

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

0b8c3ff9396efb7777e979e6a2e7bee4f2e3266a8152d9121fd62109ba4e6e17

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

**ANALISIS KARAKTERISTIK DAN TIPOLOGI DAS MAPILI
PROVINSI SULAWESI BARAT**

***ANALYSIS OF CHARACTERISTICS AND TYPOLOGY OF MAPILI WATERSHED
WEST SULAWESI PROVINCE***

Wahyudi Isnani¹ dan Hasnawir

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 16 Makassar, 90243
Telp. (0411) 554049, fax. (0411) 554058, ¹email: yudix_19@yahoo.com

Diterima: 12 September 2017; direvisi: 16 Januari 2018; disetujui: 24 April 2018

ABSTRAK

Permasalahan daerah aliran sungai (DAS) yang bersifat multisektor, multidisiplin, multipihak, dan multidimensi adalah konsekuensi dari multifungsi DAS. Kompleksitas permasalahan ini menuntut suatu sistem dan pendekatan pengelolaan sesuai karakteristik dan tipologi DAS. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan tipologi DAS Mapili Provinsi Sulawesi Barat. Penelitian ini dilakukan dengan metode survei, pengumpulan data sekunder dan data primer. Aplikasi dari *geographic information system* (GIS) dengan analisis tumpang susun peta dan skoring digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakterisasi biogeofisik DAS Mapili yang meliputi meteorologi, morfologi, morfometri, hidrologi, kemampuan DAS dan karakterisasi sosial ekonomi, budaya dan kelembagaan mempengaruhi sistem penerapan pengelolaan DAS Mapili. Tipologi DAS Mapili diklasifikasikan menjadi 2 tipologi DAS, yaitu: tipologi II atau DAS yang memiliki jumlah penduduk tidak padat (97 jiwa/km²) dengan curah hujan yang tinggi (>2500 mm/th); dan tipologi IV atau DAS yang memiliki jumlah penduduk padat (377 jiwa/km²) dengan curah hujan yang rendah (<1500 mm/th). Kedua tipologi ini memiliki karakteristik permasalahan DAS yang berbeda. Tipologi II umumnya berada pada daerah tengah dan hulu DAS Mapili, sedangkan tipologi IV berada pada daerah hilir DAS Mapili.

Kata kunci: Karakteristik DAS, tipologi DAS, GIS, DAS Mapili

ABSTRACT

The multisectoral, multidisciplinary, multi-stakeholder and multidimensional watersheds problems are the consequences of multifunctional watersheds. The complexity of these problems demanding a system and management approach that appropriate with the characteristics and typology of the watershed. This study aims to analyze the characteristics and typology of Mapili watershed West Sulawesi Province. This research was conducted using surveys, primary, and secondary data collection. Application of geographic information system (GIS) with overlay maps and scoring was used. The results showed that Mapili biogeophysical characterization includes meteorology, morphology, morphometry, hydrology, watershed capability and socioeconomic, cultural and institutional characterization will influence the system of Mapili watershed management. Mapili watershed can be classified into two typology watershed, namely: typology II, which has a low total population density (97 people/km²) with high rainfall (>2500 mm/yr); and typology IV, which has a high total population density (377 people/km²) with low rainfall (<1500 mm/yr). Both typologies have different characteristics of watershed problems. Typology II is generally located in the central area and upstream Mapili and Typology IV are located in the downstream areas of Mapili watershed.

Keywords: Watershed characteristic, watershed typology, GIS, Mapili watershed

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu satuan ekosistem yang memiliki peranan penting bagi kehidupan (Halengkara *et al.*, 2012). Secara umum DAS dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu DAS

bagian hulu, DAS bagian tengah, dan DAS bagian hilir. DAS bagian hulu berdasarkan fungsi sebagai konservasi dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi sedangkan DAS bagian tengah dan hilir didasarkan pada fungsi

pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi. Penggunaan DAS sebagai satuan wilayah pengelolaan adalah untuk memberikan pemahaman secara rasional dan obyektif bahwa setiap kegiatan yang dilakukan di suatu tempat (*on site*) di bagian hulu DAS memiliki dampak atau implikasi di tempat lain (*off site*) di bagian hilir DAS; atau sebaliknya bahwa pemanfaatan sumberdaya alam di wilayah hilir merupakan hasil dari daerah hulu yang secara otonomi atau administrasi berbeda wilayah pengelolannya (Paimin *et al.*, 2012).

Pengelolaan DAS yang baik diharapkan dapat mencapai pengelolaan yang berkelanjutan. Keberlanjutan selalu dianggap sebagai salah satu aspek utama dalam perencanaan pengelolaan DAS (Pirani & Mousavi, 2016). Pengelolaan DAS telah menunjukkan potensi penggandaan produktivitas pertanian, peningkatan ketersediaan air, pemulihan keseimbangan ekologis dalam ekosistem yang terdegradasi dan diversifikasi sistem tanaman pertanian (Bhan, 2013). Pengelolaan DAS dapat dipahami sebagai formulasi dan implementasi dari suatu rangkaian kegiatan yang menyangkut sumberdaya alam dan manusia dalam suatu DAS dengan memperhitungkan kondisi sosial, politik, ekonomi, dan faktor-faktor institusi yang ada di DAS dan sekitarnya untuk mencapai tujuan sosial yang spesifik (Paimin *et al.*, 2012; Hasnawir & Sallata, 2016). Lebih lanjut, perencanaan lahan dan pengelolaan sumberdaya alam yang terkait dengan karakteristik DAS secara langsung merupakan faktor utama yang menentukan dalam pengelolaan DAS (Zhang *et al.*, 2015; Azmeri *et al.*, 2016).

Pentingnya informasi tentang karakteristik DAS mendorong pemerintah menerbitkan peraturan pemerintah tentang pengelolaan DAS yang di dalamnya memuat tentang inventarisasi karakteristik DAS. Inventarisasi karakteristik DAS tersebut telah diamanatkan di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan DAS sebagai dasar penyusunan rencana pengelolaan DAS. Setiap DAS dikelola dengan suatu jenis pengelolaan menurut karakteristik DAS sesuai dengan azas "*one watershed one management plan*". Karakteristik DAS adalah suatu sifat yang khas, yang melekat pada DAS tersebut. Karakteristik DAS terbagi dalam dua bagian, yaitu karakteristik statis dan karakteristik dinamis. Karakteristik statis merupakan variabel dasar yang tidak mudah berubah dan akan sangat menentukan proses hidrologi yang terjadi pada DAS tersebut. Dalam hal ini karakteristik DAS meliputi variabel

morfologi dan morfometri DAS. Selain itu terdapat pula karakteristik DAS yang bersifat dinamik, yaitu variabel yang akan mempengaruhi percepatan perubahan kondisi hidrologi di dalam DAS. Variabel yang termasuk dalam karakteristik dinamis DAS adalah meteorologi/klimatologi, penutup/penggunaan lahan, kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakat di dalam DAS, dan kondisi kelembagaan pengelola DAS. Karakteristik DAS pada dasarnya meliputi 2 bagian, yaitu karakteristik biogeofisik dan karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan (Kementerian Kehutanan, 2013).

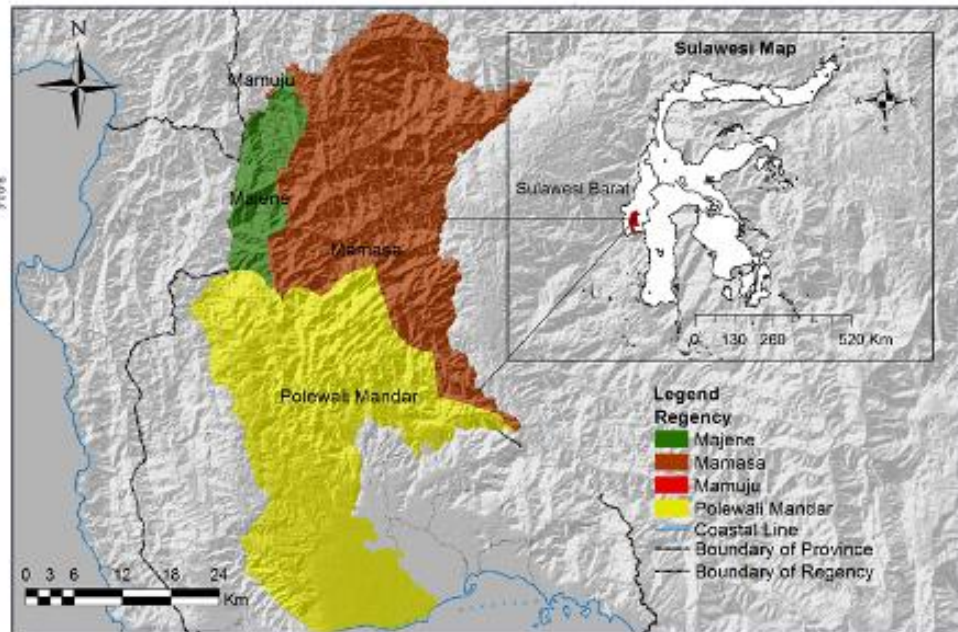
Permasalahan pengelolaan DAS yang bersifat multisektor, multipihak, dan multidimensi menuntut suatu sistem dan pendekatan yang berbeda sesuai dengan karakter tipologi DAS. Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) tahun 2010-2014 dengan keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. SK.328/Menhut-II/2009, DAS Mapili ditetapkan sebagai salah satu DAS prioritas nasional. Permasalahan DAS Mapili ditunjukkan diantaranya dengan terjadinya bencana banjir dan tanah longsor setiap tahun. Kebutuhan penelitian di DAS Mapili dalam upaya mendukung perencanaan dan pengelolaan DAS sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan tipologi DAS yang diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan pengelolaan DAS Mapili Provinsi Sulawesi Barat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Desember 2016. Penelitian ini dilaksanakan di DAS Mapili. DAS Mapili secara geografis terletak antara 118°58'20" sampai dengan 119°20'30" Bujur Timur dan 2°48'05" sampai dengan 3°30'45" Lintang Selatan dengan luas DAS adalah 178.995,14 ha. Secara administrasi berada dalam wilayah Provinsi Sulawesi Barat, dengan masing-masing berada dalam wilayah Kabupaten Polewali Mandar seluas 95.694,07 ha (53,46 %), Kabupaten Mamasa seluas 75.183,69 ha (42,00 %), Kabupaten Majene seluas 8.085,83 ha (4,52 %) dan Kabupaten Mamuju seluas 31,55 ha (0,02 %). DAS Mapili terbagi dalam 6 sub DAS, yaitu sub DAS Garassi, sub DAS Mahelaan, sub DAS Maloso, sub DAS Mambi, sub DAS Mambu dan sub DAS Masuni (Isnani & Hasnawir, 2017). Sub DAS Garassi seluruhnya berada di dalam wilayah Kabupaten Polewali Mandar. Sub DAS Mahelaan seluruhnya berada di dalam wilayah Kabupaten Mamasa. Sub DAS Maloso berada di dalam wilayah administrasi

Kabupaten Polewali Mandar, Kabupaten Mamasa, dan Kabupaten Majene. Sub DAS Mambi adalah sub DAS yang berada dalam wilayah Kabupaten Mamasa, Kabupaten Majene, dan Kabupaten Mamuju. Sub DAS Mambu berada seluruhnya di dalam wilayah

administrasi Kabupaten Polewali Mandar. Sub DAS Masuni adalah sub DAS yang berada di dalam wilayah administrasi Kabupaten Mamasa dan Kabupaten Polewali Mandar (Gambar 1 dan 2).



Gambar 1. Lokasi penelitian di DAS Mapili, Provinsi Sulawesi Barat



Gambar 2. Salah satu sungai di DAS Mapili Provinsi Sulawesi Barat

Bahan dan alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah Peta-peta (tanah, geologi, penggunaan lahan dan topografi), citra satelit, laptop dengan spesifikasi

Prosesor Intel P7, RAM 4GB, VGA 1 GB, GPS, meteran, unit perangkat untuk analisis GIS (*Software Arc GIS 10.1*), kamera, peralatan pengukuran

kualitas air dan peralatan pengambilan sampel air, dan tanah.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan cara survei dan pengukuran langsung meliputi: debit air, kualitas air, erosi, dan data sosial ekonomi dan budaya masyarakat. Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber diantaranya berbagai peta, data curah hujan, dan data kependudukan. Pengambilan sampel tanah dan air dilakukan pada tiga tempat yang berbeda dengan mempertimbangkan keterwakilan lokasi DAS yaitu hulu, tengah, dan hilir. Lokasi pengambilan sampel tanah 03°01' 12,0" LS dan 119°04' 02,2" BT (hulu); 03°10' 12,5" LS dan 119°04' 05,8" BT (tengah); 03°25' 14,9" LS dan 119°08' 15,6" BT (hilir). Lokasi pengambilan sampel air 03°00' 25,1" LS dan 119°05' 07,8" BT (hulu); 03°15' 26,3" LS dan 119°09' 04,4" BT (tengah); 03°24' 55,8" LS dan 119°10' 21,8" BT (hilir).

Analisis Data

Data dan informasi karakterisasi DAS meliputi aspek tata air, lahan, dan sosial dianalisis menggunakan metode analisis kuantitatif dan kualitatif dengan mengacu pada Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P.3/V-Set/2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai dan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.60/Menhut-II/2014 tentang Kriteria Penetapan Klasifikasi Daerah Aliran Sungai. Secara umum beberapa variabel data dan analisis karakterisasi DAS diuraikan sebagai berikut:

- Data karakteristik meteorologi/klimatologi DAS: data diperoleh dari hasil pencatatan atau pengumpulan pada stasiun cuaca/iklim oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika dan dari instansi atau institusi yang terkait. Data meteorologi ini utamanya adalah data curah hujan dan intensitas hujan.
- Data karakteristik morfologi DAS: data diperoleh dari interpretasi, analisis, dan pembacaan peta-peta tematik (geologi, geomorfologi, topografi, tanah dan penggunaan lahan).
- Data karakteristik morfometri DAS: data diperoleh dari hasil interpretasi, pengukuran dan perhitungan DAS meliputi: luas DAS, bentuk DAS, jaringan sungai, pola aliran, kerapatan aliran, profil sungai utama.

- Data karakteristik hidrologi DAS: data diperoleh dari hasil pengumpulan dan perhitungan data meliputi: debit maksimum (Q maks), debit minimum (Q min), koefisien regim sungai (Q_{maks}/Q_{min}), indeks penggunaan air (IPA), koefisien varian (CV) dan kualitas air.
- Data karakteristik kemampuan DAS: data erosi diperoleh dari hasil pendugaan erosi berdasarkan rumus USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan juga dilakukan pengukuran melalui suatu demplot pengukuran erosi. Sedangkan data sedimentasi diperoleh dari hasil perhitungan sedimen sungai (SY) yang diduga melalui prediksi besarnya erosi total sungai (GE) dikalikan dengan rasio pelepasan sedimen (*Sediment Delivery Ratio*, SDR). Selain itu data penutupan lahan, penggunaan lahan, pemanfaatan lahan, dan tingkat lahan kritis diperoleh dari hasil interpretasi citra penginderaan jauh dan analisis GIS.
- Data karakteristik sosial ekonomi, budaya, dan kelembagaan DAS: data diperoleh dari analisis dan pencatatan data sekunder dari instansi seperti data potensi desa, data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tingkat daerah.

Analisis tipologi DAS dengan faktor dominan curah hujan dan kepadatan penduduk didasarkan pada Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P.3/V-Set/2013 mengklasifikasi curah hujan dan berdasarkan Undang-undang Nomor: 56/PRP/1960 membagi empat klasifikasi kepadatan penduduk. Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P.3/V-Set/2013 mengklasifikasi curah hujan yaitu sangat rendah (<1500 mm/th), rendah (1500 – <2000 mm/th), sedang (2000 – <2500 mm/th), tinggi (2500 – <3000 mm/th), sangat tinggi (>3000 mm/th). Undang-undang Nomor: 56/PRP/1960 membagi empat klasifikasi kepadatan penduduk: tidak padat (dengan tingkat kepadatan 1 – 50 jiwa/km²), kurang padat (51 – 250 jiwa/km²), cukup padat (251 – 400 jiwa/km²) dan sangat padat (>401 jiwa/km²). Tipologi DAS dapat dibagi 4 yaitu DAS tipologi I (penduduk padat – curah hujan tinggi), DAS tipologi II (penduduk tidak padat – curah hujan tinggi), DAS tipologi III (penduduk tidak padat – curah hujan rendah), dan DAS tipologi IV (penduduk padat – curah hujan rendah). Analisis kuadran digunakan untuk membentuk klasifikasi tipologi DAS berdasarkan parameter curah hujan dan kepadatan penduduk. Selanjutnya, masing-masing tipologi DAS ini akan

dilakukan identifikasi permasalahan DAS.

Aplikasi dari *Geographic Information System* (GIS) untuk pengelolaan DAS (Strager *et al.*, 2010; Magesh *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2014; Patel *et al.*, 2015; Gelagay & Minale, 2016; Thakkar *et al.*, 2017; Pande & Moharir, 2017; Rai *et al.*, 2017; Chandniha & Kansal, 2017) dengan analisis tumpang susun peta dan skoring digunakan dalam penelitian ini. Peta tematik dioverlay untuk menentukan skor yang diperoleh. Skor total yang diperoleh akan menentukan hasil analisis GIS yang dibuat. Berdasarkan hasil penskoran diperoleh peta baru yang menggambarkan distribusi model GIS yang diinginkan. Metode ini pula digunakan untuk membuat peta tipologi DAS Mapili.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik DAS Mapili

1. Meteorologi DAS

Karakterisasi meteorologi DAS meliputi: curah hujan dan intensitas hujan. Klasifikasi curah hujan berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P. 3/V-Set/2013, maka curah hujan di DAS Mapili umumnya dalam kategori curah hujan tinggi dengan rata-rata 2.791 mm/th (Tabel 1). Intensitas hujan DAS Mapili diketahui memiliki rata-rata 11,6 mm/hari. Curah hujan yang tinggi ini menyebabkan tingkat erosi yang tinggi bahkan memicu tanah longsor dan banjir di DAS Mapili. Karakteristik meteorologi DAS ini mengisyaratkan perlunya suatu perencanaan sistem pengelolaan DAS dengan penerapan teknologi DAS yang tepat yang dapat mengurangi tingkat erosi, tanah longsor, dan banjir.

Tabel 1. Curah hujan dan intensitas hujan di DAS Mapili, Sulawesi Barat

No	Sub DAS	Curah hujan (mm/th)	Intensitas hujan (mm/hari)
1	Garassi	1.278	7,47
2	Mahelaan	4.335	15,75
3	Masolo	3.048	12,16
4	Mambi	3.761	14,59
5	Mambu	1.278	7,47
6	Masuni	3.048	12,16

Sumber: Balai Pengelolaan DAS Lariang Mamasa, 2014

Tabel 1 juga menunjukkan adanya perbedaan curah hujan di DAS Mapili, hal ini disebabkan beberapa faktor yaitu ketinggian tempat, jarak tempat dari laut, arah angin, dan perbedaan suhu. Penelitian Indarto *et al.* (2010) menunjukkan bahwa meskipun dalam suatu wilayah DAS memiliki iklim yang sama, terjadi suatu perbedaan karakter meteorologi. Hal ini

secara jelas dapat dilihat dari berbagai variasi curah hujan tahunan pada masing-masing sub DAS. Curah hujan tahunan DAS Mapili terendah adalah 1.278 mm (sub DAS Garassi dan Mambu) dan tertinggi adalah 4.335 mm (sub DAS Mahelaan).

2. Morfologi DAS

Karakterisasi morfologi DAS meliputi jenis geologi, geomorfologi, topografi, dan jenis tanah (Kementerian Kehutanan, 2013). Jenis geologi DAS Mapili terdiri dari batuan gunung api talaya (40,33 %), batuan terobosan (32,35 %), batupasir (12,86%), batupasir bersusunan andesit (0,22 %), endapan permukaan tak bernama (7,77 %), formasi latimojong (1,19 %), konglomerat tak bernama (2,21 %), napal (2,76 %), dan napal tufaan (0,31 %). Tingkat kelerengan lapangan berpengaruh pada kecepatan dan tenaga erosi dari *overland flow*. Menggunakan variabel interval kontur, total panjang kontur, dan luas DAS maka kelerengan rata-rata pada DAS Mapili adalah 30,23 %, sedangkan kelerengan rata-rata tiap sub DAS adalah sub DAS Garassi 4,66 %, sub DAS Mahelaan 33,17 %, sub DAS Maloso 29,37 %, sub DAS Mambi 35,52 %, sub DAS Mambu 15,52 %, dan sub DAS Masuni 35,91 %. Sedangkan DAS Mapili berdasarkan ketinggian rata-rata masing-masing sub DAS adalah sub DAS Garassi 0 – 625 m, sub DAS Mahelaan 336 – 1940 m, sub DAS Maloso 11 – 1505 m, sub DAS Mambi 336 – 2714 m, sub DAS Mambu 12 – 630 m, dan sub DAS Masuni 49 – 1472 m. Tanah di DAS Mapili terdiri dari 3 jenis yaitu *dystropepts*, *fluvaquents*, *tropopsamments*, dan *tropudults*. Dari keempat jenis tanah tersebut, yang paling dominan adalah jenis *dystropepts* seluas 129.428 ha (71,51 %), selanjutnya *tropudults* seluas 37.950 ha (20,97 %), *fluvaquents* seluas 11.615 ha (6,42 %), dan *tropopsamments* seluas 2 ha (1,10 %). Tabel 2 menunjukkan hasil analisis tanah DAS Mapili. Debu adalah tekstur tanah yang paling dominan berdasarkan hasil analisis tanah yaitu sekitar 40 %. Tekstur merupakan sifat yang sangat penting karena berpengaruh terhadap sifat-sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Semakin halus tekstur tanah maka kapasitas absorpsi menahan unsur-unsur hara lebih besar, dan semakin tinggi kapasitas menahan air juga lebih besar sebab memiliki permukaan yang lebih luas. Berdasarkan hasil analisis tanah ini pula diketahui bahan organik berupa C sebanyak 2,21 % dan N sebanyak 0,14 % dengan nisbah C/N adalah 16. Ini menunjukkan bahwa keseimbangan dekomposisi bahan organik berdasarkan sampel tanah tergolong baik.

Tabel 2. Analisis sampel tanah di DAS Mapili

Pasir		% Tekstur			Kelas Tekstur	Ekstrak 1:2.5						
Pasir	Pasir Halus	Debu	Liat	pH								
28	12	40	20	Lempung	6.84	0						
Terhadap contoh kering pada 105°C												
Bahan Organik		Rasio C/N	P2O2	Ekstrak KCl		Nilai Tukar Kation (cmol/kg ⁻¹)						
C	N			Al	H	Ca	Mg	K	Na	Jml	KTK	KB
2.21	0.14	16	15.6	tt	0.4	8.25	3.24	0.32	0.24	12.45	23	60

Sumber: Analisis sampel tanah, 2016

3. Morfometri DAS

Karakter alami morfometri DAS bersama-sama dengan faktor yang dapat diintervensi manusia akan mempengaruhi perilaku hidrologi seperti evapotranspirasi, infiltrasi, dan aliran sungai (Supangat, 2012). Morfometri adalah pengukuran konfigurasi seperti bentuk dan dimensi sistem hidrologi di permukaan bumi dengan menggunakan persamaan matematis (Kaliraj *et al.*, 2015). Analisis morfometri banyak digunakan untuk mempelajari masalah yang berkaitan dengan pengelolaan DAS, konservasi sumber daya, dan pembangunan berkelanjutan (Javed *et al.*, 2011; Thomas *et al.*, 2011; Sujatha *et al.*, 2014). Penilaian morfometri membantu menguraikan diagnosis hidrologi primer untuk memprediksi perkiraan perilaku DAS (Markose *et al.*, 2014). Karakteristik morfometri dari proses hidrologi dan geomorfologi adalah tentang pembentukan DAS dalam skala yang berbeda (Dubey *et al.*, 2015). Karakterisasi morfometri DAS meliputi luas DAS, bentuk DAS, jaringan sungai, pola aliran, dan kerapatan aliran. Bentuk DAS, jaringan sungai dan sub DAS pada DAS Mapili ditunjukkan pada Gambar 3.

Luas DAS Mapili adalah 178.995,14 ha, dengan luas masing-masing sub DAS adalah sub DAS Garassi 16.501,30 ha, sub DAS Mahelaan 15.168,65 ha, sub DAS Maloso 38.576,69 ha, sub DAS Mambi 49.648,42 ha, sub DAS Mambu 11.077,50 ha, dan sub

DAS Masuni 48.022,59 ha. Berdasarkan hasil analisis GIS bentuk DAS Mapili adalah memanjang. Panjang DAS Mapili yang diukur berdasarkan jarak terjauh dari outlet ke batas DAS di hulu adalah 79,34 km. Jaringan sungai dapat mempengaruhi besarnya debit aliran sungai yang dialirkan oleh anak-anak sungainya. Pola aliran sungai dan ketajaman puncak *discharge* banjir dipengaruhi oleh bentuk DAS. Pola aliran sungai pada tiap sub DAS adalah sub DAS Garassi memiliki pola aliran *dendritic fine*, Mahelaan memiliki pola aliran *regtangular dendritic fine*, Maloso memiliki pola aliran *dendritic fine*, Mambi memiliki pola aliran *dendritic medium*, Mambu memiliki pola aliran *dendritic medium*, dan sub DAS Masuni memiliki pola aliran *dendritic fine*. Kerapatan aliran sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS. Lynsley (1949) menyatakan bahwa jika nilai kerapatan aliran lebih kecil dari 1 mile/mile² atau (0,62 km/km²), maka DAS akan mengalami penggenangan, sedangkan jika nilai kerapatan aliran lebih besar dari 5 mile/mile² (3,10 km/km²), maka DAS sering mengalami kekeringan. Kerapatan aliran sungai di DAS Mapili dapat dilihat pada Tabel 3. Dari tabel tersebut nampak bahwa terdapat 5 sub DAS yang memiliki potensi terjadi genangan air atau banjir yang tinggi dengan nilai indeks kerapatan aliran kurang dari 0,62 km/km².

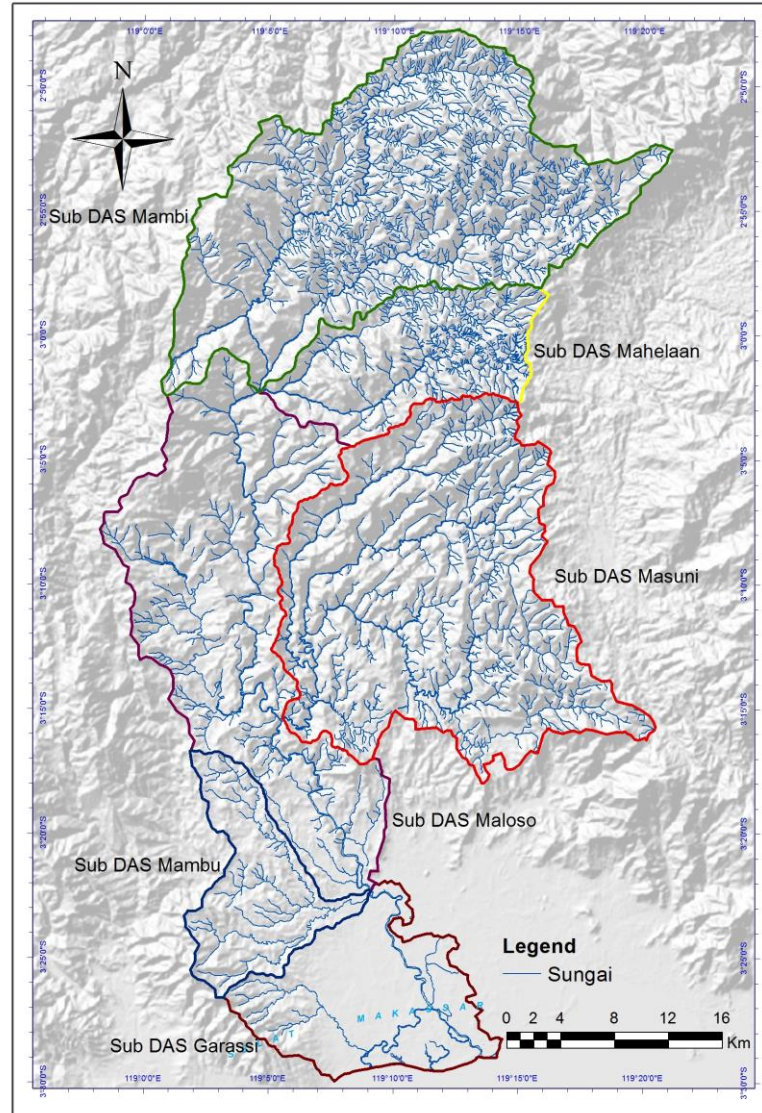
Tabel 3. Kerapatan aliran sungai di DAS Mapili

No.	Sub DAS	Indeks kerapatan aliran (km/km ²)	Kategori potensi genangan air/ banjir
1	Garassi	0,02	Tinggi
2	Mahelaan	0,34	Tinggi
3	Maloso	0,20	Tinggi
4	Mambi	0,87	Sedang
5	Mambu	0,14	Tinggi
6	Masuni	0,57	Tinggi

Sumber: Analisis data, 201

Karakteristik morfometri DAS Mapili menjadi informasi utama dalam perencanaan pengelolaan DAS khususnya dalam perencanaan pengelolaan DAS terpadu. Sebagai contoh dengan kondisi kerapatan

aliran DAS Mapili yang berpotensi menyebabkan genangan air atau banjir, maka perlu perencanaan penanggulangan masalah ini dengan melibatkan berbagai pihak.



Gambar 3. Bentuk DAS, jaringan sungai dan sub DAS pada DAS Mapili

4. Hidrologi DAS

Karakterisasi hidrologi DAS meliputi debit maksimum (Q_{maks}), debit minimum (Q_{min}), koefisien regim sungai (KRS), indeks penggunaan air (IPA), koefisien variansi (CV) dan kualitas air. Debit maksimum (Q_{maks}) pada sungai utama (Sungai Mapili, titik pengukuran: $03^{\circ}24'55,8''$ lintang selatan, $119^{\circ}10'21,8''$ bujur timur) adalah $149,94 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan debit minimum (Q_{min}) adalah $12,50 \text{ m}^3/\text{detik}$ sehingga diperoleh nilai KRS sungai Mapili adalah 11,99. Sedangkan IPA Indeks penggunaan air adalah perbandingan kebutuhan air selama satu tahun

terhadap ketersediaan air. Kebutuhan air dihitung berdasarkan jenis luasan penggunaan lahan, kebutuhan air untuk penduduk dan industri jika ada. DAS Mapili memiliki IPA sebesar 0,40, sedangkan koefisien variansi (CV) adalah 0,73. Pada Tabel 4 dapat dilihat hasil analisis kualitas air sungai Mapili yang menunjukkan bahwa baku mutu air termasuk dalam golongan A (dapat digunakan sebagai air minum tanpa pengolahan) dan golongan B (dapat digunakan sebagai air minum dan keperluan rumah tangga dengan proses pengolahan terlebih dahulu).

Karakteristik hidrologi DAS Mapili yang meliputi debit maksimum, debit minimum, koefisien regim sungai, indeks penggunaan air, koefisien variansi, dan kualitas air adalah informasi penting dalam mendukung perencanaan pengelolaan DAS.

Informasi baik atau buruknya kondisi hidrologi akan menentukan rencana pengelolaan DAS termasuk solusi yang dapat diterapkan untuk memperbaiki kondisi hidrologi menjadi lebih baik

Tabel 4. Analisis kualitas air Sungai Mapili, DAS Mapili

No	Parameter	Satuan	Rata-rata	Pergub. Baku Mutu Air No. 69 Th. 2010			
				Gol. A	Gol. B	Gol. C	Gol. D
I. PHYSICS							
1	Conductivity	µmhs/cm	68.1	(-)	(-)	(-)	(-)
II. CHEMICALS							
2	pH		6.22	6 – 8.5	6 – 8.5	6 – 8.5	5 – 8.5
3	Dissolved Oxygen (DO)	ppm	5.2	6	4	3	0
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	ppm	2.9	2	3	6	12
5	Chemical Oxygen Demand (COD)	ppm	18.0	10	25	50	100
6	Amoniak (NH3)	ppm	0.005	0.5	(-)	(-)	(-)
7	Nitrat (NO3)	ppm	1.14	10	10	20	20
8	Timbal (Pb)	ppm	0.005	0.03	0.03	0.03	0.1

Keterangan:

Nilai Baku Mutu air di atas merupakan batas minimum, kecuali pH dan DO

Tanda (-) adalah tidak dipersyaratkan

Baku Mutu Air Gol. A: Dapat digunakan sebagai air minum tanpa pengolahan terlebih dahulu

Baku Mutu Air Gol. B: Dapat digunakan sebagai air baku diolah sebagai air minum dan keperluan rumah tangga

Baku Mutu Air Gol. C: Dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan

Baku Mutu Air Gol. D: Dapat digunakan untuk keperluan pertanian, industri, listrik tenaga air, tapi tidak sesuai untuk gol. A, B dan C.

Sumber: Analisis kualitas air, 2016

5. Kemampuan DAS

Karakterisasi kemampuan DAS meliputi erosi dan sedimentasi, penutupan lahan, penggunaan lahan, dan pemanfaatan lahan (Kementerian Kehutanan, 2013). Karakterisasi kemampuan DAS ini sangat penting sebagai informasi terkait perencanaan pengelolaan DAS. Konsep kemampuan DAS pada dasarnya adalah konsep daya dukung DAS yang bertujuan untuk mewujudkan kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumber daya alam bagi manusia dan makhluk hidup lainnya secara berkelanjutan. Erosi dan sedimentasi adalah dua peristiwa yang sangat berhubungan. Besarnya jumlah erosi tanah akan menentukan laju sedimentasi di bagian hilir. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) DAS Mapili dengan analisis menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) ditunjukkan pada Tabel 5. Sedimen sungai (SY) atau muatan sedimen dihitung berdasarkan prediksi besarnya erosi total sungai dikalikan dengan rasio pelepasan sedimen (*Sediment Delivery Ratio*, SDR). Berdasarkan hubungan antara luas DAS dan rasio pelepasan/penghantaran sedimen (Kementerian Kehutanan, 2014), maka dengan luas DAS Mapili 178.995,14 ha maka SDR DAS Mapili adalah kurang dari 8,5 %. Dari luas DAS Mapili (178.995,14 ha) dapat diklasifikasikan: TBE Sangat Ringan seluas

10.919,91 ha (6,10 %), TBE Ringan seluas 17.876,59 ha (9,99 %), TBE Sedang seluas 73.229,66 ha (40,91 %), TBE Berat seluas 16.970,07 ha (9,48 %), dan TBE Sangat Berat seluas 59.998,92 ha (33,52 %). Karakteristik penggunaan lahan merupakan salah satu bentuk intervensi manusia dalam pengelolaan DAS. Penutupan lahan merupakan faktor yang mempengaruhi terjadinya tanah longsor khususnya tanah longsor dangkal yang dipicu oleh intensitas curah hujan yang tinggi (Hasnawir *et al.*, 2017). Kondisi ini menyebabkan jumlah bencana sedimen seperti tanah longsor mengalami peningkatan setiap tahunnya di Indonesia (Hasnawir & Kubota, 2012). Pengendalian erosi dan stabilitas lereng dengan memanfaatkan peran akar spesies dikenal secara luas sebagai alternatif ekologis terhadap bencana terkait sedimen seperti tanah longsor (Sanchez-Castillo *et al.*, 2014; Sanchez-Castillo *et al.*, 2017). Selain itu, perubahan penutupan lahan atau hilangnya penutupan hutan akan mempengaruhi kualitas air dari DAS (Calijuri *et al.*, 2015).

Penutupan lahan sub DAS Garassi didominasi oleh pertanian lahan kering campur semak seluas 6.361,68 ha dan sawah seluas 5.330,71 ha, Penutupan lahan lainnya berupa padang rumput 1.300,89 ha, tambak 1.365,87 ha, pertanian lahan kering 1.352,80 ha, dan sisanya berupa pemukiman, belukar, air, dan

hutan mangrove. Sub DAS Mahelaan, penutupan lahan berupa pertanian lahan kering campur seluas 9.087,23 ha, hutan lahan kering 3.842,18 ha, belukar seluas 1.708,39 ha, dan sisanya berupa pertanian lahan kering dan sawah. Sub DAS Maloso terbagi atas 4 tipe tutupan lahan yang didominasi oleh hutan lahan kering sekunder seluas 15.490,70 ha dan pertanian lahan kering campur 17.093,08 ha, semak belukar seluas 2.042,27 ha, hutan lahan kering primer 1.872,31 ha, dan penutupan lahan lainnya berupa pertanian lahan kering, air, dan hutan mangrove. Sub DAS Mambi, tutupan lahan yang mendominasi adalah hutan lahan kering sekunder seluas 23.919,90 ha, pertanian lahan kering campur 14.662,65 ha, semak belukar seluas 7.242,52 ha, sawah seluas 1.492,21 ha, dan pertanian

lahan kering 1.166,93 ha. Sedangkan sub DAS Mambu, pertanian lahan kering campur seluas 10.345,64 ha, dan penutupan lahan lainnya berupa belukar, padang rumput, pertanian lahan kering, sawah, dan air. Untuk sub DAS Masuni, penutupan lahan terbesar yaitu pertanian lahan kering campur seluas 27.503,02 ha, hutan lahan kering sekunder seluas 16.610,58 ha, dan belukar seluas 3.088,04 ha. Total luas lahan pertanian di DAS Mapili yaitu 98.897 ha dengan pemilikan lahan rata-rata 1,74 ha/KK. Di sub DAS Maloso luas lahan pertanian mencapai 18.682 ha dengan rata-rata pemilikan lahan pertanian adalah 2,31 ha/KK. Sedangkan di sub DAS Masuni luas lahan pertanian mencapai 28.037 ha dengan rata-rata pemilikan lahan pertanian adalah 3,26 ha/KK.

Tabel 5. Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di DAS Mapili

No	Sub DAS	TBE	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Garassi	Sangat ringan	8.450,06	4,72
		Ringan	4.432,71	2,48
		Sedang	2.078,03	1,16
		Berat	360,11	0,20
		Sangat berat	1.180,39	0,66
2	Mahelaan	Ringan	282,60	0,16
		Sedang	5.733,43	3,20
		Berat	48,51	0,03
		Sangat berat	9.104,11	5,09
3	Maloso	Sangat ringan	1.589,71	0,89
		Ringan	6.233,77	3,48
		Sedang	19.787,89	11,05
		Berat	4.405,13	2,46
4	Mambi	Sangat berat	6.560,20	3,67
		Ringan	1.615,40	0,90
		Sedang	23.572,12	13,17
		Berat	8.734,74	4,88
5	Mambu	Sangat berat	15.726,15	8,79
		Sangat ringan	880,14	0,49
		Ringan	221,40	0,12
		Sedang	7.028,29	3,93
		Berat	693,56	0,39
	Masuni	Sangat berat	2.254,11	1,26
		Ringan	5.090,71	2,84
		Sedang	15.029,90	8,40
		Berat	2.728,02	1,52
	Sub total	Sangat berat	25.173,96	14,06
		Sangat ringan	10.919,91	6,10
		Ringan	17.876,59	9,99
		Sedang	73.229,66	40,91
	Total	Berat	16.970,07	9,48
		Sangat berat	59.998,92	33,52
		Luas (ha)	178.995,14	
		Persentase (%)	100,00	

Sumber: Analisis data, 2016

6. Karakteristik Sosial Ekonomi, Budaya, dan Kelembagaan DAS

Dalam pengelolaan DAS, aspek sosial ekonomi maupun biofisik mempunyai prioritas yang sama pentingnya, sehingga tidak dapat ditentukan mana yang lebih prioritas (Jariyah & Pramono, 2013). Sosial ekonomi masyarakat merupakan cerminan hubungan

antara manusia yang satu dengan yang lain yang sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari, dikarenakan manusia merupakan makhluk sosial yang tidak dapat hidup sendiri atau masih membutuhkan bantuan dari pihak lain. Berdasarkan data BPS tahun 2013, jumlah penduduk terbanyak pada Kabupaten Majene adalah pada Kecamatan Ulumanda yaitu

sebanyak 2.016 jiwa. Namun berdasarkan kepadatan penduduk, Kecamatan Malunda merupakan kecamatan terpadat dengan kepadatan penduduk sebesar 36,20 jiwa/km². Sedangkan Kabupaten Mamasa, penduduk terbanyak berada pada Kecamatan Mambi yaitu 10.071 jiwa. Jumlah kepala keluarga (KK) terbanyak berada pada Kecamatan Mamasa yaitu sebesar 2.429 KK. Kecamatan ini pun termasuk kecamatan dengan tingkat kepadatan penduduk terbesar yaitu 174,91 jiwa/km². Kepadatan penduduk di Kabupaten Polewali Mandar (DAS Mapili) bervariasi. Jumlah penduduk terbanyak adalah Kecamatan Campalagian sebanyak 54.626 jiwa, sedangkan jumlah penduduk terkecil adalah Kecamatan Matangnga sebanyak 5.383 jiwa. Berdasarkan kepadatan penduduk maka Kecamatan Wonomulyo adalah kecamatan yang terpadat dengan jumlah 654 jiwa/km², sedangkan kepadatan penduduk terendah adalah Kecamatan Matangnga dengan jumlah 23 jiwa/km².

Budaya dengan adat istiadat masyarakat masing-masing daerah memiliki keunikan tersendiri. Di DAS Mapili tingkat kepatuhan masyarakat terhadap kebiasaan-kebiasaan atau adat istiadat masih tetap tinggi. Adat istiadat/kebiasaan yang masih melekat dan dijunjung tinggi oleh masyarakat antara lain adalah upacara-upacara kematian dan syukuran. Kebiasaan yang masih berlaku dalam masyarakat adalah gotong royong pada berbagai kegiatan termasuk dalam penanggulangan bencana, upacara syukuran dan kematian atau upacara adat perkawinan.

Kelembangan pengelolaan DAS umumnya menjadi tanggung jawab dan wewenang dari instansi atau kelembagaan formal. Beberapa instansi tersebut adalah instansi Kementerian Kehutanan, Badan Pertanahan, PU Pengairan, Dinas Pertanian dan Perkebunan dari Pemerintah Daerah. Lembaga tersebut umumnya memiliki program yang berbeda-beda dan sebagian sama bahkan tumpang tindih. Diperlukan suatu kerjasama dan koordinasi yang baik dari lembaga atau instansi dalam pengelolaan DAS agar keterpaduan dapat dicapai. Pengelolaan DAS harus pula melibatkan lembaga masyarakat yang ada di daerah termasuk pelibatan dalam hal perencanaan pengelolaan DAS.

Tipologi DAS Mapili

Tipologi DAS dibagi menjadi empat tipologi (I, II, III, dan IV) berdasarkan faktor dominan yaitu curah hujan dan kepadatan penduduk, yaitu tipologi I (penduduk padat – curah hujan tinggi), tipologi II (penduduk tidak padat – curah hujan tinggi), tipologi III (penduduk tidak padat – curah hujan rendah), dan tipologi IV (penduduk padat – curah hujan rendah). Klasifikasi tingkat curah hujan dan kepadatan penduduk mengacu kepada Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P.3/V-Set/2013 dan Undang-undang Nomor: 56/PRP/1960.

Berdasarkan hasil analisis, maka tipologi DAS Mapili diklasifikasikan berdasarkan sub DAS yaitu sebagai berikut sub DAS Garassi adalah tipologi IV (kepadatan penduduk 377 jiwa/km², curah hujan rendah), sub DAS Mahelaan adalah tipologi II (kepadatan penduduk 97 jiwa/km², curah hujan tinggi), sub DAS Maloso adalah tipologi II (kepadatan penduduk 87 jiwa/km², curah hujan tinggi), sub DAS Mambi adalah tipologi II (kepadatan penduduk 72 jiwa/km², curah hujan tinggi), sub DAS Mambu adalah tipologi IV (kepadatan penduduk 305 jiwa/km², curah hujan rendah), sub DAS Masuni adalah tipologi II (kepadatan penduduk 67 jiwa/km², curah hujan tinggi) sebagaimana pada Gambar 4.

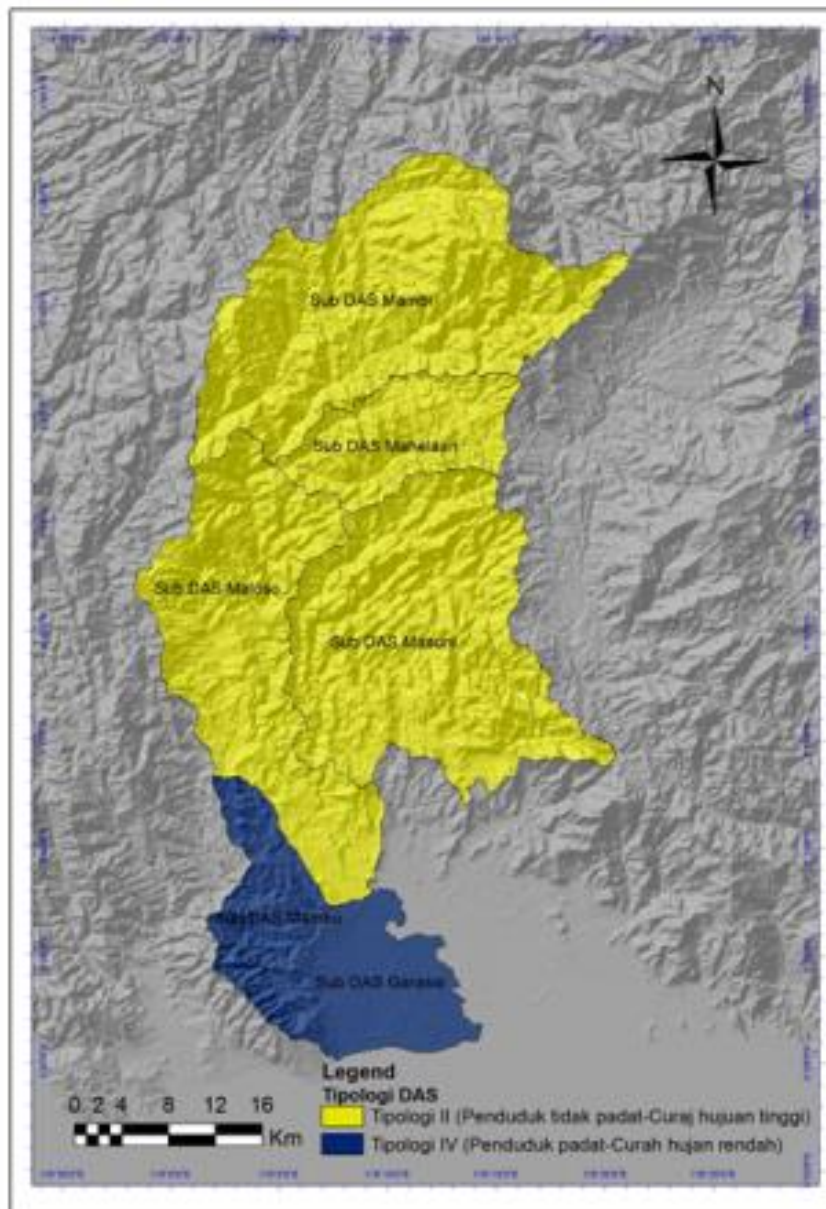
Gambar 4 di bawah menunjukkan bahwa DAS Mapili yang memiliki 2 tipologi DAS yaitu penduduk tidak padat dengan curah hujan tinggi (tipologi II: sub DAS Mambi, Mahelaan, Maloso dan Masuni) dan penduduk padat dengan curah hujan rendah (tipologi IV: sub DAS Mambu dan Garassi). Kedua tipologi ini, memiliki karakteristik permasalahan yang berbeda, dimana permasalahan ini dapat mempengaruhi kualitas pengelolaan DAS Mapili. Tipologi II diidentifikasi permasalahan adalah erosi dan tanah longsor, lahan kritis, konflik lahan, tingkat pendidikan yang rendah dan tingkat pendapatan yang rendah. Sedangkan pada tipologi IV diidentifikasi permasalahan adalah laju pertumbuhan penduduk yang tinggi, air bersih, dan konflik lahan. Permasalahan pada kedua tipologi di DAS Mapili ditunjukkan pada Tabel 6. Berbagai permasalahan di DAS Mapili menjadi salah satu pertimbangan sehingga DAS Mapili ditetapkan sebagai salah satu dari 108 DAS prioritas pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) tahun 2010-2014.

Tabel 6. Permasalahan pada tipologi DAS Mapili, Sulawesi Barat

No	Jenis tipologi	Permasalahan
1	Tipologi II: penduduk tidak padat dengan curah hujan tinggi	❖ Erosi dan tanah longsor ❖ Lahan kritis

No	Jenis tipologi	Permasalahan
		<ul style="list-style-type: none"> ❖ Konflik lahan ❖ Tingkat pendidikan rendah
2	Tipologi IV: penduduk padat dengan curah hujan rendah	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Laju pertumbuhan penduduk ❖ Air bersih ❖ Konflik lahan

Sumber: Analisis data, 2016



Gambar 4. Tipologi DAS Mapili, Provinsi Sulawesi Barat

Hasil wawancara pada masyarakat dan pengamatan lapangan di sub DAS Mambu menunjukkan bahwa salah satu masalah penting yang dihadapi masyarakat adalah masalah ketersediaan air bersih. Untuk mendapatkan air bersih dari sumber mata air harus menunggu beberapa jam, hal ini menjadi

kesulitan bagi masyarakat terutama pada saat kegiatan acara perkawinan atau pesta lainnya. Diskusi dan wawancara pada Pemerintah Daerah Kabupaten Polewali Mandar, tokoh masyarakat dan pengamatan di sub DAS Maloso dan sub DAS Masuni menunjukkan bahwa curah hujan yang tinggi telah

menyebabkan tanah longsor di beberapa tempat di kedua sub DAS ini. Kejadian tanah longsor ini terjadi setiap tahunnya dan telah menyebabkan rusaknya infrastruktur dan ancaman jiwa bagi masyarakat (Gambar 5). Tingginya resiko bencana tanah longsor di DAS Mapili akibat curah hujan mengharuskan pentingnya aplikasi sistem peringatan bencana berbasis

curah hujan. Di antara penelitian yang baru dilaksanakan terkait aplikasi sistem peringatan bencana tanah longsor atau bencana sedimen berbasis curah hujan antara lain: Sanchez-Castillo *et al.*, 2017 di Siera Madre Oriental, Mexico; dan Hasnawir *et al.*, 2017 di sub DAS Tanralili, Indonesia.



Gambar 5. Investigasi pada tanah longsor dangkal di DAS Mapili

KESIMPULAN

Analisis karakteristik DAS dari hasil penelitian ini sangat penting sebagai bahan informasi dalam evaluasi perencanaan pengelolaan DAS Mapili. Berdasarkan indikator curah hujan dan penduduk maka DAS ini dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) tipologi DAS yaitu tipologi II, DAS yang memiliki jumlah penduduk tidak padat (97 jiwa/km^2) dengan curah hujan yang tinggi ($>2500 \text{ mm/th}$); dan tipologi IV, DAS yang memiliki jumlah penduduk padat (377 jiwa/km^2) dengan curah hujan yang rendah ($<1500 \text{ mm/th}$). Kedua tipologi ini memiliki karakteristik permasalahan DAS yang berbeda dimana tipologi II umumnya berada pada daerah tengah dan hulu DAS Mapili, sedangkan tipologi IV berada pada daerah hilir DAS Mapili. Klasifikasi tipologi DAS Mapili dengan permasalahan yang berbeda memerlukan suatu pendekatan pengelolaan DAS yang berbeda pula pada setiap tipologi. Oleh karena itu penetapan rencana pengelolaan DAS harus pula mempertimbangkan jenis tipologi DAS.

SARAN

Permasalahan di DAS Mapili yang meliputi aspek tata air, lahan, sosial ekonomi, budaya, dan kelembagaan memerlukan berbagai pendekatan baik teknis maupun non teknis sesuai tipologi DAS. Langkah konkret dapat dilakukan antara lain normalisasi sungai hulu-hilir, pengamanan tebing-tebing sungai, membangun kesadaran, dan meningkatkan pengetahuan masyarakat dalam pengelolaan DAS. Selain itu program pemberdayaan masyarakat dalam peningkatan perekonomian dan juga membentuk kelembagaan pengelolaan DAS yang bersinergi dapat menjadi upaya penting untuk mengatasi berbagai permasalahan di DAS Mapili.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dari sumber dana DIPA Tahun 2016 Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BP2LHK) Makassar. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala BP2LHK Makassar atas dukungan dalam penelitian ini dan juga kepada Bapak Zainuddin, S.Hut dan Bapak

Mallombasi Lahadji, A.Md atas bantuan dalam mengumpulkan data terkait penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmeri, Hadihardaja, I. K., & Vadiya, R. (2016). Identification of flash flood hazard zones in mountainous small watershed of Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19(1), 143–160. <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.11.001>
- Bhan, S. (2013). Land degradation and integrated watershed management in India. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(1), 49–57. [http://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30049-6](http://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30049-6)
- Calijuri, M. L., Castro, J. S., Costa, L. S., Assemany, P. P., & Alves, J. E. M. (2015). Impact of land use/land cover changes on water quality and hydrological behavior of an agricultural subwatershed. *Environ Earth Sci*, 74(6), 5373–5382. doi: 10.1007/s12665-015-4550-0
- Chandniha, S. K., & Kansal, M. L. (2017). Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis using geospatial technique in Piperiya watershed, India. *Appl Water Sci*, 7, 329–338. <http://doi.org/10.1007/s13201-014-0248-9>
- Dubey, S. K., Sharma, D., & Mundetia, N. (2015). Morphometric analysis of the Banas river basin using the geographical information system, Rajasthan, India. *Hydrology*, 3(5), 47–54. <http://doi.org/10.11648/j.hyd.20150305.11>
- Gelagay, H. S., & Minale, A. S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 126–136. <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.01.002>
- Halengkara L, Gunawan T, & Purnama, D.S. (2012). Analisis kerusakan lahan untuk pengelolaan daerah aliran sungai melalui integrasi teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. *Jurnal Majalah Geografi Indonesia*, 26(2) 149–173.
- Hasnawir, Kubota, T., Sanchez-Castillo, L., & Soma, A. S. (2017). The influence of land use and rainfall on shallow landslides in Tanralili sub-watershed, Indonesia. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 62(1), 171–176.
- Hasnawir, & Sallata, M. K. (2016). Analisis daya dukung dan tipologi daerah aliran sungai Latuppa, Sulawesi Selatan. dalam Nugroho, N. P., Cahyono, S. A., Rahmi, I. G. A. K., Suprpto, M., Priyono, K. D., Anantanyu, S., Irawan, E. (Eds.), *Seminar Nasional Peran Pengelolaan DAS untuk Mendukung Ketahanan Air* (p. 290–301). Solo: Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.
- Hasnawir, & Kubota, T. (2012). Rainfall threshold for shallow landslides in Kelara watershed, Indonesia. *Int J Japan Eros Control Eng* 5, 86–92. doi: 10.13101/ijece.5.86
- Indarto, Wahyuningsih, S., & Affandi, I. (2010). Karakteristik hidro-meteorologi das-das di UPT PSAWS Bondoyudo-Mayang: Aplikasi statistik untuk analisis data rentang waktu. *Jurnal Sains MIPA*, 16(1), 35–46.
- Isnan, W., & Hasnawir. (2017). Kajian daya dukung daerah aliran sungai (DAS) Mapili Provinsi Sulawesi Barat. *Info Teknis Eboni*, 14(2), 89–102.
- Jariyah, N. A., & Pramono, I. B. (2013). Kerentanan sosial ekonomi dan biofisik di DAS Serayu. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 10(3), 141–156.
- Javed, A., Khanday, M., & Rais, S. (2011). Watershed prioritization using morphometric and land use/land cover parameters: a remote sensing approach. *Journal Geological Society of India*, 78, 63–75.
- Kaliraj, S., Chandrasekar, N., & Magesh, S. N. (2015). Morphometric analysis of the River Thamirabarani sub-basin in Kanyakumari District, South west coast of Tamil Nadu, India, using remote sensing and GIS. *Environ Earth Sci*, 73, 7375–7401. <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3914-1>
- Kementerian Kehutanan. (2013). Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P.3/V-Set/2013 Tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai. Jakarta: Biro Hukum Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.
- Kementerian Kehutanan. (2014). Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P.60/Menhut-II/2014 tentang Kriteria Penetapan Klasifikasi Daerah Aliran Sungai. Jakarta: Biro Hukum Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.
- Magesh, N.S., Jitheshlal, K. V., Chandrasekar, N., Jini, K. V. (2013) Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. *Appl Water Sci* 3:467–477. doi: 10.1007/s13201-013-0095-0
- Markose, V. J., Dinesh, A. C., & Jayappa, K. S. (2014). Quantitative analysis of morphometric parameters of Kali River basin, southern India, using bearing azimuth and drainage (bAd) calculator and GIS. *Environ Earth Sci*, 72, 2887–2903. <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3193-x>
- Paimin, Pramono, I. B., Purwanto, & Indrawati, D. R. (2012). *Sistem Perencanaan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi.
- Pande, C. B., & Moharir, K. (2017). GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. *Appl Water Sci*, 7, 861–871. <http://doi.org/10.1007/s13201-015-0298-7>
- Patel, D.P., Srivastava, P. K., Gupta, M., & Nandhakumar, N. (2015). Decision support system integrated with geographic information system to target restoration actions in watersheds of arid environment: A case study of Hathmati watershed, Sabarkantha District, Gujarat. *J Earth Syst Sci* 124, 71–86. doi: 10.1007/s12040-014-0515-z
- Pirani, F. J., & Mousavi, S. A. (2016). Integrating socio-economic and biophysical data to enhance watershed. *Journal of Hydrology*, 540(september), 727–735. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.072>
- Presiden Republik Indonesia. (2012). Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah

- Aliran Sungai. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Rai, P. K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., & Mishra, V. N. (2017). A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. *Appl Water Sci*, 7, 217–232. <http://doi.org/10.1007/s13201-014-0238-y>
- Republik Indonesia. (1960). Undang-Undang Nomor 56/PRP/1960 tentang Penetapan Luas Lahan Pertanian.
- Sanchez-Castillo, L., Kubota, T., & Cantu-Silva, I. (2014). Root strength characteristics of understory vegetation species for erosion mitigation on forest slopes of Mexico. *Int J Ecol Dev* 28(2), 1–8.
- Sanchez-Castillo, L., Kubota, T., Cantu-Silva, I., Moriyama, T., & Hasnawir. (2017). A probability method of rainfall warning for sediment-related disaster in developing countries: a case study in Sierra Madre Oriental, Mexico. *Natural Hazards*, 85(3), 1893–1906. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2669-2>
- Sanchez-Castillo, L., Kubota, T., Cantu-Silva, I., Yanez-Diaz, M., Hasnawir, & Pequeño-Ledezma, M. (2017). Comparisons of the root mechanical properties of three native Mexican tree species for soil bioengineering practices. *Botanical Sciences*, 95(2), 259–269. <http://doi.org/10.17129/botsci.802>
- Singh, P., Gupta, A., & Singh, M. (2014). Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 17(2), 111–121. <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.003>
- Strager, M. P., Fletcher, J. J., Strager, J. M., Yuill, C. B., Eli, R. N., Petty, J. T., & Lamont, S. J. (2010). Watershed analysis with GIS: The watershed characterization and modeling system software application. *Computers and Geosciences*, 36(7), 970–976. <http://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.01.003>
- Sujatha, E. R., Selvakumar, R., & Rajasimman, B. (2014). Watershed prioritization of Palar sub-watershed based on the morphometric and land use analysis. *J. Mt. Sci*, 11(4), 906–916. <http://doi.org/10.1007/s11629-012-2628-7>
- Supangat, A. B. (2012). Karakteristik hidrologi berdasarkan parameter morfometri DAS di kawasan Taman Nasional Meru Betiri. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 9(3), 275–283.
- Thakkar, A. K., Desai, V. R., Patel, A., & Potdar, M. B. (2017). Impact assesment of watershed management programmes on land use/land cover dynamics using remote sensing and GIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 5(January), 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.12.001>
- Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. (2011). Morphometric analysis of the drainage system and its hydrological implications in the rain shadow regions, Kelara, India. *Journal of Geographical Sciences*, 21(6), 1077–1088.
- Zhang, W., Zhou, J., Feng, G., Weindorf, D. C., Hu, G., & Sheng, J. (2015). Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 97–111. <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.06.002>