ini jika daya tampung sungai sudah penuh tentunya akan meluap di permukaan tanah dan ke pemukiman.

Evaporasi dari permukaan tanah/air dan transpirasi melalui tubuh tumbuhan pada hutan merupakan pembentuk awan. Pada kawasan hutan pembentukan awan menjadi awal untuk proses curah hujan dan curah hujan yang baik sehingga kekeringan yang berkepanjangan dan bencana banjir rendah. Menurut Vannier (2016) apabila curah hujan berlangsung cukup lama, distribusi yang tidak merata dan daya tampung sungai yang terbatas, maka banjir akan sering terjadi. Sebagaimana banjir Cimanuk 2017 disebabkan di antaranya curah hujan yang tinggi (110 sampai 255 mm/hari), penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuannya, dan luas hutan yang hanya 17,9% (Savitri dan Pramono 2017). Akan tetapi menurut Mahmud *et al.* (2018), curah hujan bukanlah semata-mata menjadi penyebab banjir. Banjir lebih disebabkan jika terjadi alih fungsi lahan, sedimentasi, penyempitan sungai, dan kerusakan DAS. Banjir tidak akan terjadi walaupun curah hujan tinggi apabila tanah mampu menyerap air dalam jumlah besar, aliran sungai lancar, air tertampung di sungai, dan masyarakat tidak mengurangi luas penampang sungai. Sebaliknya menurut Neuvel & Knaap (2010), banjir akan terjadi jika hujan tidak terserap oleh tanah, air tidak tertampung di badan air, penyempitan sungai berdampak aliran air tidak lancar dan masyarakat mengurangi ukuran sempadan sungai.



Gambar 2. Kejadian musiman banjir kota Sorong

2. Morfometri DAS

Morfometri DAS adalah suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan jaringan alur sungai antara lain meliputi luas, panjang, lebar, kemiringan, orde tingkat percabangan sungai, kerapatan sungai, dan bentuk DAS. Bentuk DAS memiliki arti penting dalam kaitannya dengan aliran sungai/kecepatan aliran. Bentuk DAS disinyalir berpengaruh terhadap air untuk sampai di outlet (titik akhir pelepasan air), adapun morfometri DAS Klawoguk tertera pada Tabel 2.

Sebagaimana Tabel 2 DAS Klawoguk mempunyai luas 7.456 ha, keliling DAS 45,15 km², panjang aliran 11,94 km maka Rc sebesar 0,46 (lonjong) dan *Limniscate Constant* sebesar 2,46 (lonjong). Dari hasil perhitungan dan Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa bentuk DAS berbentuk lonjong. Kecepatan air yang mengalir menuju *outlet* (titik akhir air) dipengaruhi oleh bentuk DAS (Mahmud *et al.* 2018). DAS berbentuk lonjong memungkinkan air semakin lama untuk mencapai titik akhir air, karena butuh waktu lama dalam perjalanan dan jarak yang jauh antara hulu dengan hilir (outlet). Menurut Wirosoedarmo *et al.* (2010) nilai debit puncak banjir yang relatif kecil dengan waktu puncak banjir yang relatif lama pada bentuk DAS lonjong/memanjang.

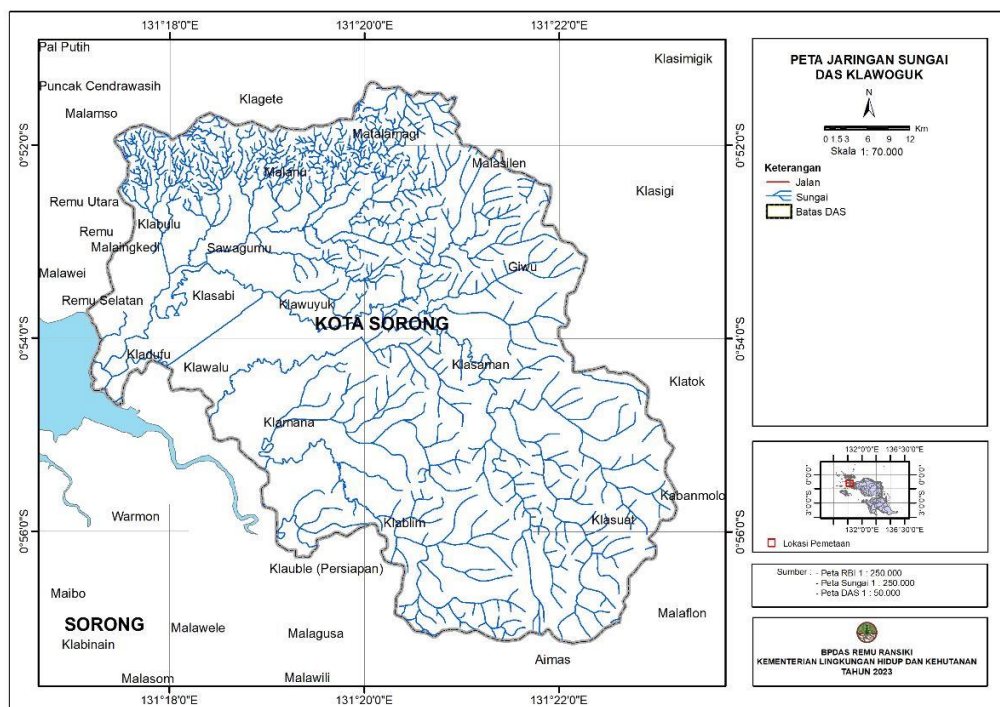
Akan tetapi mengapa kelurahan Sawagumu, Malaingkeci, Klasabi, Kalwalu dan Klamana menjadi langganan banjir padahal DAS Klawoguk berbentuk lonjong. Kejadian banjir pada daerah tersebut dikarenakan

intensitas hujan yang relatif tinggi, saluran drainase yang tidak lancar dan sempit serta banyaknya sedimen yang masuk ke sungai sehingga menghambat aliran air. Selain itu DAS Klawoguk dalam 10 tahun terakhir didominasi musim hujan (10 bulan tiap tahun musim hujan), sehingga air selalu tersedia dalam tanah yang menghambat infiltrasi. Saat infiltrasi terhambat dan terlambat memungkinkan air tergenang yang akan menimbulkan banjir.

Walaupun bentuk DAS lonjong sementara sungai semakin dangkal maka limpasan permukaan saat curah hujan tinggi air akan mudah tertahan dan menyebabkan genangan. Curah hujan tinggi air dengan mudah mengalir /tidak tergenang untuk menuju hilir dan mudah sampai ke laut jika tidak ada kelokan yang berbentuk S. Semakin lonjong dan membulatnya DAS tidak sepenuhnya menjadi penyebab debit puncak jika tidak dipengaruhi yang lain seperti: curah hujan tinggi, perubahan penggunaan lahan skala besar, perubahan kelereng dan kerapatan drainase. Daerah akan sangat rawan terjadi banjir jika curah hujan tinggi, kawasan cenderung datar dan cekung, penggunaan lahan didominasi kawasan terbangun, banyak kelokan yang menghambat aliran dan bentuk DAS membulat. DAS yang cenderung memanjang dan kemiringan sungai cenderung datar untuk mencapai debit tertinggi (banjir) waktu yang diperlukan lebih lama (Dharmananta *et al.* 2019). Pada kawasan tersebut air hujan dengan mudah sampai permukaan tanah, mengumpul dan tergenang sehingga menimbulkan bencana banjir.

Tabel 2. Kondisi Morfometri DAS Klawoguk

DAS Klawoguk	Morfometri DAS	DAS Klawoguk	Morfometri DAS
Luas DAS (A)	7.456 ha	Titik Pusat DAS (Cg)	X = 131,33; Y = - 0,9
Lebar DAS (W)	8 km	Circulation Ratio (Rc)	0,46 lonjong
Panjang DAS (Ln)	13,25 km	Limniscate Constant (k)	2,46 lonjong
Kerapatan Aliran Sungai (Dd)	0,117 sedang	Lereng Rata-rata DAS (Sb)	15
Panjang Aliran (Lg)	11,94 km	Koefisien Bentuk DAS (F)	3,15
Ketinggian Rata-rata DAS (Ma)	150 m dpl	Keliling DAS (p)	45,15 km



Gambar 3. Bentuk DAS, kerapatan, dan jaringan sungai

3. Kelerengan DAS

Kelerengan/topografi merupakan penampakan permukaan lahan yang disebabkan adanya perbedaan tinggi antara dua kawasan. Kemiringan lereng (*Slope*) adalah salah satu unsur terjadinya banjir, erosi, dan longsor. Semakin curam dan panjang lereng semakin besar, maka laju dan jumlah aliran permukaan semakin besar untuk terjadi erosi besar atau longsor. Pada lahan dengan kemiringan besar aliran permukaan mempunyai kecepatan besar sehingga infiltrasi cenderung menurun (Helman *et al.* 2017). Menurut Pramono dan Putra (2017) upaya mitigasi banjir pada lahan kelerengan >25% seperti perbukitan dan pegunungan dengan vegetasi permanen, penerapan konservasi tanah dan air untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi dan menjaga kawasan lindung atau konservasi. Demikian juga menurut kemiringan tanah memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap degradasi tanah. Suatu kawasan yang datar dan cenderung cekung akan mudah terjadi banjir mengingat pada daerah ini air mudah terkonsentrasi menuju daerah yang lebih rendah, kelerengan pada kawasan DAS Klawoguk tertera Tabel 3.

Sebagaimana Tabel 3, kelas kelerengan di DAS Klawoguk, hanya dua yang didominasi agak miring. Kemiringan lereng akan memiliki pengaruh terhadap kecepatan dan volume limpasan permukaan. Kondisi topografi datar (0 – <8%) seluas 2,599.30 hektar (34.87%) telah menjadi wilayah perkotaan Provinsi Papua Barat Daya meliputi kelurahan Klamana, Sawagumu, Malaingkeci, Kalwalu dan Klasabi. Daerah terbangun dengan topografi datar DAS hilir sangat massif dan pembangunan mulai menyasar ke topografi agak curam. Topografi 8-15% seluas 4,855.75 hektar (65.13 %) didominasi vegetasi permanen, akan tetapi mulai dirambah untuk diambil batuan kapur/galian C. Menurut Oktinova dan Rudiarto (2019) lahan kosong di kota semakin berkurang, perilaku manusia dalam penggunaan lahan beralih ke arah pinggiran kota untuk dijadikan lahan terbangun.

Semakin curam maka akan semakin besar kecepatan limpasan jika kawasan tersebut kosong dari vegetasi, akibatnya air akan sulit untuk meresap kedalam tanah dan akan memperbesar aliran permukaan. Hal ini

akan diperparah jika lahan tidak sesuai dengan peruntukannya, misalnya untuk kawasan terbangun. Sebagaimana menurut Mahmud *et al.* (2021), penggunaan lahan untuk pemukiman/kawasan terbangun mempunyai aliran permukaan dan hasil sedimen lebih tinggi dibandingkan penggunaan lahan sebagai hutan. Kawasan dengan topografi yang agak curam sampai sangat curam jika kawasan terbuka pada saat hujan air mudah mengalir di permukaan tanah, menggerus lapisan atas tanah dan menyebabkan partikel tanah berpindah. Sebaliknya kawasan tersebut jika terjaga dengan baik (diperuntukkan sebagai hutan lindung/kawasan lindung) maka akan berfungsi menjaga kesuburan tanah, melindungi tanah dari ancaman longsor dan menyediakan air saat musim kemarau.

4. Fungsi kawasan hutan

Penduduk yang semakin bertambah dan kawasan perkotaan yang semakin ramai menyebabkan telah terjadi peningkatan pemanfaatan lahan guna keperluan pemukiman, pertanian, dan peningkatan kebutuhan air. Fungsi kawasan hutan dibedakan menjadi 5 golongan yang didominasi areal penggunaan lain sebagaimana tertera pada Tabel 4.

Tipe fungsi penggunaan lahan sebagai hutan berdasarkan Tabel 4 masih diatas 30% mengacu Undang-Undang tentang Kehutanan yang mensyaratkan untuk melindungi dan mempertahankan luas kawasan hutan untuk setiap DAS minimal sebesar 30%. Tutupan hutan dengan total 69.77 % antara lain: hutan lindung (18.12%) hutan produksi konversi (37.98%) dan Taman wisata alam (13.67%) sedangkan luas bukan hutan berupa areal penggunaan lain hanya (30.23%). Akan tetapi mengapa sering terjadi banjir padahal tutupan hutan diatas 69 % dan bukan hutan hanya 30.23%. Dengan demikian menjadi tantangan Pemerintah daerah dan Pusat dalam pengembangan Kota Sorong apalagi Ibukota Provinsi Papua Barat Daya berlokasi di Kota Sorong. Diharapkan dengan luasan fungsi kawasan hutan lebih dari 40% diharapkan mampu menjaga, melindungi dan mempertahankan keanekaragaman flora dan fauna, biogeofisik, serta daya dukung sumber daya alam.

Tabel 3. Kelas kelerengan di DAS Klawoguk

Kemiringan (%)	Klas kemiringan	Luas (ha)	Persentase (%)
0- <8%	datar	2,599.30	34.87
8-15%	Agak miring	4,855.75	65.13
Total		7,455.05	100.00

Sumber : Analisis Data DEM DAS Klawoguk, 2022

Tabel 4. Fungsi Kawasan Hutan di DAS Klawoguk

Fungsi kawasan hutan	Luas (Ha)	(%)	% Hutan	% bukan Hutan
Areal penggunaan lain (APL)	2,253.52	30.23		
Hutan Lindung (HL)	1,350.79	18.12		
Hutan Produksi Konversi (HPK)	2,831.33			37.98
Tubuh Air (TA)	0.33			0.00
Taman wisata alam (TWA)	1,019.14			13.67
Total	7,455.12	100.00	69.77	30.23



Gambar 4. Pengambilan galian C Hulu DAS Klawoguk

Akan tetapi seiring dengan perkembangan Kota Sorong sebagai ibukota Provinsi Papua Barat Daya, kawasan terus mengalami konversi hutan dan pengambilan galian C di hutan lindung. Sebagaimana Gambar 4 bagian hulu DAS telah diambil material galian C. Padahal pada tahun 2020 dan 2022, sebagian Kota Sorong yang merupakan bagian DAS Klawoguk pernah mengalami banjir besar. Banjir besar di Kota Sorong menyebabkan korban jiwa sebanyak 4 orang dan sekitar 9000 warga terdampak banjir dan longsor (CNN Indonesia.2022). Banjir besar di Kota Sorong disinyalir dipicu hujan selama 10 jam dan pengembangan kota yang tidak mengikuti rencana tata ruang wilayah kabupaten (RTRWK). Alih fungsi berdampak terjadinya penurunan air tanah, longsor, dan peningkatan debit air permukaan (Dewi dan Rudiarto, 2014).

5. Penanganan dan Mitigasi Banjir

Kota Sorong yang menjadi Ibukota Propinsi Papua Barat Daya menjadi pintu gerbang kawasan Indonesia paling timur telah terjadi perubahan penggunaan lahan dan alih fungsi secara besar-besaran. Alih fungsi diantaranya untuk pemukiman penduduk setempat, administrasi kepegawaian daerah & pemerintah pusat, program pembangunan desa, infrastruktur nasional program pelabuhan, pengembangan bandara internasional, jalan, dan pengembangan industri (Arief *et al.* 2019). Disamping itu pertumbuhan penduduk sebesar 5.5%/tahun dikota Sorong yang memicu alih fungsi lahan untuk pemukiman dan semakin marak pembangunan rumah disempadan sungai yang akan mengurangi volume badan sungai. Pengambilan galian C yang menimbulkan kerusakan hutan lindung Kota Sorong (Kompas 2020). Perubahan penggunaan lahan yang didukung oleh karakteristik biogeografis yang terdokumentasi dari penelitian tersebut menyebabkan terjadinya banjir di Kota Sorong.

Dua jenis manajemen dan mitigasi banjir yang diakui dunia untuk daerah tropis adalah sistem atau tindakan struktural dan non-struktural (Samu dan Kentel, 2018 ;Ningrum dan Ginting, 2020). Urbanus *et al.* (2021) menyatakan bahwa penanggulangan banjir dapat dibagi menjadi tindakan, pencegahan/mitigasi, respon/intervensi, dan pemulihan. Mitigasi struktural menekankan struktural dan fisik di sungai dan luar sungai seperti membangun

bandungan air, memeriksa bandungan, jaringan drainase, *groundsill*, normalisasi sungai, lintas sungai, pembuatan tanggul dan lain-lain. Mitigasi non struktural terdiri dari pelatihan dan simulasi mitigasi bencana, penegakan hukum dan peraturan, kebijakan penggunaan lahan, penanaman kembali hutan, manajemen DAS, kesadaran publik dan komunitas, kampanye, dan pendidikan. Beberapa mitigasi struktural yang bisa diterapkan untuk mengurangi risiko banjir mulai dari pembuatan air sanitasi/drainase, saluran air, dan air selokan di daerah permukiman, dan dinding penahan bangunan, dinding gaya berat untuk daerah dengan kemiringan yang curam. Penanaman kembali, sistem peringatan dini, kampanye mitigasi banjir, evaluasi kebijakan dan pelibatan masyarakat merupakan berbagai mitigasi nonstruktural.

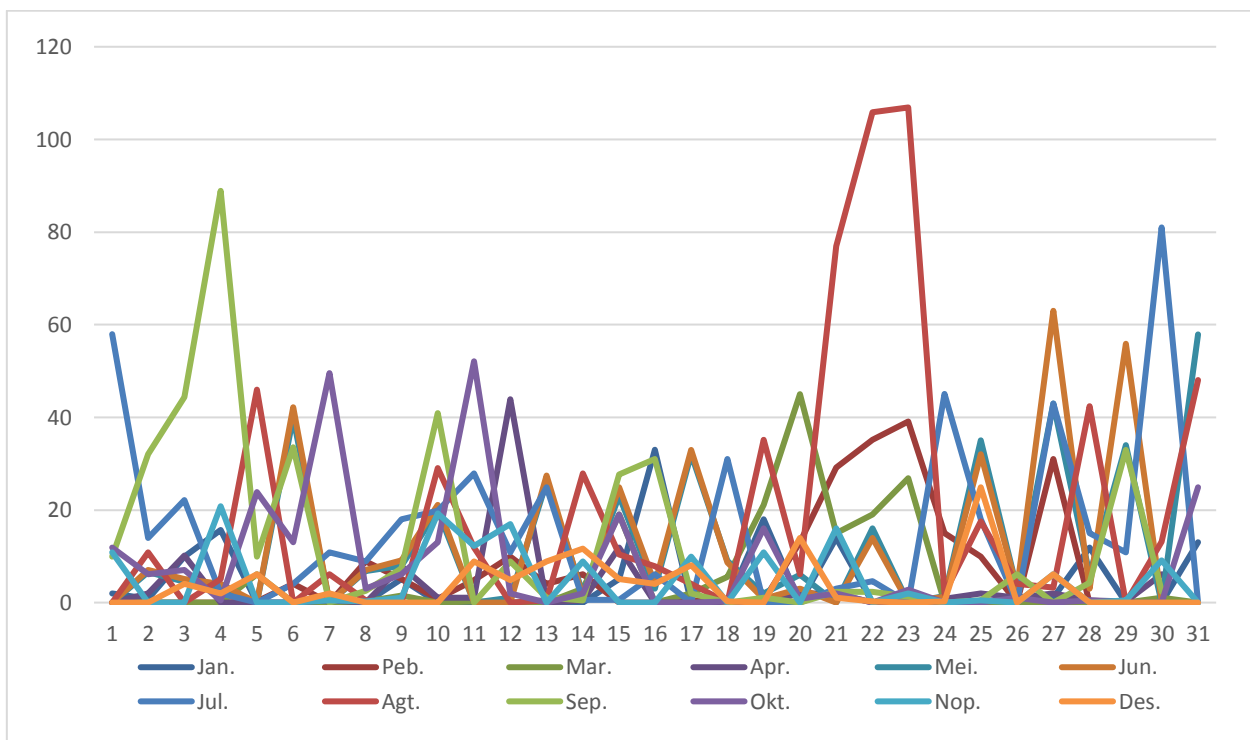
Dampak terhadap Tata Air

DAS Klawoguk termasuk salah satu DAS di Kota Sorong yang harus dipulihkan (KLHK 2019). Secara umum DAS dipulihkan ditandai kondisi lahan, kontinuitas, kuantitas dan kualitas air, sosial ekonomi dan pemanfaatan ruang wilayah tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Debit air, limpasan permukaan, tinggi muka air sungai sangat dipengaruhi adanya curah hujan pada daerah aliran sungai. Variabel debit air yang sering menjadi konsentrasi penelitian tata air yakni koefisien rejim aliran (KRA), sebagaimana KRA tercantum pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 dalam tujuh bulan pada tahun 2022 debit air berfluktuatif (sangat rendah, rendah dan sangat tinggi) pada bulan Juni, Juli dan Oktober kategori KRA relatif sama yaitu rendah. Penilaian KRA bulan September, Nopember dan Desember berkategori sangat rendah, hanya bulan Agustus yang berkategori sangat tinggi. KRA sangat tinggi dimungkinkan disebabkan oleh curah hujan sangat besar (Gambar 5) tanggal 22 dan 23 Agustus 2022 yang menyebabkan banjir di Kota Sorong. Akan tetapi kecenderungan semakin mendekati akhir tahun 2022 berkategori sangat rendah. Bila KRA rendah sampai sangat rendah menunjukkan aliran sungai terus-menerus dengan tidak menunjukkan perbedaan debit air, yakni kemampuan mengeluarkan air dari DAS untuk mengisi sungai yang stabil.

Tabel 5. Nilai KRA dan hasil sedimen pada DAS Klawoguk

Bulan	Debit maks. (m ³ /det)	Debit min. (m ³ /det)	KRA	Penilaian	Hasil sedimen (ton/bulan)	Hasil sedimen (mm/bulan)	Penilaian
Jun	16.38	0.76	21.55	rendah	3,010.98	34.69	sangat tinggi
Jul	21.25	0.80	26.56	rendah	4,296.27	49.79	sangat tinggi
Agu	124.20	0.84	147.86	sangat tinggi	21,331.73	247.19	sangat tinggi
Sept	8.82	0.73	12.08	Sangat Rendah	2,117.21	24.53	sangat tinggi
Okt	21.73	0.84	25.87	Rendah	4,774.40	55.33	sangat tinggi
Nop	4.69	0.84	5.58	Sangat Rendah	1,223.35	14.18	tinggi
Des	22.21	3.90	5.69	Sangat Rendah	7,925.02	91.83	sangat tinggi



Gambar 5. Curah Hujan Harian (mm) DAS Klawoguk tahun 2022

Sebaliknya, jika KRA sangat tinggi berarti aliran sungai berfluktuatif, terkadang sangat rendah ataupun sangat tinggi, maka bisa menyebabkan banjir apabila sungai tidak bisa menampung air. Kemampuan hutan dan lahan dalam menerima air hujan, meresapkan, menyimpan, mendistribusikan dan mengeluarkan air tidak baik. Kawasan hutan dan lahan yang rusak fungsi intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi dan menyimpan air tanah seakan-akan telah hilang. Sebaliknya hutan yang terpelihara fungsi intersepsi, infiltrasi, evapotranspirasi dan menyimpan air tanah pada kawasan hutan dan lahan akan tersedia. Menurut Mahmud *et al.* (2017) hutan mempunyai manfaat menjaga dan mempertahankan air agar tidak

menimbulkan limpasan permukaan dan banjir. Hutan dengan tajuk yang rapat, tebal dan jumlah serasah yang melimpah saat hujan air akan tertahan dan tersimpan pada tajuk, ranting dan serasah kemudian masuk ke dalam tanah sehingga banyak air yang tersimpan dalam tanah.

Sementara hasil sedimen selama tujuh bulan didominasi sangat tinggi hanya bulan Nopember berkategori tinggi. Peningkatan hasil sedimen diduga jenis tanah gray brown podsolik dengan luas 6.923,39 ha (92.87%). Selain itu semakin maraknya alih fungsi hutan dan pengambilan tanah dan galian C di hutan lindung Kota Sorong yang sampai tahun 2023 masih terlihat terbuka (Gambar 5).



Gambar 5. Lahan terbuka akibat pengambilan tanah

Tanah terbuka dengan jenis tanah podsolik membutuhkan waktu lama untuk bisa ditumbuhi tumbuhan. Apalagi diduga jenis tanah tersebut miskin unsur hara sehingga rumput maupun semak belukarpun akan tumbuh tapi dalam waktu tidak cepat. Saat tanah terbuka tanpa ada pelindung air hujan dengan mudah menghancurkan agregat tanah, sehingga erosi dan sedimentasi akan semakin besar. Menurut Mahmud (2017) perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap erosi dan hasil sedimen. Terkadang perubahan penggunaan lahan, pengambilan tanah dan galian C yang tidak disadari bisa menimbulkan perubahan pola limpasan permukaan, menyatunya limpasan permukaan yang lebih besar dan membentuk sungai baru yang mungkin menimbulkan banjir maupun banjir bandang.

SIMPULAN

DAS Klawoguk memiliki tipe iklim tropik sangat basah dengan curah hujan sepanjang tahun. DAS Klawoguk berbentuk lonjong yang berdampak terhadap air semakin lama untuk mencapai titik akhir air karena butuh waktu lama dalam perjalanan dan jarak yang cukup jauh antara hulu sebagai tangkapan air dengan hilir. Bentuk DAS lonjong ancaman banjir sebenarnya agak rendah, akan tetapi hujan sangat deras tanggal 22 dan 23 Agustus 2022 air terkonsentrasi pada daerah tertentu yang menyebabkan genangan. Topografi datar ($0 - <8\%$) seluas 2.599,30 hektar (34.87%) telah menjadi wilayah perkotaan Provinsi Papua Barat Daya meliputi kelurahan Sawagumu, Malaingkeki, Klasabi, Kalwalu dan Klamana. Topografi datar DAS hilir telah lama menjadi daerah terbangun dan manusia mulai mengarah DAS tengah yang agak curam. Nilai tata air untuk KRA berubah-ubah didominasi sangat rendah yang bermakna aliran air pada sungai Klawoguk lebih stabil. Hasil sedimen didominasi sangat tinggi yang disebabkan degradasi hutan lindung oleh pengambilan tanah dan galian C yang menyebabkan meningkatkan sedimentasi.

DAFTAR PUSTAKA

Arief, S.M., R.H. Siburian dan W. Wahyudi. 2019. Tingkat Kerentanan Banjir Kota Sorong Papua Barat.

Median : Jurnal Ilmu Ilmu Eksakta, 11(2): 23–27.
<https://doi.org/10.33506/md.v11i2.456>

Azizah, C., H. Pawitan, N. Nuraida, H. Satriawan, R. Abbas, S. Robo dan M. Misnawati. 2021. Karakteristik Hidrologi dan Dampaknya Terhadap Banjir Daerah Aliran Sungai Jambo Aye di Aceh Indonesia (Hydrological Characteristics and Its Impact on Flood Jambo Aye Basin in Aceh Indonesia). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 5(2): 171-184. doi: <https://doi.org/10.20886/jppdas.2021.5.2.171-184>

Biswas, S., W.L. Kranz, C.A. Shapiro, D.D. Snow, S.L.B. Hunt, M. Mamo, D.D. Tarkalson, T.C. Zhang, D.P. Shelton, S.J.V. Donk and T.L. Mader. 2017. Effect of rainfall timing and tillage on the transport of steroid hormones in runoff from manure amended row crop fields. *Journal Hazardous Materials*, 324: 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.009>.

CNN Indonesia 2022. Sorong Banjir Akibat Hujan Deras Sehari-hari. <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20210911235823-20-693022/sorong-banjir-akibat-hujan-deras-sehari-hari>

Detik News. 2020. Ada 2.925 bencana alam sepanjang 2020, musibah banjir terbanyak. <https://news.detik.com/berita/d-5314270/ada-2925-bencana-alam-sepanjang-2020-musibah-banjir-terbanyak>. Diakses Juni 2023

Dewi, N.K. dan I. Rudiarto. 2014. Pengaruh Konversi Lahan terhadap Kondisi Lingkungan di Wilayah Peri-urban Kota Semarang (Studi Kasus: Area Berkembang Kecamatan Gunungpati). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 10(2): 115-126

Dharmananta, I.D.P.G.A., R. Suyarto dan N.M. Trigunasih. 2019. Pengaruh Morfometri DAS terhadap Debit dan Sedimentasi DAS Yeh Ho. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 8(1): 32-42

- Helman, D., Y. Osem, D. Yakir and I.M. Lensky. 2017. Relationships between climate, topography, water use and productivity in two key Mediterranean forest types with different water-use strategies. *Agricultural and Forest Meteorology Journal*, 232: 319-330. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.018>
- KLHK. 2019. KLHK dan Kementerian ESDM berkomitmen percepat upaya Reklamasi Hutan dan Rehabilitasi DAS. No:SP.144/HUMAS/PP/HMS.3/4/2019. <http://ppi.d.menlhk.go.id>. Acces 23/03/2022
- Kompas. 2020. Wali Kota Sorong Ungkap Dugaan Penyebab Banjir dan Longsor [Internet]. [diunduh 2022 Des 19]. Tersedia pada: <https://regional.kompas.com/read/16311061/wali-kota-sorong-ungkap-dugaanpenyebab-banjir-dan-longsor>. Diakses Juni 2023
- Mahmud, Wahyudi, H.R. Budirianto dan B. Nugroho. 2017. Scenarios of land-use change in protected forest of Wosi Rendani Manokwari District, West Papua, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 23(1): 8-15
- Mahmud, A. Kusumandari, Sudarmadji dan N. Supriyatno. 2018. A study of flood causal priority in Arui Watershed, Manokwari Regency, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 24(2): 81-94.
- Mufrida, B. 2023. *BNPB Catat 835 Kejadian Bencana Sejak Januari 2023, Paling Banyak Banjir dan Longsor*. <https://nasional.sindonews.com/read/1072657/15/bnpb-catat-835-kejadian-bencana-sejak-januari-2023-paling-banyak-banjir-dan-longsor-1681441482>. Diakses Juni 2023.
- Nasir, A., M.B.Saleh dan Bahruni 2017. Optimization of land use collaborative management model Perum Perhutani: Study case KPH Pekalongan Barat. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 23(1): 25-36. <https://doi.org/10.7226/jffm.23.1.25>.
- Neuvel, J.M.M. and W.V.D. Knaap. 2010. A spatial planning perspective for measures concerning flood risk management. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2): 283-296. <http://dx.doi.org/10.1080/07900621003655668>.
- Ningkeula, E.S. 2016. Analisis karakteristik morfometri dan hidrologi Sebagai ciri karakteristik biogeofisik DAS Wai Samal Kecamatan Seram Utara Timur Kobi Kabupaten Maluku Tengah. *Jurnal Ilmiah agribisnis dan Perikanan (agrikan UMMU-Ternate)*, 9(2): 76-86.
- Ningrum, A.S. dan K.Br. Ginting. 2020. Strategi penanganan banjir berbasis mitigasi bencana pada kawasan rawan bencana banjir di Daerah Aliran Sungai Seulalah Kota Langsa. *Geography Science Education Journal (GEOSEE)*, 1(1): 6-13.
- Oktinova, N. dan I. Rudiarto. 2019. Kajian penggunaan lahan di sekitar kawasan bukit Semarang Baru (Study on land use around bukit Semarang Baru area). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 15(4): 262-276.
- Papaioannou, G., L. Vasilides and A. Loukas. 2015. Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resour Manage*, 29: 399-418. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6>
- Peraturan Menteri Kehutanan. 2014. Keputusan Menteri Kehutanan No. P. 61/Menhut-II/2014 tentang monitoring dan evaluasi Daerah Aliran Sungai. Sekretariat Jenderal Kementerian Kehutanan. Jakarta
- Pramono, I.B, dan P.B. Putra. 2017. Tipologi daerah aliran sungai untuk mitigasi bencana banjir di Daerah Aliran Sungai Musi (*Watershed typology for flood mitigation in Musi Watershed*). *JPPDAS*, 1(2): 143-165.
- Samu, R. And A.S. Kentel. 2018. An analisis of the flood management and mitigation measures in Zimbabwe for sustainable future. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31: 691-697. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.07.013>.
- Savitri, E. Dan I.B. Pramono. 2017. Analisis Banjir Cimanuk Hulu 2016 (Upper Cimanuk flood analysis of 2016). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 1(2): 97-110. <http://dx.doi.org/10.20886/jppdas.2017.1.2.143-165> E-ISSN: 2579-5511/ P-ISSN: 2579-6097
- Soewarno. 1991. *Hidrologi: Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Nova. Bandung
- Strahler, A.N. 1964. *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In: V.T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill. New York (USA). pp.4.394.76.
- Tjakrawarsa, G., R.N. Adi dan A.B. Supangat. 2014. *Teknik Pengukuran Hasil Sedimen*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.
- Urbanus, A., R.L.E. Sela dan A.E. Tungka. 2021. Mitigasi bencana banjir struktural dan non-struktural di Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. *Jurnal Spasial*, 8(3): 447-458
- Vannier, O., S. Anguetin and I. Braud. 2016. Investigating the role of geology in the hidrological response of Mediterranean cathment prone to flash floods: regional modeling study and proses understanding. *Journal of Hydrology*, 541: 158-172.
- Wirosoedarmo, R., A.T.S. Haji and E.M. Pramesti. 2010. Study on form, drainage network, and watershed hydrograph by Using SIMODAS (Case study on Sabu Island - Nusa Tenggara Timur). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 11(2): 123-130.
- Worman, A., G. Lindstrom and J. Riml. 2017. The power of runoff. *Journal of Hydrology*, 548: 784-793. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.041>.

Zhang, F.B., Y.J. Bai, L.Y. Xie, M.Y. Yang, Z.B. Li and X.R. Wu. 2017. Runoff and soil loss characteristics on loess slopes covered with aeolian sand layers of

different thicknesses under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, 549: 244–251.
