

ANALISIS ASPEK BIOFISIK DALAM PENILAIAN KERAWANAN BANJIR DI SUB DAS SAMIN PROVINSI JAWA TENGAH

Analysis of biophysical aspects for floods vulnerability assessment in Samin sub watershed, Central Java Province

Wiwin Budiarti^a, Evi Gravitiani^a, Mujiyo^b

^aProgram Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Ketingan, Surakarta 57126, Jawa Tengah –windy_nindinindya@yahoo.com

^bProgram Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Ketingan, Surakarta 57126, Jawa Tengah

Abstract. Floods a main problem in Samin sub watershed, which is part of the Bengawan Solo watershed, Central Java Province. Assessment of the flood vulnerability level and its determinant causes is required as a basis information for policy makers to design a flood mitigation strategy. This study aims to assess the level of flood vulnerability and to analyze the biophysical aspects that caused flooding in Samin sub watershed. The method used is survey and the quantitative analysis of biophysical aspects including slope, soil, drainage density, land use and rainfall using map-overlay and scoring approach. Data analysis using Geographic Information System (GIS) technology. The results showed that the Samin sub-watershed areas has five levels of flood vulnerability is the category of "not vulnerable" area of 2188.44 ha (3.45%), "rather vulnerable" area of 3194.17 ha (5.03%), "quite vulnerable" area of 5379.17 ha (8.47%), "vulnerable" area of 31006.51 ha (48.83%) and "very vulnerable" area of 21726.56 ha (34.22%). The level is vulnerable - very vulnerable mostly spread in the middle and downstream Samin sub-basins including the District Polokarto, Sukoharjo, Mojolaban, Bendosari, Jumantono, Karanganyar, Kebakkramat, Jaten. While the level is rather vulnerable - not prone areas spread in the upstream sub-basins that is District Tawangmangu, Jatiyoso, Nargoyoso. Correlation analysis results show that the most dominant biophysical aspects that caused flooding in Samin sub watershed is the slope, drainage density and land use.

Keywords: *Biophysic, flood vulnerability, GIS, mitigation, Samin watershed*

(Diterima: 19-04-2017; Disetujui: 24-07-2017)

1. Pendahuluan

Kejadian bencana banjir menjadi fenomena rutin saat musim penghujan yang menimpa hampir di berbagai daerah aliran sungai (DAS) di Indonesia. Berdasarkan Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI), bencana banjir merupakan salah satu jenis bencana yang paling banyak terjadi dan cenderung meningkat beberapa tahun terakhir. Banjir merupakan peristiwa debit aliran air sungai yang secara relatif lebih besar dari biasanya/normal akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu secara terus menerus, sehingga tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air meluap keluar dan menggenangi daerah sekitarnya (Paimin *et.al.*, 2009). Kingma (2004), menyebut banjir sebagai bencana alam ketika terjadi di wilayah berpenghuni dan mengakibatkan hilangnya kehidupan manusia dan kerusakan property serta mengganggu aktivitas yang sedang berlangsung baik di masyarakat pedesaan maupun perkotaan.

Berdasarkan laporan kejadian bencana dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Jawa Tengah, peristiwa banjir terjadi di sub DAS Samin hampir setiap tahunnya dengan frekuensi kejadian sekitar dua sampai empat kali dalam setahun. Tercatat kejadian banjir beberapa tahun terakhir yaitu pada tahun 2013, 2014, 2015 dan kejadian banjir besar

terakhir terjadi pada bulan Juni dan Desember 2016 yang menggenangi beberapa desa di Kecamatan Polokarto, Mojolaban, Bendosari, Grogol, Kabupaten Sukoharjo serta beberapa desa di Karanganyar (bpbjdjateng.info). Sub DAS Samin merupakan bagian dari DAS Bengawan Solo hulu yang merupakan salah satu dari 108 DAS kritis di Indonesia (Keputusan Menteri Kehutanan RI No SK. 328/Menhut-II/2009).

Permasalahan yang terjadi di wilayah Sub DAS Samin sangat kompleks berpangkal pada tekanan penduduk yang sangat berat sehingga menyebabkan menurunnya fungsi dan daya dukung DAS. Nugraha *et al.* (2013), mengungkapkan bahwa dalam ekosistem DAS Samin memiliki kekomplekkan dan keruwetan hubungan biotik, abiotik dan budaya, menyebabkan terjadinya tumpangtindih antara ekosistem alam dengan ekosistem sosial yang ada didalamnya. Di sisi lain DAS Samin memiliki potensi yang besar seperti tingginya keanekaragaman hayati, tingginya potensi air tanah, dan kawasan wisata alam yang sangat menarik. Sebagai konsekuensinya, respon manusia sebagai pengguna lahan meningkat sehingga tekanan terhadap lahan semakin tinggi, akibatnya terjadi perubahan penggunaan lahan, perubahan pola penggunaan lahan dari tanaman tahunan menjadi tanaman semusim, serta dipercepat dengan maraknya pembangunan pemukiman penduduk ke pinggiran kota dan bagian hulu DAS Samin. Kondisi tersebut

mengarahkan pada degradasi lingkungan di sub DAS Samin. Kondisi tersebut juga tercermin pada hasil analisis Direktorat Pengelolaan DAS (2008), bahwa sub DAS Samin termasuk skala prioritas penanganan DAS urutan 1 (sangat prioritas). Degradasi ekosistem DAS ini menyebabkan tingkat penangkapan curah hujan, resapan dan penyimpanan air sangat berkurang dan fluktuatif sehingga berdampak pada meningkatnya frekuensi banjir di musim penghujan (Asdak, 2002) seperti yang terjadi di Sub DAS Samin beberapa tahun terakhir. Maridi *et al.* (2014) menambahkan bahwa kondisi Sub DAS Samin sedemikian kritis ditunjukkan dengan besarnya erosi dan sedimentasi sehingga potensial terjadi banjir dan longsor.

Bencana banjir disebabkan oleh faktor alam dan kegiatan manusia yang terkait dengan pemanfaatan sumberdaya alam yang menyebabkan degradasi dan kerusakan DAS (Nugroho, 2015). Faktor alam terutama disebabkan intensitas curah hujan yang sangat tinggi dan kondisi karakteristik DAS, sedangkan faktor manusia disebabkan adanya perubahan penggunaan lahan, sarana prasarana drainase belum baik serta sosial kelembagaan pemerintah dan masyarakat belum kuat.

Banjir menimbulkan dampak kerusakan dan kerugian baik harta benda maupun korban manusia sehingga mengganggu bahkan melumpuhkan kegiatan sosial-ekonomi penduduk (Puturu, 2015). Menurut Suherlan (2001), bencana banjir juga telah menimbulkan banyak kerusakan lingkungan, baik lingkungan alami (erosi tebing, sedimentasi, pendangkalan sungai), maupun lingkungan buatan (kerusakan/kerugian sektor pertanian, pemukiman, sarana umum). Sehingga bencana banjir perlu mendapat perhatian khusus, karena bencana tersebut menelan korban jiwa dan kerugian terbesar (40%) dari seluruh kerugian bencana alam (Kingma, 2004).

Perlu dilakukan upaya pengendalian banjir yang lebih menekankan pada pengurangan resiko bencana atau dikenal dengan istilah mitigasi. Untuk mendukung keberhasilan mitigasi banjir di wilayah sub DAS Samin diperlukan penilaian tentang tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin sehingga bisa dijadikan dasar dalam penyusunan kebijakan strategi mitigasi banjir.

Penilaian tingkat kerawanan banjir sub DAS Samin dilakukan dengan menggunakan teknologi SIG yang dianggap sebagai salah satu upaya mitigasi bencana non struktural dengan melakukan penilaian kerawanan bencana dan identifikasi karakteristik lokasi yang berkaitan dengan permasalahan banjir. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh (Nugroho dan Prayogo, 2008) dalam penyusunan dan analisis lahan kritis di DAS Agam Kuantan Provinsi Sumatera Barat telah memanfaatkan teknologi SIG untuk memetakan luasan dan sebaran kritis sesuai dengan ketentuan sehingga memudahkan dalam analisis tindakan untuk rehabilitasi hutan dan lahan DAS. Vinay *et al.* (2015) dalam penelitiannya mengenai Kuantifikasi Erosi Tanah di Taluk Pandavura, Kabupaten Mandya, Karnataka, India juga mengadopsi teknologi SIG dan

remote sensing diintegrasikan dengan persamaan RUSLE karena teknologi ini sederhana dan akurasi tinggi.

Anna *et al.* (2015) dalam penelitiannya mengenai penilaian kerentanan banjir di DAS Bengawan Solo Hulu menyatakan bahwa parameter penentu kerentanan banjir berdasarkan kondisi biofisik lahan dengan tiga parameter diantaranya tanah, penggunaan lahan dan kemiringan lereng. Anna (2010) juga menyebutkan bahwa faktor penyebab banjir adalah curah hujan dan morfogenesis.

Sesuai Permenhut nomor 32 tahun 2009, analisis aspek biofisik bisa digunakan sebagai dasar perencanaan terutama pada suatu bidang lahan didasarkan pada permasalahan utama yang telah atau sedang terjadi (misalnya banjir atau fluktuasi aliran sungai yang besar, erosi dan sedimentasi, makin luasnya lahan kritis dan menurunnya produktivitas lahan) dan tingkat kekritisannya terhadap masing-masing masalah tersebut. Jika permasalahan utamanya adalah banjir, maka upaya pengendalian banjir diawali dengan melakukan identifikasi tingkat kerawanan banjir serta menganalisis faktor-faktor penentu yang menyebabkan terjadinya bencana banjir di sub DAS Samin. Dengan adanya peta dan informasi kerawanan banjir maka bisa dijadikan bahan untuk merancang strategi pengendalian banjir yang tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin dan menganalisis aspek biofisik yang menyebabkan terjadinya bencana banjir di Sub DAS Samin. Penelitian serupa dilakukan oleh (Purwandari *et al.* 2011; Zein, 2010) untuk analisis penilaian kerawanan bencana banjir di Kelurahan Sewu, Kota Surakarta. Purwandari (2011) membuat model simulasi banjir menggunakan Flo2D software berdasarkan parameter luasan banjir, kedalaman banjir dan kecepatan aliran, sedangkan Zein (2010) melakukan analisis kerawanan banjir menggunakan pendekatan participatory GIS (kerentanan sosial). Pada penelitian ini hasil analisis kerawanan banjir dilakukan berdasarkan parameter biofisik dengan kombinasi analisis data spasial dan uji lapangan.

2. Metode Penelitian

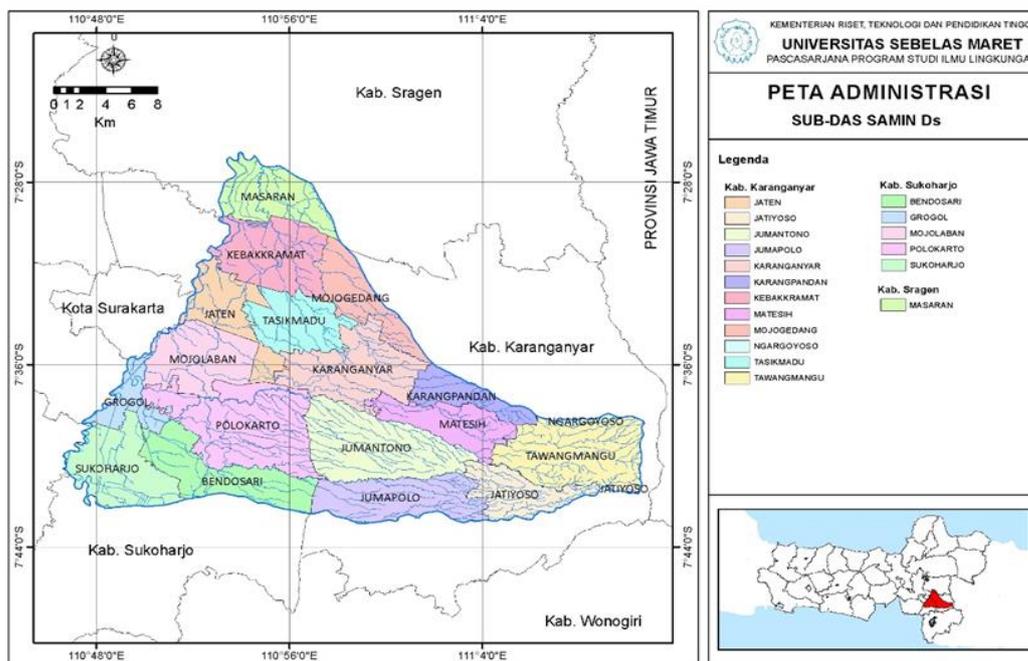
2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah Sub DAS Samin, yang merupakan bagian dari DAS Bengawan Solo Hulu. Sub DAS Samin secara geografis terletak antara koordinat 110°46'35" BT - 111°10'42" BT dan 7°26'43"LS -7°43'00" LS. Batas wilayah Sub DAS Samin di sebelah Utara adalah Sub DAS Mungkung dan Sub DAS Kenatan (Kabupaten Sragen), batas sebelah Timur adalah DAS Kali Madiun (Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur), batas sebelah Selatan adalah Sub DAS Jlantah Walikan (Kabupaten Sukoharjo dan Kabupaten Wonogiri), serta batas

sebelah Barat adalah Sub DAS Pepe (Kabupaten Klaten dan Kabupaten Boyolali).

Wilayah Sub DAS Samin memiliki luas sekitar 63.494,85 Ha, terbagi dalam 2 (dua) Sub-sub DAS Samin dan Sub-sub DAS Grompol. Lingkup

administratif Sub DAS Samin masuk dalam Provinsi Jawa Tengah, mencakup 3 (tiga) kabupaten yaitu sebagian besar Kabupaten Karanganyar dan sebagian kecil Kabupaten Sukoharjo dan Kabupaten Sragen seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Administrasi Sub DAS Samin

2.2. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi : peralatan untuk pengolahan data digital dan SIG berupa laptop dan software ArcView 3.3, peralatan survey lapangan seperti Global Positioning System (GPS), linggis, plastic, ring sampel dan label untuk pengambilan sampel tanah; peralatan untuk penetapan tekstur tanah dan pengukur permeabilitas mengacu pada referensi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: peta dasar (dalam format digital) antara lain peta RBI skala 1:25.000, peta Administrasi Jawa Tengah; Peta tematik antara lain peta kemiringan lereng skala 1:25.000, peta tanah tinjau skala 1:100.000, peta jaringan sungai skala 1:25.000, peta penggunaan lahan sub DAS Samin skala 1:25.000 yang diperoleh dari Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BP2TPDAS) dan peta curah hujan Sub DAS Samin skala 1:25.000 yang diperoleh Program Studi Ilmu Tanah Universitas Sebelas Maret; Data curah hujan tahun 2006-2016 diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Solo dan Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (BPSDA) Bengawan Solo; dan data pendukung lainnya yang diperoleh dari Badan Pusat Statistika (BPS), Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), Dinas Kehutanan dan Dinas Pertanian Kabupaten Sukoharjo dan Karanganyar.

2.3. Pengambilan Contoh

Unit analisis pada penelitian ini adalah sub DAS. Parameter yang dikaji adalah aspek biofisik lahan sebagai parameter penentu banjir yaitu kemiringan lereng, tanah, kerapatan drainase, curah hujan, dan penggunaan lahan. Penelitian menggunakan metode survey, pengambilan sampel dilakukan pada 27 titik sampel yang telah ditentukan secara *purposive* (pemilihan secara sengaja) berdasarkan keterwakilan masing-masing kelas pada setiap parameter. Peta titik pengambilan sampel Sub DAS Samin bisa dilihat pada Gambar 2.

2.4. Prosedur Penelitian

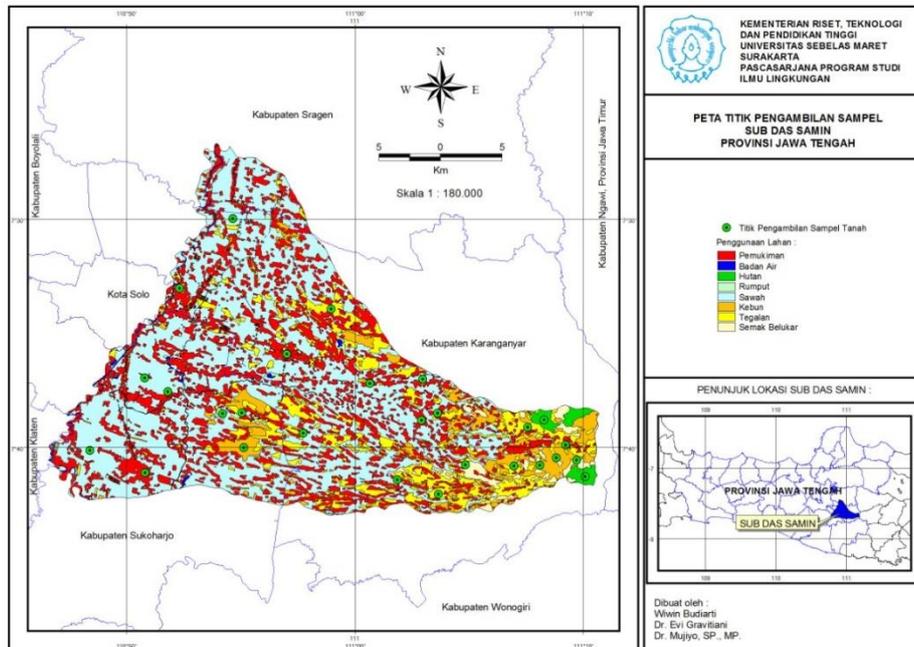
Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yaitu tahap pra lapang, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan seperti digambarkan pada Gambar 3.

Teknik inventarisasi data biofisik untuk mengetahui kondisi aktual parameter penyebab banjir bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Teknik inventarisasi data biofisik

No.	Parameter	Teknik Inventarisasi
1	Kemiringan Lereng	Validasi lapangan, kemiringan lereng di DAS yang bersangkutan
2	Karakteristik Tanah	Pengambilan sampel tanah Penguji tekstur tanah menggunakan segitiga USDA dan permeabilitas tanah menggunakan pengukur permeabilitas selanjutnya ditransformasi berdasarkan hubungannya dengan infiltrasi
3	Kerapatan drainase	Menggunakan peta jaringan sungai.
4	Penggunaan Lahan	Interpretasi lapangan, jenis penggunaan lahan aktual di DAS yang bersangkutan (deskriptif)
5	Curah Hujan	Data sekunder hujan harian dari stasiun hujan di DAS yang bersangkutan. Dihitung rata-ratanya, jika lebih dari 1 stasiun hujan dengan Poligon Thiessen.

Sumber : Paimin et al., (2009) dengan modifikasi



Gambar 2. Peta Titik Pengambilan Sampel Sub DAS Samin

2.5. Analisis Data

Identifikasi tingkat kerawanan banjir dilakukan dengan metode penumpang-susunan peta atau map overlay (McHard, 1971; Carpenter, 1979 dalam Permenhut no. 2 tahun 2009). Untuk wilayah yang luas diperlukan sistem digital dengan bantuan komputer dan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG).

Metode analisis yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif terhadap aspek biofisik yang menjadi determinan penyebab kerawanan banjir meliputi kemiringan lereng, tanah, curah hujan, kerapatan drainase dan penggunaan lahan (Aji, et.al, 2014; Matondang et al., 2013; Peraturan Menteri Kehutanan RI Nomor 32 Tahun 2009).

Tahapan analisis data adalah sebagai berikut:

a. Penilaian tingkat kerawanan banjir

Pemberian harkat dan bobot terhadap setiap parameter kerawanan banjir mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia nomor 32 tahun 2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana

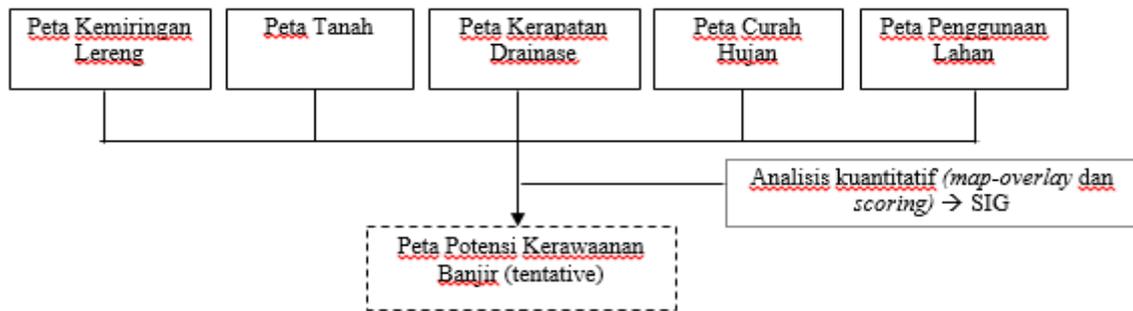
Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS) yang telah dirujuk pada beberapa penelitian yang dilakukan Aji et al. (2014) dan Matondang et al. (2013). Pemberian bobot berbeda-beda dengan memperhatikan seberapa besar pengaruh parameter tersebut terhadap terjadinya banjir. Semakin besar pengaruh parameter terhadap banjir maka nilai bobotnya besar, sebaliknya jika pengaruhnya kecil maka nilai bobot juga kecil (Aji et al., 2014; Matondang et al., 2013; Suharjo dan Rudiyanto, 2015). Klasifikasi harkat, bobot dan skoring parameter banjir disajikan pada Tabel berikut ini.

Tabel 2. Pembobotan untuk parameter kemiringan lereng (%)

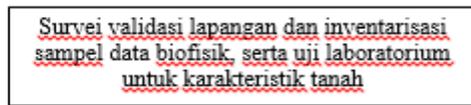
Kelas	Deskripsi	Harkat	Bobot	Skor
0 - 8	Datar	5	5	25
8 - 15	Landai	4	5	20
15 - 25	Bergelombang	3	5	15
25 - 40	Curam	2	5	10
≥ 40	Sangat curam	1	5	5

Sumber: Chow, 1968 dalam Permenhut No.32/2009

Tahap Pra Lapangan



Tahap Lapangan



Tahap Pasca Lapangan



Gambar 3. Alur pikir penelitian

Tabel 3. Pembobotan untuk parameter tanah

Kelas Permeabilitas (cm/jam)	Deskripsi	Harkat	Bobot	Skor
< 0.5	Lambat	5	3	15
0.5 – 2.0	Agak lambat	4	3	12
2.0 – 6.3	Sedang	3	3	9
6.3 – 12.7	Agak cepat	2	3	6
>12.7	Cepat	1	3	3

Sumber: USDA (1951), Hamer (1978) dalam Permenhut No.32/2009

Tabel 4. Pembobotan untuk parameter kerapatan drainase (km/km²)

Kelas	Harkat	Bobot	Skor
<0,62	5	3	15
0,62-1,44	4	3	12
1,45-2,27	3	3	9
2,28-3,10	2	3	6
>3,10	1	3	3

Sumber : Anna *et al.* (2015); Aji *et al.* (2014); Matondang *et al.* (2013)

Tabel 5. Pembobotan untuk parameter penggunaan lahan

Kelas	Harkat	Bobot	Skor
Pemukiman,gedung, sawah	5	2	10
Holtikultura,tegalan, ladang	4	2	8
Semak belukar, padang rumput	3	2	5
Perkebunan	2	2	4
Hutan	1	2	2

Sumber: Chow (1968); Suwardjo (1975); Wiersum dan Ambar (1980), S. Ambar (1986) dalam Permenhut No.32/2009

Tabel 6. Pembobotan untuk parameter curah hujan (mm/th)

Kelas	Harkat	Bobot	Skor
>5500	5	2	10
4500-5500	4	2	8
3500-4500	3	2	6
2500-3500	2	2	4
<2500	1	2	2

Sumber: Wischmeier (1958), Chow (1968), Wiersum dan Supriyo Ambar (1980) dalam Permenhut No.32/2009

Selanjutnya melakukan *map-overlay* (tumpang-susun peta) dan skoring terhadap lima peta parameter kerawanan banjir, untuk pembobotan dan skoring bisa dilihat pada Tabel diatas. Tahap terakhir pembuatan Peta Kerawanan Banjir Sub DAS Samin, Provinsi Jawa Tengah dengan penilaian tingkat kerawanan banjir terbagi menjadi lima kelas/kategori seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin

Kategori	Skor Total
Sangat Rawan	58 – 66
Rawan	50 – 57
Cukup Rawan	42 – 49
Agak Rawan	34 – 41
Tidak Rawan	25 – 33

Sumber : Aji *et al.* (2014); Matondang *et al.* (2013)

b. Analisis aspek biofisik penentu kerawanan banjir

Melakukan analisis korelasi terhadap setiap aspek biofisik yang menjadi penyebab terjadinya banjir di

Sub DAS Samin, digunakan untuk menentukan kuatnya hubungan antara parameter-parameter yang diuji.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penilaian Tingkat Kerawanan Banjir

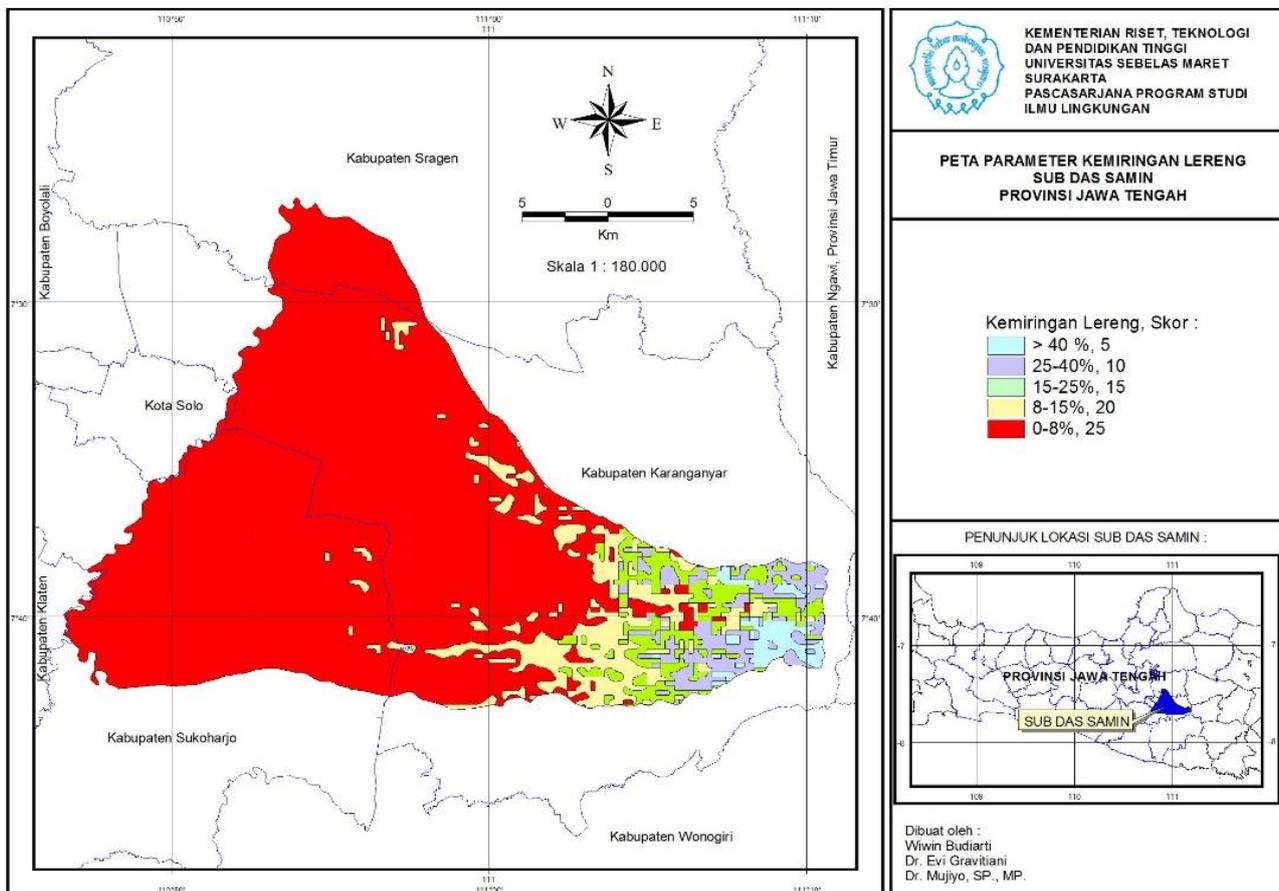
Parameter penentu kerawanan banjir ditinjau berdasarkan aspek biofisik meliputi kemiringan lereng, tanah, kerapatan drainase, penggunaan lahan dan curah hujan.

a. Kemiringan Lereng

Klasifikasi kemiringan lereng akan menentukan prakiraan besarnya curah hujan yang akan menjadi air

permukaan, yang pada akhirnya akan berdampak terhadap debit dan volume air pada suatu sub DAS (Anna *et al.*, 2015).

Hasil pembobotan kondisi kemiringan lereng di Sub DAS Samin disajikan pada Gambar 4, terlihat bahwa sebagian besar berupa lahan datar dengan kemiringan lereng 0-8%. Berdasarkan parameter kemiringan lereng, bisa disimpulkan bahwa Sub DAS Samin memiliki tingkat kerawanan banjir tinggi. Hal ini sependapat dengan yang diungkapkan Suharjo dan Rudiyanto, (2015); BPBD Kabupaten Sukoharjo, (2015); dan Paimin *et al.*, (2009) bahwa kondisi geomorfologi seperti dataran alluvial, lembah alluvial, kelokan sungai dan rawa-rawa merupakan daerah yang rawan banjir karena merupakan daerah rendah atau cekungan dengan lereng <2%.



Gambar 4. Peta Kemiringan Lereng Sub DAS Samin

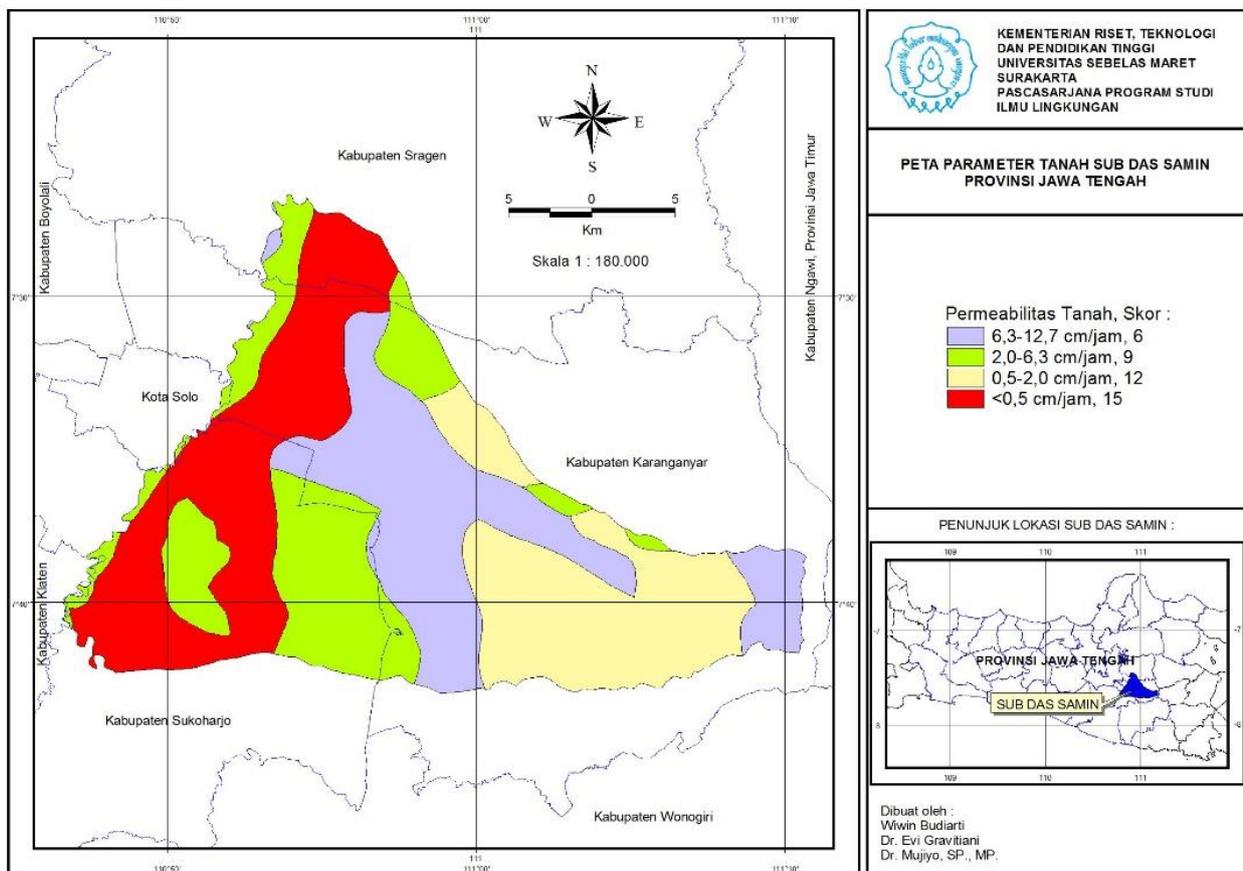
b. Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah merupakan kondisi yang mencerminkan mudah atau tidaknya curah hujan meresap ke dalam tanah (infiltrasi). Hal ini berkaitan erat dengan sifat fisik tanah yaitu tekstur dan permeabilitas (Anna *et al.*, 2015). Tekstur tanah digunakan untuk sifat tanah dalam kemampuannya meresapkan air hujan. Permeabilitas ini digunakan untuk menentukan kecepatan meresapkan air hujan (cm/jam).

Hasil analisis karakteristik tanah bisa dilihat pada Tabel 8. Terdapat 11 jenis tanah yang tersebar di wilayah Sub DAS Samin. Jenis tanah alluvial, grumusol, mediteran coklat paling mendominasi tersebar di wilayah hilir, sedangkan untuk jenis tanah andosol dan latosol coklat hanya sebagian kecil dan tersebar di wilayah hulu Sub DAS. Hasil pengujian terhadap tekstur tanah dan angka permeabilitas tanah di Sub DAS Samin bervariasi antara lambat sampai agak cepat dengan nilai permeabilitas berkisar antara 0,01 – 10,94 cm/jam.

Tabel 8. Karakteristik tanah di Sub DAS Samin

Jenis Tanah	Karakteristik		Deskripsi
	Tekstur	Permeabilitas (cm/jam)	
Komplek andosol coklat & litosol	Pasir berlempung	10,94	Agak cepat
Andosol coklat kekuningan	Lempung berpasir	0,25	Lambat
Latosol coklat	Lempung berpasir, lempung berliat	10,85	Agak cepat
Latosol coklat kemerahan	Liat, liat berdebu	0,53	Agak lambat
Mediteran coklat	Lempung liat berpasir	4,67	Sedang
Regosol kelabu	Lempung berpasir	2,55	Sedang
Regosol coklat kekelabuan	Lempung berliat	0,02	Lambat
Mediteran coklat kekelabuan	Lempung	0,02	Lambat
Asosiasi grumusol kelabu tua & mediteran coklat kemerahan	Lempung berliat	0,25	Lambat
Grumusol kelabu tua	Lempung berdebu	0,03	Lambat
Alluvial coklat kekelabuan	Liat	0,02	Lambat



Gambar 5. Peta Jenis Tanah Sub DAS Samin

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa pada bagian hulu memiliki permeabilitas agak cepat, diwakili daerah Blumbang dengan jenis tanah andosol coklat memiliki tekstur pasir berlempung dengan permeabilitas 10,94 cm/jam dan sebagian daerah Tawangmangu dengan jenis tanah latosol coklat memiliki tekstur lempung berpasir dengan permeabilitas 10,85 cm/jam namun juga terdapat sebagian daerah dengan permeabilitas agak lambat. Permeabilitas sedang sampai lambat ditemui di bagian tengah dan hilir.

Tekstur tanah berpengaruh terhadap permeabilitas tanah. Jenis tanah dengan tekstur halus dan permeabilitas kecil/lambat maka tingkat infiltrasi

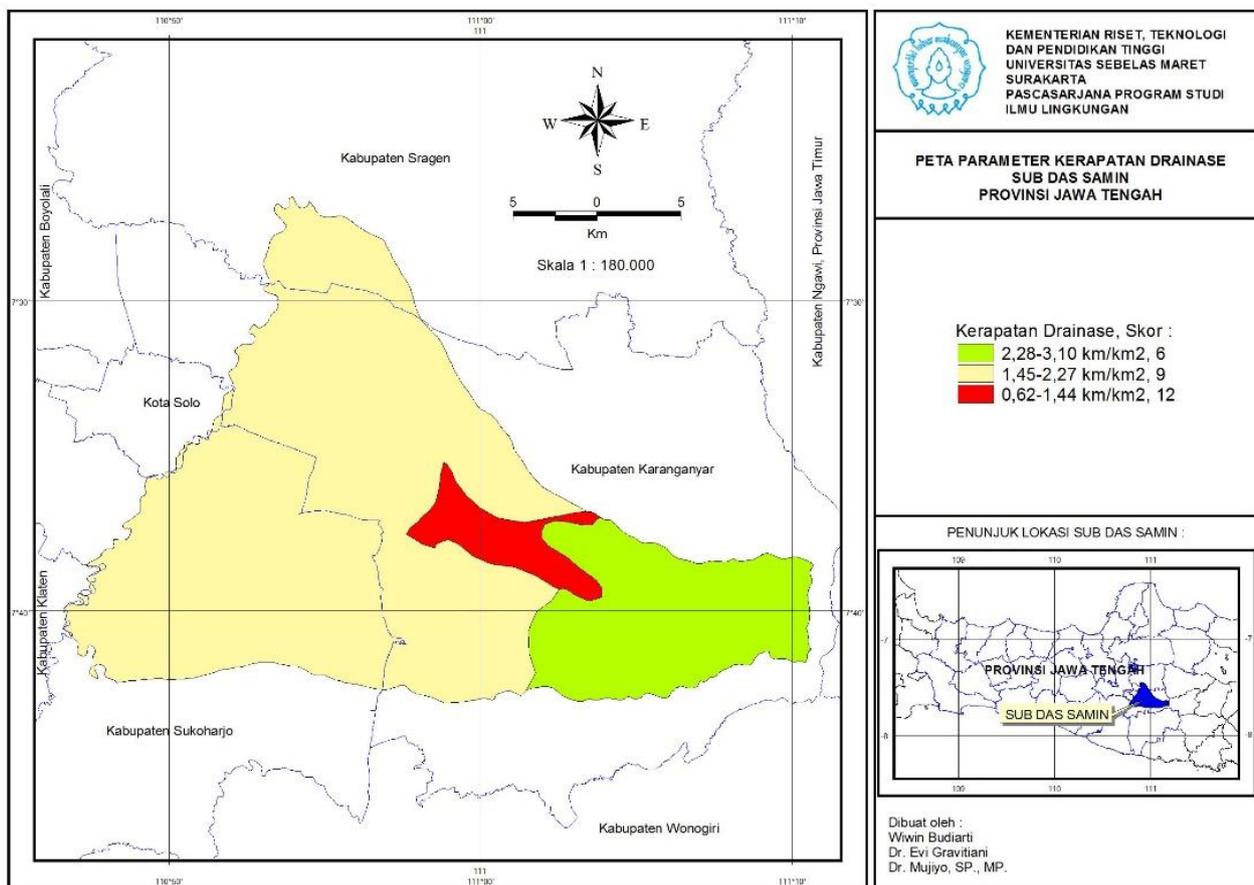
semakin kecil sehingga potensi terjadi genangan/banjir sangat tinggi. Hal ini serupa dengan Suripin (2004), yang mengatakan jika tanah dengan tekstur halus memiliki tingkat infiltrasi rendah sehingga menimbulkan aliran permukaan meningkat. Begitu juga dalam Peraturan Menteri Kehutanan RI Nomor 32 Tahun 2009, bahwa semakin besar tingkat resapan (infiltrasi) maka semakin kecil tingkat air larian, sehingga debit banjir dapat menurun dan sebaliknya aliran dasar (*base-flow*) dapat naik. Karakteristik tanah seperti ini bisa menyebabkan wilayah sub DAS Samin memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi.

Jenis tanah dengan kandungan pasir yang lebih besar memiliki kemampuan meloloskan air ke dalam tanah lebih besar. Namun pada penelitian ini dijumpai jenis tanah yang memiliki tekstur sama namun angka permeabilitas berbeda. Hanafiah (2005), menyebutkan bahwa tekstur tanah yang mengandung persentase pasir cukup besar akan mudah melewati air ke dalam tanah. Tetapi kemampuan tanah meloloskan air tidak hanya bergantung pada tekstur tanah, melainkan juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti porositas, bahan organik dan kontinuitas pori-pori tanah.

Berdasarkan parameter karakteristik tanah yang menginformasikan mengenai tekstur dan permeabilitas tanah, mengindikasikan bahwa sebagian wilayah Sub DAS Samin memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi.

c. Kerapatan Drainase

Hasil analisis parameter kerapatan drainase ditunjukkan pada Gambar 6, bahwa wilayah Sub DAS Samin memiliki kerapatan drainase berkisar antara 0,62-1,44 km/km² (19,47%) dan 1,45-2,27 km/km² (75,74%) dan sebagian besar terletak di bagian tengah dan hilir. Hal ini bisa diakibatkan karena penggunaan lahan yang tidak sesuai untuk peruntukannya sehingga tanah tidak berfungsi secara optimal untuk menyerap air masuk ke dalam pori-pori tanah, melainkan hanya sebagai media untuk mengalirkan air hujan yang turun. Situngkir (2016), memaparkan hasil penelitiannya bahwa kondisi kerapatan drainase yang buruk karena lahan padat, rumput gulma dan sedimen di kanal drainase dan kapasitas drainase yang tidak memadai karena dimensinya kecil menjadi penyebab terjadinya banjir di Gedongtataan, Provinsi Lampung. Berdasarkan parameter kerapatan drainase bisa disimpulkan bahwa wilayah Sub DAS Samin memiliki tingkat kerawanan banjir sedang sampai tinggi.



Gambar 6. Peta Kerapatan Drainase Sub DAS Samin

d. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan salah satu parameter penting dalam penentuan tingkat kerawanan banjir. Disebutkan dalam Peraturan Menteri Kehutanan RI Nomor 32 Tahun 2009, bahwa tipe penggunaan lahan, khususnya tipe vegetasi penutup tanah, sangat berpengaruh terhadap infiltrasi melalui kemampuan perakaran dan pori-pori memperbesar permeabilitas

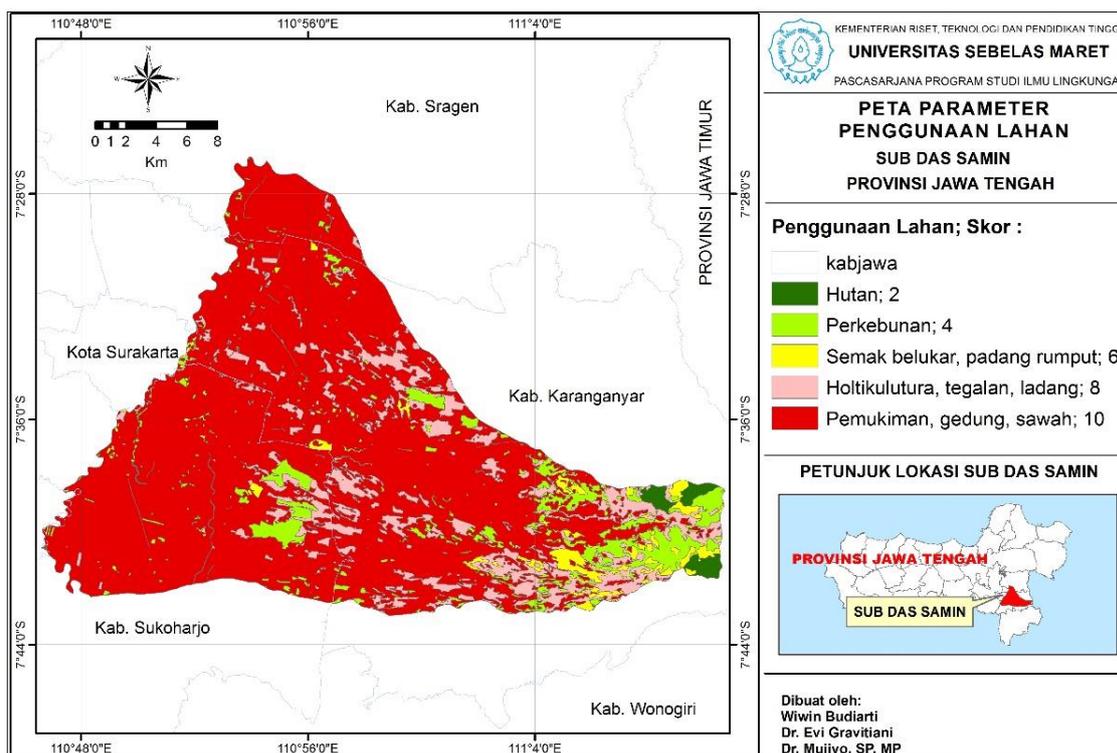
tanah, vegetasi menahan *run-off* dan vegetasi mengurangi jumlah air perkolasi melalui transpirasi.

Berdasarkan analisis spasial peta penggunaan lahan dan kecocokan hasil interpretasi di lapangan, bahwa terdapat beberapa tipe penggunaan lahan di wilayah Sub DAS Samin berupa pemukiman, gedung, sawah, rawa, rumput, tegalan, semak/belukar, kebun dan hutan bisa dilihat pada Gambar 7. Tipe penggunaan lahan berupa sawah irigasi, pemukiman

dan tegalan paling mendominasi yaitu sebesar 55.817,72 Ha (87,91%) yang tersebar merata dari bagian hulu ke hilir, sedangkan tipe penggunaan lahan hutan dan kebun hanya sebesar 6.595,12 Ha (10,39%) berada di bagian hulu dan sisanya berupa gedung, rawa, rumput. Kondisi luas tutupan lahan hutan di sub DAS Samin belum sesuai dengan yang diamanatkan dalam Undang-Undang Republik Indonesia No 41 Tahun 1999 yaitu hanya sebesar 10,39%, hal ini menunjukkan bahwa DAS tidak bisa berfungsi secara optimal baik dari segi lingkungan, sosial maupun ekonomi sehingga fungsi hidrologis tidak berjalan baik. Sudaryanto (2010), juga mengungkapkan bahwa bagian hulu sub DAS Samin yang merupakan kawasan hutan lindung sudah banyak dikonversi menjadi kawasan budidaya pertanian sehingga mengakibatkan kawasan lindung sub DAS Samin tidak bisa mempertahankan fungsinya sebagai pengatur tata air. Wuryanta (2015), menambahkan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan arahan fungsi pemanfaatan lahan mengakibatkan kerusakan lingkungan DAS. Kondisi penggunaan lahan yang demikian menyebabkan wilayah Sub DAS Samin

rawan terjadi banjir. Sebab kondisi penutupan lahan berupa hutan merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya banjir (Paimin *et al.*, 2009), sehingga dengan banyaknya alih fungsi kawasan hutan meningkatkan ancaman banjir di Sub DAS Samin.

Penggunaan lahan berupa lahan terbuka, pemukiman, sawah, sungai, waduk dan rawa memiliki nilai koefisien limpasan permukaan yang besar, karena air hujan yang jatuh langsung dialirkan menjadi limpasan permukaan sehingga resiko terjadinya banjir menjadi besar, sebaliknya penggunaan lahan berupa hutan rapat akan memperkecil limpasan permukaan dan resiko terjadi banjir menjadi kecil. Menurut Anna, *et.al.* (2010), bahwa telah terjadi alih fungsi lahan di daerah Sukoharjo periode 1997 dan 2002 berakibat meningkatkan nilai koefisien limpasan dan menurunkan kapasitas resapan air. Berdasarkan parameter penggunaan lahan dapat disimpulkan bahwa sebagian besar wilayah di Sub DAS Samin memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi.



Gambar 7. Peta Penggunaan Lahan Sub DAS Samin

e. Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu parameter penyebab terjadi banjir, secara potensial infiltrasi akan lebih besar jika intensitas hujan besar dalam periode waktu yang panjang. Besar intensitas curah hujan dan kemiringan lereng menentukan rawan atau tidaknya suatu daerah terjadi banjir (Aji *et al.*, 2014). Sejalan dengan Paimin *et al.* (2009), banjir besar terjadi apabila air hujan cukup tinggi dan jatuh tersebar merata di seluruh daerah tangkapan air, lalu berubah

menjadi limpasan permukaan yang terkumpul secara cepat pada suatu *outlet*.

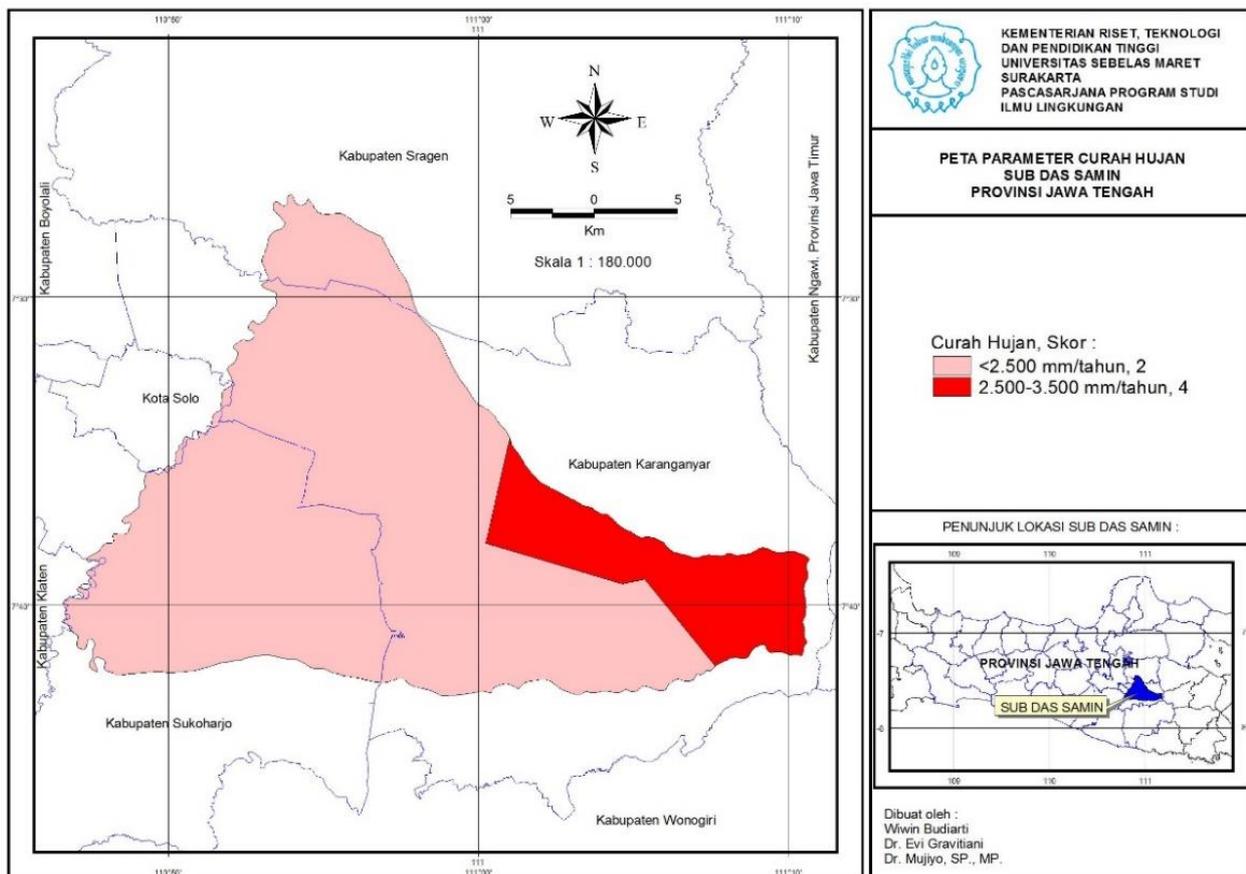
Hasil analisis terhadap data curah hujan selama 10 tahun terakhir (2006-2016), menunjukkan bahwa wilayah Sub DAS Samin memiliki curah hujan rendah sampai sedang terlihat pada Gambar 8. Dalam proses resapan, sebagian air hujan akan meresap kedalam tanah (*infiltrasi*) dan sebagian menjadi aliran larian (*run off*). Jumlah curah hujan di wilayah Sub DAS Samin tergolong rendah sampai sedang namun

memiliki kerawanan banjir tinggi bisa disebabkan karena karakteristik tanah yang sebagian besar memiliki permeabilitas tanah tergolong lambat seperti yang sudah dipaparkan diatas. Suripin (2004) dalam bukunya juga mengungkapkan, terjadi tidaknya aliran permukaan dipengaruhi oleh dua sifat tanah yaitu kapasitas infiltrasi dan permeabilitas, bilamana kapasitas infiltrasi dan permeabilitas besar seperti pada tanah berpasir yang mempunyai kedalaman lapisan kedap yang dalam, walaupun dengan curah hujan yang lebat kemungkinan untuk terjadi aliran permukaan kecil sedangkan tanah-tanah bertekstur halus akan menyerap air sangat lambat, sehingga curah hujan yang cukup rendah mampu menimbulkan aliran permukaan.

f. Tingkat Kerawanan Banjir

Berdasarkan hasil analisis penilaian tingkat kerawanan banjir di wilayah Sub DAS Samin, terdapat

lima kelas kerawanan banjir di Sub DAS Samin yaitu kategori “tidak rawan” seluas 2.188,44 Ha (3,45 %), “agak rawan” seluas 3.194,17 Ha (5,03 %), “cukup rawan” seluas 5.379,17 Ha (8,47 %), “rawan” seluas 31.006,51 Ha (48,83 %) dan “sangat rawan” seluas 21.726,56 Ha (34,22 %). Tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin didominasi kategori “rawan” sampai “sangat rawan” banjir yaitu dengan total sebesar 52.733,07 Ha (83,05 %). Secara keseluruhan tingkat rawan - sangat rawan banjir tersebar di bagian tengah dan hilir sub DAS Samin diantaranya Kecamatan Polokarto, Sukoharjo, Mojolaban, Bendosari, Masaran, Jumantono, Karanganyar, Kebakkramat, Jaten, Jumapolo. Sedangkan tingkat agak rawan – tidak rawan banjir berada di wilayah hulu sub DAS yaitu Kecamatan Tawangmangu, Jatiyoso, Nargoyoso.



Gambar 8. Peta Curah Hujan Sub DAS Samin

Sebelumnya Budiarti *et al.* (2016), telah melakukan analisis pra lapang menggunakan perangkat SIG dalam penelitian pendahuluannya menyatakan bahwa tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin termasuk dalam lima kategori hanya saja yang membedakan adalah luasan area yaitu tidak rawan seluas 1.656,5 ha (2,61%), agak rawan seluas 3.194,8 Ha (5,03%), cukup rawan seluas 4.816,8 Ha (7,59%), rawan seluas 32.298,7 Ha (50,87%) dan sangat rawan seluas 21.528,0 Ha (33,91%). Terdapat perbedaan hasil luasan ini disebabkan pada penelitian ini dilakukan

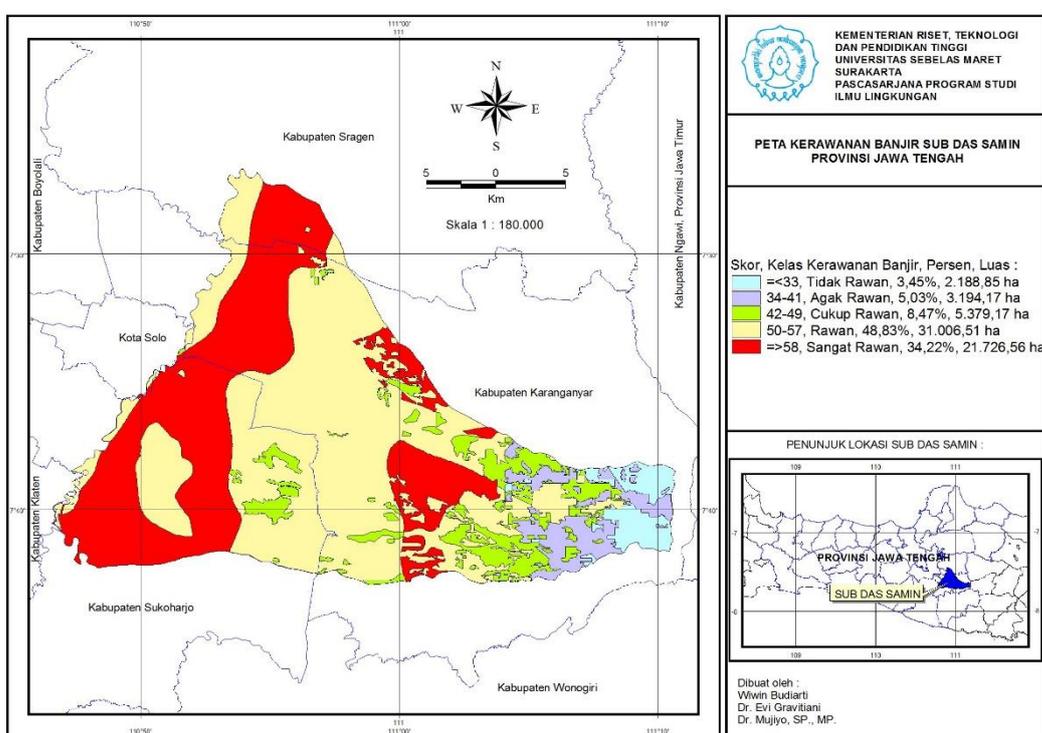
analisis lebih lanjut dengan melakukan survey dan validasi kondisi aktual di lapangan terhadap faktor-faktor biofisik yang berpengaruh serta uji laboratorium untuk parameter tanah, sehingga didapatkan peta kerawanan banjir aktual Sub DAS Samin seperti pada Gambar 9. Beberapa faktor yang mempengaruhi adanya perbedaan luas tingkat kerawanan banjir tersebut diantaranya adalah parameter kemiringan lereng, tanah dan curah hujan dimana terdapat beberapa perbedaan terhadap hasil validasi dan pengamatan di lapangan.

3.2. Aspek Biofisik Penentu Kerawanan Banjir

Secara keseluruhan, hasil analisis karakteristik aspek biofisik terhadap kerawanan banjir di Sub DAS Samin, menunjukkan bahwa kondisi topografi dominan datar dengan kemiringan lereng 0-8 % dan penggunaan lahan sebagian besar berupa sawah/lahan pertanian serta kerapatan drainase merupakan faktor dominan penyebab tingginya tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin. Hal ini dikuatkan hasil kajian Sudaryanto (2010), yang menyebutkan DAS Samin merupakan penyumbang limpasan permukaan (*runoff*) besar ke Bengawan Solo, disebabkan telah terjadi konversi penggunaan lahan kawasan lindung di bagian hulu menjadi lahan sawah/pertanian sehingga mempengaruhi fungsinya sebagai pengatur tata air

dalam ekosistem DAS. Hasil penelitian Yulianti *et al.* (2016), menyebutkan daerah sub DAS Batanghari hilir (Kota Jambi) dan sub DAS Batangtembesi (Kabupaten Kerinci) hampir tidak memiliki kawasan untuk resapan air sehingga merupakan daerah rawan banjir, sebab penggunaan lahan didominasi oleh lahan permukaan kedap air seperti daerah pemukiman dan olahan terbuka tanpa tanaman penutup.

Hasil analisis korelasi dari kelima aspek biofisik terhadap tingkat kerawanan banjir di wilayah Sub DAS Samin, menunjukkan bahwa parameter kemiringan lereng, kerapatan drainase, dan penggunaan lahan adalah paling dominan menentukan tingkat kerawanan banjir tersebut seperti disajikan pada Tabel 9.



Gambar 9. Peta Kerawanan Banjir Aktual di Sub DAS Samin

Tabel 9. Korelasi aspek biofisik terhadap kerawanan banjir di Sub DAS Samin

No	Parameter	Hasil Korelasi
1	Kemiringan lereng	(R = -0,87 p <0,01; n = 472)
2	Tanah	(R = 0,21 p <0,01; n = 472)
3	Kerapatan drainase	(R = 0,63 p <0,01; n = 472)
4	Penggunaan lahan	(R = 0,58 p <0,01; n = 472)
5	Hujan	(R = -0,43 p <0,01; n = 472)

Kemiringan lereng berkorelasi sangat nyata negatif terhadap tingkat kerawanan banjir, yang berarti pada daerah dengan topografi datar memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi, sebaliknya pada daerah sangat curam memiliki tingkat kerawanan banjir rendah.

Kerapatan drainase berkorelasi sangat nyata positif dengan tingkat kerawanan banjir. Pada daerah dengan kerapatan drainase tinggi maka tingkat kerawanan tinggi, sebaliknya untuk daerah kerapatan drainase

rendah maka tingkat kerawanan rendah. Hal ini disebabkan pada daerah hilir walaupun kerapatan drainase tinggi tetapi ukuran saluran drainase kecil-kecil, sehingga kurang mampu mengalirkan debit air.

Tipe penggunaan lahan (dari hutan ke pemukiman, gedung, sawah) berkorelasi sangat nyata positif dengan tingkat kerawanan banjir. Tipe penggunaan lahan berupa hutan memiliki tingkat kerawanan banjir yang rendah, sedangkan penggunaan lahan berupa pemukiman, gedung, sawah menyebabkan tingkat kerawanan banjir tinggi. Kawasan hutan perlu dipertahankan keberadaan dan fungsinya sehingga mampu menjaga peresapan air dan mengurangi tingkat kerawanan (Suryanta dan Nahib, 2016).

Intensitas hujan berkorelasi nyata negatif dengan tingkat kerawanan banjir. Hal ini disebabkan pada daerah hulu walaupun intensitas curah hujan tinggi tetapi karena faktor kemiringan lereng yang curam

menyebabkan tingkat kerawanan banjir rendah. Pada daerah hilir walaupun intensitas curah hujan rendah tetapi karena faktor kemiringan lereng yang datar menyebabkan tingkat kerawanan banjir tinggi.

Kondisi tanah di daerah penelitian tidak nyata mempengaruhi tingkat kerawanan banjir. Namun tanah merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan untuk pengendalian banjir, seperti yang diungkapkan oleh Yulianti *et al.* (2016) bahwa sifat permeabilitas tanah dan infiltrasi merupakan hal penting dalam upaya konservasi untuk pengendalian banjir.

Dengan adanya penilaian dan tersedianya peta kerawanan banjir di wilayah Sub DAS Samin serta menggabungkan dengan hasil analisis aspek biofisik lahan sebagai penyebab banjir maka bisa membangun sistem peringatan dini guna pengurangan resiko (mitigasi) dan dasar rancangan strategi penanggulangan banjir. Sebab suatu daerah sulit dikatakan bebas dari bencana banjir karena kemungkinan terjadi debit yang sama atau bahkan melampaui debit akan selalu ada dalam setiap tahunnya, sehingga upaya yang perlu dilakukan dalam menanggulangi banjir adalah meminimalkan dampak/resiko yang ditimbulkan akibat bencana banjir (Farid, 2010) diawali dengan tersedianya peta kerawanan banjir.

Kegiatan pengendalian banjir akan lebih efektif jika dilakukan secara komprehensif dan terpadu dengan memperhatikan faktor-faktor dominan penyebab terjadinya banjir. Berdasarkan hasil analisis aspek biofisik lahan, maka perlu dirancang upaya pengendalian banjir dengan melakukan konservasi DAS bisa melalui rekayasa secara vegetatif, rekayasa secara sipil teknis maupun kombinasi keduanya sesuai kemampuan kawasan dalam resapan air, perbaikan drainase serta perlu perbaikan penutupan lahan guna meningkatkan infiltrasi tanah dan mengurangi limpasan permukaan. Disamping itu yang terpenting adalah sosialisasi daerah rawan banjir dan pemahaman konservasi bahwa dengan alih fungsi lahan yang tidak bertanggungjawab dalam ekosistem DAS menyebabkan menurunnya daya dukung DAS yang bisa dilihat dari terjadinya banjir di musim hujan dan kurangnya potensi air di musim kemarau serta pemberdayaan masyarakat.

4. Kesimpulan

Hasil analisis penilaian tingkat kerawanan banjir di wilayah Sub DAS Samin, terdapat lima kelas kerawanan banjir di Sub DAS Samin yaitu kategori “tidak rawan” seluas 2.188,44 Ha (3,45 %), “agak rawan” seluas 3.194,17 Ha (5,03 %), “cukup rawan” seluas 5.379,17 Ha (8,47 %), “rawan” seluas 31.006,51 Ha (48,83 %) dan “sangat rawan” seluas 21.726,56 Ha (34,22 %). Tingkat kerawanan banjir di Sub DAS Samin didominasi kategori “rawan” sampai “sangat rawan” banjir yaitu dengan total sebesar 52.733,07 Ha (83,05 %). Secara keseluruhan tingkat

rawan – sangat rawan banjir tersebar di bagian tengah dan hilir sub DAS Samin diantaranya Kecamatan Polokarto, Sukoharjo, Mojolaban, Bendosari, Masaran, Jumantono, Karanganyar, Kebakkramat, Jaten, Jumapolo. Sedangkan tingkat agak rawan – tidak rawan banjir berada di wilayah hulu yaitu Kecamatan Tawangmangu, Jatiyoso, Ngargoyoso.

Hasil analisis hubungan faktor-faktor penyebab banjir menunjukkan bahwa aspek biofisik yang dominan menjadi penyebab kerawanan banjir di sub DAS Samin yaitu kemiringan lereng, penggunaan lahan dan kerapatan drainase. Kondisi wilayah Sub DAS Samin sebagian besar memiliki topografi dominan dataran dengan kemiringan lereng 0-8 %, dengan tipe penggunaan lahan sebagian besar berupa sawah/lahan pertanian, pemukiman dan gedung serta kondisi kerapatan drainase yang buruk.

Berdasarkan hasil tersebut maka rekomendasi dari penelitian ini adalah perlu merancang strategi pengendalian banjir dengan melakukan konservasi DAS bisa melalui rekayasa secara vegetatif, rekayasa secara sipil teknis maupun kombinasi antara keduanya; melihat kondisi luas tutupan hutan di sub DAS Samin hanya sebesar 10,39% dari luas DAS maka perlu dilakukan perbaikan penutupan lahan bisa melalui penanaman vegetasi permanen sesuai dengan karakteristik lahan maupun pengembangan pola agroforestry, hal ini juga untuk memulihkan luas kawasan hutan minimal 30% dari luas DAS sesuai yang diamanatkan dalam Undang-Undang Republik Indonesia No 41 Tahun 1999 sehingga fungsi hidrologis berjalan baik; rehabilitasi kawasan hutan lindung dan penerapan system agroforestry secara partisipatif untuk mengatasi alih fungsi hutan dan lahan khususnya di daerah hulu karena disamping untuk mempertahankan keberadaan dan fungsi hutan juga meningkatkan produktivitas; pembuatan sumur resapan bioretensi di halaman rumah/kantor, selokan, gang perumahan maupun taman sehingga mampu mengendalikan limpasan dan banjir sekaligus memanen air hujan.

Dengan memetakan dan melakukan penilaian daerah kerawanan banjir di wilayah Sub DAS Samin serta menggabungkan dengan hasil analisis aspek biofisik penyebab banjir maka bisa membangun sistem peringatan dini guna pengurangan resiko (mitigasi) dan dasar rancangan strategi penanggulangan banjir. Untuk memperoleh strategi penanggulangan banjir yang lebih komprehensif maka juga diperlukan analisis aspek sosial ekonomi masyarakat yang merupakan kajian lanjutan dari penelitian ini.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada PusdiklatSDM KLHK atas dukungan biaya penelitian, serta kepada suami saya (Dhidhit Suryono) dan adik-adik S1 Agroteknologi UNS (Aziz, Dio, Idam, Adi, Angga dan

Azhar) atas semangat dan bantuannya dalam pengambilan data di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] Aji, M.D., B. Sudarsono, dan B. Sasmito, 2014. Identifikasi Zona Rawan Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Sub DAS Dengkeng). *Jurnal Geodesi Undip*. 3(1), pp. 36–50.
- [2] Anna, A.N., R. Kaeksi, dan W. Astuti, 2010. Analisis Karakteristik Parameter Hidrologi Akibat Alih Fungsi Lahan di Daerah Sukoharjo melalui Citra Landsat Tahun 1997 dengan Tahun 2002. *Forum Geografi*. 24(1), pp. 57–72.
- [3] Anna, A.N., Suharja, dan Y. Priyana, 2015. Kajian biofisik lahan untuk penilaian kerentanan banjir di DAS Bengawan Solo Hulu. In *University Research Colloquium 2015 Fakultas Geografi UMS*, pp. 9-17.
- [4] Asdak, C., 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (Revisi II). Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- [5] BPBD Kabupaten Sukoharjo, 2015. *Penyusunan Dokumen Risiko Bencana Kabupaten Sukoharjo 2015*. Sukoharjo: Asca Amoghasida Engineering Consultant.
- [6] bpbjatang.info. (n.d.). <http://bpbjatang.info/aktivitas-laporan-bencana/54-banjir>.
- [7] Budiarti, W., E. Gravitiani, dan Mujiyo, 2016. Identifikasi Daerah Rawan Banjir di Sub DAS Samin Menggunakan SIG Sebagai Dasar Mitigasi Bencana. In S. Utaya, D. Liesnoor, dan M. Chatarina (Eds.), *Pemanfaatan Informasi Geospasial Untuk Peningkatan Sinergi Pengelolaan Lingkungan Hidup* (pp. 495–503). Surakarta: S2 PKLH UNS, BIG, & KLHK RI.
- [8] Direktorat Pengelolaan DAS. Dirjen RLPS. Departemen Kehutanan, 2008. *Rencana Tindak DAS Melalui RHL DI Bagian Hulu DAS Solo Dalam Rangka PEngendalian Banjir dan Tanah Longsor*.
- [9] Farid, M., 2010. *Banjir: Proses, Karakteristik dan Upaya Mengatasinya*. Inovasi Online. 18.
- [10] Hanafiah, A. K., 2005. *Dasar - Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- [11] Keputusan Menteri Kehutanan RI No SK. 328/Menhut-II/2009. *Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas*.
- [12] Kingma, N.C., 2004. *Natural Hazard Studies: Geomorphological Aspects of Flood Hazard*. The Netherlands, ITC.
- [13] Maridi, Agustina, P., and Saputra, A., 2014. Vegetation analysis of Samin watershed , Central Java as water and soil conservation efforts. *Biodiversitas*. 15(2), pp. 215–223.
- [14] Matondang, J.P., S. Kahar, and B. Sasmito, 2013. Analisis Zonasi Daerah Rentan Banjir dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kota Kendal dan Sekitarnya). *Jurnal Geodesi Undip*. 2, pp. 103–113.
- [15] Nugraha, S., S. RI, dan R. Utomowati, 2013. Model Arahan Penggunaan Lahan Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Alam Melalui Pendekatan Morfokonservasi di Daerah Aliran Sungai Samin Kabupaten Karanganyar. *Forum Geografi*, 27(2), pp. 115–122.
- [16] Nugroho, S.P., 2015. *Seminar Nasional Restorasi DAS: Mencari Keterpaduan di Tengah Isu Perubahan Iklim. In Relevansi Meningkatkan Bencana Hidrometeorologi Terkait Kerusakan DAS di Indonesia*. Surakarta, Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan DAS, Program Pasca Sarjana UNS, Fakultas Geografi UMS. pp. 3–23.
- [17] Nugroho, S.P., and T. Prayogo, 2008. *Penerapan SIG untuk Penyusunan dan Analisis Lahan Kritis Pada Satuan Wilayah Pengelolaan DAS Agam Kuantan, Provinsi Sumatera Barat*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 9(2), pp. 130–140.
- [18] Paimin, Sukresno, dan I.B. Pramono, 2009. *Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor*. Balikpapan, Tropenbos International Indonesia Programme.
- [19] Peraturan Menteri Kehutanan RI Nomor 32 Tahun 2009. *Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTKRHL-DAS)*.
- [20] Purwandari, T., M.P. Hadi, and N.C. Kingma, 2011. *A GIS Modelling Approach for Flood Hazard Assessment in Part of Surakarta City, Indonesia*. *Indonesian Journal of Geography*. 43(1), pp. 63–80.
- [21] Puturu, F., 2015. *Mitigasi Bencana dan Penginderaan Jauh* (Cetakan I). Yogyakarta, Graha Ilmu.
- [22] Situngkir, A.M., 2016. *Evaluation and Improvement of Drainage Performance in Gedongtataan, Lampung Using Duflow Modeling Studio*. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 6(2), pp. 111–121.
- [23] Sudaryanto, R., 2010. *Analisis Penggunaan Lahan Pertanian di Kawasan Lindung DAS Samin Untuk Mitigasi Bencana Longsor dan Banjir*. *Sains Tanah – Jurnal Ilmu Tanah Dan Agroklimatologi*. 7(1), pp. 41–50.
- [24] Suharjo, dan Rudyanto, 2015. *Peran Geomorfologi Dalam Kajian Kerawanan Banjir di DAS Bengawan Solo*. In *Seminar Nasional Restorasi DAS: Mencari Keterpaduan di Tengah Isu Perubahan Iklim* (pp. 433–442). Surakarta, BPTKPDAS, Pasca Sarjana UNS, & Fakultas Geografi UMS.
- [25] Suripin, 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air* (ED.II). Yogyakarta, Andi Offset.
- [26] Suryanta, J., dan I. Nahib, 2016. *Spatial Planning Evaluation using Disaster based Analysis in Kudus District , Central of Java*. *Majalah Ilmiah Globe*. 18(1), pp. 33–42.
- [27] *Undang-Undang Republik Indonesia No 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan*.
- [28] Vinay, M., Ramu, dan B. Mahalingam, 2015. *Quantification of Soil Erosion by Water Using GIS and Remote Sensing Techniques: A Study of Pandavura Taluk, Mandya District, Karnataka, India*. *ARPN Journal of Earth Sciences*. 4(2), pp. 103–110.
- [29] Wuryanta, A., 2015. *Arahan Fungsi Pemanfaatan Lahan Berbasis Daerah Aliran Sungai Sebagai Upaya Pelestarian Lingkungan (Studi Kasus di Sub DAS Samin ds)*. In *Prosiding Seminar Nasional Innovation in Environmental Management* (p. V-1-V-5). Semarang, Diponegoro University; Queensland University.
- [30] Yulianti, M., Apip, dan L. Subehi, 2016. *Analisis Spasial Laju Infiltrasi dan Permeabilitas Tanah Sebagai Dasar Konservasi Air di DAS Batanghari*. In *Prosiding Seminar Nasional Peran Pengelolaan DAS untuk Mendukung Ketahanan Air*. Surakarta: BP2TPDAS, PPS UNS, FG UMS. pp. 162–177.
- [31] Zein, M., 2010. *A Community-Based Approach to Flood Hazard And Vulnerability Assessment in FloodProne Areas: A Case Study in Kelurahan Sewu, Surakarta City-Indonesia*. Gadjah Mada University (UGM) and International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation (ITC The Netherlands).