

Penentuan Prioritas Penanganan Banjir Genangan Berdasarkan Tingkat Kerawanan Menggunakan *Topographic Wetness Index*: Studi Kasus di DAS Solo

Arina Miardini¹, Grace Serepina Saragih²

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai; e-mail: arinamiardini@gmail.com

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan

ABSTRAK

Peningkatan frekuensi kejadian banjir merupakan salah satu indikasi ketidakberhasilan pengelolaan DAS. Kegiatan pemanfaatan sumberdaya alam di DAS Solo cenderung intensif dari hulu sampai hilir, hal ini mengakibatkan penurunan daya dukung DAS. Untuk mengembalikan daya dukung DAS diperlukan upaya monitoring dan evaluasi DAS. Tahap awal yang perlu dilakukan adalah memastikan ketepatan penanganan pada daerah rawan banjir dengan penentuan daerah prioritas. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui daerah prioritas penanganan banjir di DAS Solo (Sub DAS Kali Madiun- Sub DAS Solo Hilir) berdasarkan tingkat kerawanan banjir. Kerawanan banjir dipengaruhi oleh kondisi topografi yang berhubungan dengan akumulasi aliran sehingga pada penelitian ini digunakan metode *Topographic Wetness Index* (TWI) untuk menentukan daerah rawan banjir. Nilai TWI tinggi menunjukkan bahwa daerah memiliki kerawanan banjir yang tinggi dan berasosiasi dengan topografi datar dengan kerapatan aliran yang tinggi. Metode ini berbasis data raster dengan data berasal dari DEM (*Digital Elevation Model*) 30 m yang diturunkan menjadi lereng melalui *spatial analysis tools* dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) dianalisis menggunakan *Watershed Delineation Tools* (WDT). Berdasarkan hasil analisis, prioritas penanganan banjir ditentukan pada daerah kriteria rawan-sangat rawan dengan TWI 11.65-38.30 yang teridentifikasi sebesar 387098.23 ha (39.68%). Penanganan banjir di DAS Solo diprioritaskan pada 1) Kabupaten Bojonegoro seluas 105215.13 ha 2) Ngawi (56810.68 ha), 3) Madiun (44102.06 ha), 4) Tuban seluas 43072.06 ha, dan 5) Ponorogo (35853.62 ha).

Kata kunci: prioritas, kerawanan, banjir, *topographic wetness index*, DAS Solo

ABSTRACT

The increasing frequency of flood events is an indication of the failure of watershed management. Natural resource utilization activities in the Solo watershed tend to be intensive from upstream to downstream, cause a decrease in the carrying capacity of the watershed. To restore the carrying capacity of the watershed, efforts are needed to monitor and evaluate watersheds. The initial stage that needs to be done is to ensure the accuracy of the flood-prone areas by determining priority areas. The purpose of the study is to determine the flood-prone areas in the Solo watershed (Kali Madiun-Downstream Solo Sub Watershed) based on the level of flood vulnerability. Flood vulnerability is influenced by topographic conditions. The Topographic Wetness Index (TWI) method was used to determine the flood-prone areas. The high TWI value indicates that the area has high flood vulnerability and is associated with flat topography with high flow density. This method is based on raster data was derived from DEM 30 m data which is reduced to slope through spatial analysis tools and the accumulation flow is analyzed using Watershed Delineation Tools (WDT). Based on the results of the analysis, the priority of flood handling is determined in the criterion-very vulnerable area with TWI 11.65-38.30 identified as 387098.23 ha (39.68%). Flood handling in the Solo watershed is prioritized on 1) Bojonegoro Regency covering 105215.13 ha, 2) Ngawi (56810.68 ha), 3) Madiun (44102.06 ha), 4) Tuban covering an area of 43072.06 ha, and 5) Ponorogo (35853.62 ha).

Keywords: priority, vulnerability, flood, topographic wetness index, Solo watershed

Citation: Miardini, A., dan Saragih, G. S. (2019). Penentuan Prioritas Penanganan Banjir Genangan Berdasarkan Tingkat Kerawanan Menggunakan Topographic Wetness Index: Studi Kasus di DAS Solo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 113-119, doi:10.14710/jil.17.1.113-119

1. Pendahuluan

Beberapa upaya perbaikan DAS sudah banyak dilakukan melalui program rehabilitasi hutan dan lahan baik vegetatif, sipil dan teknis,

namun belum mampu mengendalikan banjir. Upaya pengendalian banjir merupakan hal yang sangat sulit, sehingga cara untuk mengurangi dampak banjir dapat dilakukan dengan penilaian

pra dan pasca bencana (Tripathi, 2015). Salah satu upaya pra bencana yang bermanfaat juga sebagai *early warning system* adalah pemetaan daerah rawan banjir sehingga dapat diketahui lokasi yang diprioritaskan untuk penanganan banjir.

DAS Solo merupakan DAS rawan bencana, dalam kurun waktu 10 tahun terakhir 2008-2017 terdapat 394 kejadian banjir di DAS Solo (BNPB, 2018). Banjir dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: topografi, meteorologi dan faktor lainnya seperti ketidaksesuaian penggunaan lahan (Ceylan, Alan, & Ugurlu, 2007). Faktor topografi memiliki peranan paling penting dalam distribusi spasial kondisi hidrologi (Sørensen, Zinko, & Seibert, 2006). Daerah dengan topografi yang rendah maka akan semakin rawan terhadap banjir, karena air cenderung menggenang pada daerah yang datar (Chandra & Rima, 2013). Pada daerah dengan kemiringan lereng yang tinggi maka air hujan akan menjadi aliran permukaan karena kecepatan aliran yang tinggi, namun pada daerah yang relatif datar air akan menggenang (Triatmodjo, 2010). Semakin curam kemiringan maka akan memperbesar jumlah limpasan permukaan dengan meningkatnya kecepatan aliran akibat dari besarnya energi angkut air (Arsyad, 2009). Kondisi topografi juga mempengaruhi besaran curah hujan yang diterima, pada daerah yang menghadap ke arah datangnya sirkulasi angin (*windward*) akan mendapat curah hujan lebih tinggi dibanding daerah yang membelakangi sirkulasi angin (*leeward*) (Harijono, 2010).

Perhitungan tingkat kerawanan banjir dengan faktor utama topografi dapat diidentifikasi menggunakan penilaian *Topographic Wetness Index* (TWI). Penelitian Riadi, Barus, Widiatmaka, Pramudya, dan Bambang (2018) memanfaatkan data DEM untuk derivasi nilai TWI menghasilkan informasi mengenai morfologi permukaan yang digunakan untuk identifikasi daerah kerawanan bahaya banjir. Penilaian TWI untuk prediksi banjir mampu memberikan pendekatan yang lebih efisien dalam penentuan banjir dibandingkan model hidrodinamik konvensional (Pourali, Arrowsmith, Chrisman, Matkan, & Mitchell, 2016). TWI digunakan sebagai indikator pengaruh topografi terhadap limpasan, arah dan akumulasi aliran. Nilai TWI menggambarkan tingkat kebasahan lahan. Tingkat kebasahan tinggi diakibatkan oleh adanya tanah yang jenuh akibat akumulasi aliran sehingga daerah dengan nilai TWI tinggi maka diasumsikan rawan terhadap banjir. Ballerine & Clayton (2017), menyatakan bahwa TWI dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang terdampak akibat adanya banjir dan genangan yang disebabkan oleh hujan. Data TWI dapat menginformasikan potensi banjir sehingga dapat digunakan untuk membangun kesadaran tanggap bencana sebagai upaya pengurangan risiko bencana (Qin et al., 2011). Tujuan penelitian adalah untuk

mengetahui daerah prioritas penanganan banjir di DAS Solo (Sub DAS Kali Madiun-Sub DAS Solo Hilir) berdasarkan tingkat kerawanan menggunakan TWI.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di DAS Solobagian Sub DAS Kali Madiun-Sub DAS Solo Hilir pada tahun 2017. DAS Solo memiliki luas 975508,51 ha yang wilayahnya mencakup 6 kabupaten di Jawa Tengah dan 12 kabupaten/kota di Jawa Timur. Secara geografis DAS Solo terletak antara 6°48'-8°07' LS dan 110°26'-112°41' B. Pada bagian utara DAS Solo dibatasi oleh DAS Jratunseluna, sebelah timur dibatasi oleh gunung Wilis yang memisahkannya dengan DAS Brantas, sebelah selatan berbatasan dengan DAS Grindulu, dan di sebelah barat dibatasi oleh Gunung Merapi dan Merbabu yang memisahkannya dengan DAS Progo.

Kondisi topografi di DAS Solo didominasi oleh topografi datar dengan kemiringan lereng 0-8% sebesar 83,18%, topografi bergelombang (8-15%) sebesar 9,10%, berbukit (15-20%) sebesar 4,97%, berbukit-bergunung (25-40%) sebesar 2,54% dan topografi bergunung (>40%) sebesar 0,18% dari total luas DAS Solo.

Berdasarkan data dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (2010), kondisi geologi DAS Solo terdiri dari empat zona yaitu 1) antiklinorium Rembang-Madura: terdapat pada daerah hilir DAS Solo sekitar daerah Tuban dengan materi penyusun berupa batu gamping dan dolomite, 2) dataran alluvium: terdapat pada daerah barat Bojonegoro sampai Lasem sejajar dengan sungai Bengawan Solo dengan materi penyusun berupa lempung dan pasir halus, 3) depresi Randublatung: bagian dari gunung api kwarter termasuk di dalamnya Gunung Lawu yang merupakan batas barat sampai ujung timur Gunung Ngargalawang. Materi penyusunnya berupa tuff vulkan intermedier, dan 4) antiklinorium Kendeng: terdapat pada daerah Ngawi hingga Bojonegoro dengan materi penyusun berupa lempung, gamping dan mengandung bahan gunung api klastik (BP DAS Solo, 2010).

Kondisi iklim di DAS Solo menurut tipe iklim *Schmidt & Ferguson* termasuk tipe E hingga tipe A. DAS Solo didominasi tipe iklim C dan D dengan 4 bulan kering dan 6 bulan basah. Curah hujan berkisar antara 875 mm/tahun sampai dengan 3.627 mm/tahun.

Penggunaan lahan di DAS Solo didominasi sawah (36,74%), kebun (18,53%), pemukiman (15,78%), dan tegalan (15,3%). Penutupan, penggunaan lahan lainnya berupa semak/belukar, hutan, tambak, badan air, dan gedung. Kawasan hutan teridentifikasi seluas 387.540 Ha (24,36%) yang sebagian besar merupakan Kawasan Hutan Produksi (88,8%), sedangkan lainnya berupa kawasan hutan lainnya yang

berfungsi sebagai Hutan Lindung, Cagar Alam, Suaka Margasatwa, dan Taman Wisata Alam(BPDAS Solo, 2014).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) Skala 1:25000, *Digital Elevation Model (DEM)* 30 m, peta batas DAS Solo 2017 dan data kejadian banjir di DAS Solo tahun 2013-Juni 2018 dari BNPB dan BPDAS Solo. Alat yang digunakan antara lain Notebook ASUS Core i3 kapasitas RAM 6 GB dan harddisk 500 GB, Software Arc GIS 10.1 dan *Watershed Delineation Tools*, Software Ms.Word dan Ms. Excel.

Metode penilaian kerawanan banjir di DAS Solo menggunakan metode TWI. Nilai TWI tinggi menunjukkan bahwa daerah memiliki kerawanan banjir yang tinggi dan berasosiasi dengan topografi datar dengan kerapatan aliran yang tinggi. Metode ini berbasis data raster dengan data berasal dari DEM yang diturunkan menjadi lereng melalui *spatial analysis tools* dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) dianalisis menggunakan *Watershed Delineation Tools (WDT)*. Akumulasi aliran merupakan tempat bergabungnya aliran. Hasil dari fungsi akumulasi aliran berupa data raster yang memiliki nilai akumulasi aliran dalam sebuah jaringan sungai pada masing-

masing selnya (Sasmito & Suprayogi, 2015). Nilai *flow accumulation* yang tinggi menunjukkan bahwa semakin tinggi pula air akan terakumulasi pada sel tersebut (Syusanto, Nursetiawan, & Harsanto, 2016). Beven and Kirby (1979) dalam (Hojati & Mokarram, 2016), formula utama yang digunakan dalam perhitungan TWI yaitu:

$$TWI = \ln (\alpha / \tan\beta)$$

Dimana:

α : akumulasi aliran

β : kemiringan lereng.

Penentuan lokasi prioritas penanganan banjir dilakukan dengan overlay hasil kerawanan banjir dengan peta administrasi, sedangkan validasi hasil dilakukan dengan mengidentifikasi daerah yang telah mengalami kejadian banjir.

3. Hasil dan Pembahasan

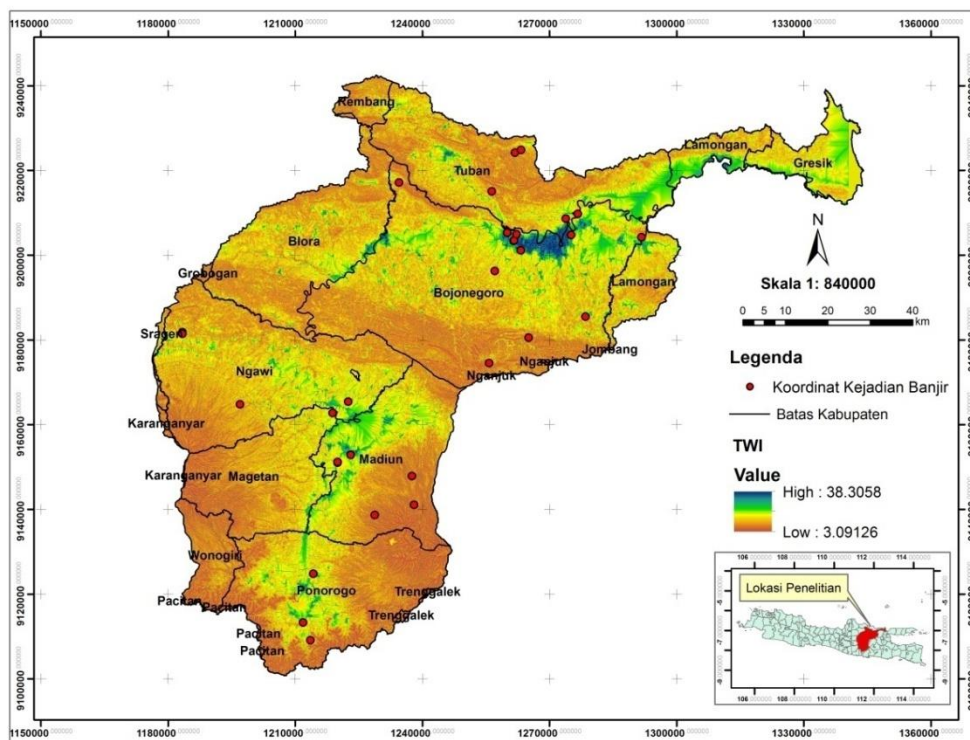
3.1. Topographic Wetness Index untuk Penilaian Kerawanan Banjir Genangan

Banjir genangan merupakan salah satu tipe bencana yang berkaitan dengan topografi. Kondisi topografi akan berpengaruh pada tempat akumulasi air yang biasanya berkumpul pada satu cekungan.

Tabel 1. Tingkat Kerawanan Banjir di DAS Solo Berdasarkan Nilai TWI

Nilai TWI	Kerawanan Banjir	Luas (ha)	Persentase (%)
3.09-6.54	Tidak Rawan	182354.81	18.69
6.54-8.20	Agak Rawan	209037.94	21.42
8.20-9.72	Sedang	197017.52	20.19
9.72-11.65	Rawan	200510.08	20.55
11.65-38.30	Sangat Rawan	186588.15	19.12
Jumlah		975508.51	100.00

Sumber; Analisis data , 2018



Gambar 1. Topographic Wetness Index DAS Solo

Aliran air dari elevasi yang lebih tinggi ke yang lebih rendah, dan area elevasi rendah dapat lebih cepat membanjir dari area elevasi lebih tinggi (Cao et al., 2016). Akumulasi aliran pada suatu daerah mengakibatkan tanah menjadi jenuh air sehingga air akan menggenangi di pada satu titik. Berdasarkan Buchanan et al. (2014) bahwa TWI berkorelasi relatif baik dengan kelembaban tanah. Nilai TWI yang tinggi cenderung memiliki tingkat kerawanan banjir genangan yang tinggi pula.

Berdasarkan hasil analisis, nilai TWI di DAS Solo berkisar antara 3.09-38.30. Nilai kerawanan banjir diklasifikasikan menggunakan metode *quantile* menjadi 5 kelas yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan distribusi TWI pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 diketahui bahwa daerah yang memiliki nilai TWI tinggi merupakan daerah

yang rawan banjir. Nilai TWI berasosiasi dengan morfometri dataran ataupun cekungan, sehingga banjir terjadi pada daerah dengan topografi datar dan memiliki kerapatan aliran yang tinggi.

Untuk validasi nilai TWI dalam memprediksi banjir genangan dilakukan cheking data hasil perhitungan TWI dengan kejadian banjir di DAS Solo. Berdasarkan data kejadian banjir dari tahun 2013 sampai Juni 2018 yang tercatat oleh BNPB dan BPDAS Solo, jumlah kejadian banjir yang dijadikan sampel sejumlah 32 kejadian. Tingkat akurasi prediksi banjir genangan dengan menggunakan nilai TWI adalah sebesar 62.5 %, hal ini menunjukkan bahwa TWI dapat digunakan dalam memprediksi kerawanan banjir genangan di DAS Solo. Berikut adalah distribusi sampel di DAS Solo ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Sampel di DAS Solo

No	X	y	TWI	Kode	Kerawanan	Desa	Kecamatan	Kabupaten
1	111.4620	-8.008570	9.42	3	Sedang	Belang	Bungkal	Ponorogo
2	111.4460	-7.971520	13.91	5	Sangat Rawan	Mojopitu	Slahung	Ponorogo
3	111.4660	-7.867830	10.75	4	Rawan	Tamanarum	Ponorogo	Ponorogo
4	111.6780	-7.718360	14.6	5	Sangat Rawan	Kepel	Kare	Madiun
5	111.6730	-7.656940	6.54	1	Tidak Rawan	Randualas	Kare	Madiun
6	111.5140	-7.631030	10.99	4	Rawan	Nambangan Lor	Mangunharjo	Madiun
7	111.5140	-7.629710	10.83	4	Rawan	Nambangan Lor	Mangunharjo	Madiun
8	111.5420	-7.614550	13.43	5	Sangat Rawan	Rejomulyo	Kartoharjo	Madiun
9	111.5020	-7.526200	10.2	4	Rawan	Ngelang	Karangmojo	Magetan
10	111.3050	-7.510730	9.27	3	Sedang	Soco	Jogorogo	Ngawi
11	111.5350	-7.501620	9.03	3	Sedang	Pleset	Pangkur	Ngawi
12	111.8330	-7.415230	6.93	2	Agak Rawan	Sambongrejo	Bubulan	Bojonegoro
13	111.8330	-7.415230	6.93	2	Agak Rawan	Sambongrejo	Bubulan	Bojonegoro
14	111.9160	-7.360260	10.24	4	Rawan	Papringan	Temayang	Bojonegoro
15	112.0360	-7.313670	8.05	2	Agak Rawan	Duwel	Kadungadem	Bojonegoro
16	111.8420	-7.219770	9.14	3	Sedang	Sendangrejo	Dander	Bojonegoro
17	111.8810	-7.155030	18.27	5	Sangat Rawan	Kepatih	Bojonegoro	Bojonegoro
18	111.8820	-7.154110	19.75	5	Sangat Rawan	Kepatih	Bojonegoro	Bojonegoro
19	112.1520	-7.143650	9.53	3	Sedang	Sumuragung	Baureno	Bojonegoro
20	112.0030	-7.141020	22.17	5	Sangat Rawan	Simbatan	Kanor	Bojonegoro
21	111.8670	-7.138190	17.23	5	Sangat Rawan	Ledok Kulon	Bojonegoro	Bojonegoro
22	111.9910	-7.106300	11.27	4	Rawan	Karangtinoto	Rengel	Tuban
23	112.0160	-7.096220	7.78	3	Sedang	Kanor	Kanor	Bojonegoro
24	111.8330	-7.051030	6.39	1	Tidak Rawan	Kehutanan	Parengan	Tuban
25	111.6360	-7.035340	13.8	5	Sangat Rawan	Kedewan	Kasiman	Bojonegoro
26	111.8810	-6.968080	9.07	3	Sedang	Pakel	Montong	Tuban
27	111.8940	-6.962470	9.99	4	Rawan	Pakel	Montong	Tuban
28	111.5946	-7.741073	14.94	5	Sangat Rawan	Segulung	Dagangan	Madiun
29	111.1805	-7.359417	11.93	5	Sangat Rawan	Sriwedari	Mantingan	Ngawi
30	111.1805	-7.362861	13.48	5	Sangat Rawan	Sriwedari	Mantingan	Ngawi
31	111.8871	-7.141097	10.91	4	Rawan	Banjarsari	Trucuk	Bojonegoro
32	111.8965	-7.175398	22.8	5	Sangat Rawan	Banjarsari	Trucuk	Bojonegoro

Sumber: Analisis Data dari laporan kejadian banjir BPBD dan BPDAS, 2018

3.2. Prioritas Penanganan Banjir Genangan di DAS Solo

Penanganan banjir di DAS Solo diprioritaskan pada 387098.24 ha lahan yang terdiri dari daerah kriteria rawan (prioritas 2) seluas 200510.08 ha dan sangat rawan (prioritas 1) seluas 186588.15 ha. Tabel lokasi prioritas penanganan banjir dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Prioritas utama penanganan banjir genangan di DAS Solo adalah di Kabupaten

Bojonegoro. Bojonegoro merupakan daerah yang paling rawan banjir genangan. Jumlah kejadian banjir di kabupaten Bojonegoro sebanyak 101 kejadian banjir dalam kurun 10 tahun terakhir (BNPB, 2018). Penyebab banjir genangan di Bojonegoro yang terjadi sepanjang tahun karena bentuk DAS Solo yang cenderung parallel menyebabkan debit banjir terakumulasi pada bagian hilir, sehingga saat curah hujan tinggi sungai tidak mampu menampung aliran dan akhirnya meluap.

4. Kabupaten Ponorogo tercatat mengalami 29 kejadian banjir selama 10 tahun terakhir (BNPB, 2018). Kecamatan prioritas penanganan banjir antara lain: Babadan (1287.30 ha), Sukorejo (1809.69 ha), Kauman (1677.71 ha), Balong (1511.95 ha), Jetis (1270.13 ha).
5. Kabupaten Tuban tercatat mengalami 56 kejadian banjir selama 10 tahun terakhir (BNPB, 2018). Kecamatan prioritas penanganan banjir antara lain: Widang 6420.95, Plumpang (4148.168 ha), Soko (2182.91 ha), Rengel (2135.49 ha) dan Bangilan (1817.93 ha).

DAS Solo yang diamati dalam penelitian ini meliputi Sub DAS Kali Madiun sampai Sub DAS Solo Hilir termasuk DAS lintas Provinsi yaitu Jawa Tengah dan Jawa Timur sehingga upaya penanganan banjir harus dilakukan secara terpadu dengan menerapkan konsep DAS sebagai satu kesatuan ekosistem dari hulu sampai hilir. Pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan pendekatan teknis dan institusi. Upaya teknis pada dasarnya adalah pengaturan jumlah air yang masuk ke badan sungai. Normalisasi sungai dapat dilakukan untuk mengantisipasi banjir dengan tujuan untuk memperbesar daya tampung air. Beberapa upaya yang dapat dilakukan dalam rangka normalisasi sungai yaitu pengerukan sedimen waduk dan sungai, pembangunan bangunan pencegah banjir (tanggul), peningkatan kesadaran masyarakat untuk peduli lingkungan, serta restorasi daerah sempadan sungai. Perlu juga adanya perbaikan teras dan saluran drainase secara terencana. Perencanaan sistem drainase yang baik dan dikombinasikan dengan analisis Sistem Informasi Geografi (SIG) dapat mencegah terjadinya bencana banjir yang berulang (Wismarini & Ningsih, 2010).

Pendekatan institusi merupakan upaya penanganan banjir jangka panjang dengan menerapkan pengelolaan DAS terpadu (*one river one plan*). Pencegahan dan penanganan banjir dapat dilakukan dengan pendekatan kelembagaan dan spasial (Santoso, 2013). Oleh karena itu, pengelolaan DAS terpadu memerlukan koordinasi, integrasi, sinkronisasi dan sinergi antar para pihak dan instansi terkait dalam pengambilan kebijakan dalam perencanaan, implementasi program, monitoring dan evaluasi pengelolaan DAS. Diharapkan dengan tepatnya penentuan lokasi prioritas penanganan banjir maka dapat dirumuskan rekomendasi pengelolaan banjir di DAS Solo pada lokasi yang potensial memiliki tingkat kerawanan banjir tinggi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, nilai TWI di DAS Solo berkisar antara 3.09-38.30. Prioritas penanganan banjir ditentukan pada daerah kriteria rawan-sangat rawan dengan TWI 11.65-38.30 yang teridentifikasi sebesar 387098.23 ha

(39.68%). Penanganan banjir di DAS Solo diprioritaskan pada 1) Kabupaten Bojonegoro seluas 105215.13 ha 2) Ngawi (56810.68 ha), 3) Madiun (44102.06 ha), 4) Tuban seluas 43072.06 ha dan 5) Ponorogo (35853.62 ha). Tingkat akurasi prediksi banjir genangan dengan menggunakan nilai TWI adalah sebesar 62.5 %, hal ini menunjukkan bahwa TWI dapat digunakan dalam memprediksi kerawanan banjir genangan di DAS Solo. Penilaian kerawanan banjir dengan menggunakan TWI bersifat statis (tetap), sehingga untuk mendapatkan pemetaan yang dinamis maka dapat ditambahkan input data curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. (2009). *Konservasi Tanah & Air*: IPB press.
- Ballerine, C. (2017). *Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support, Will & DuPage Counties, Illinois*. Retrieved from BNPB. (2018). Data Kejadian Bencana Banjir.
- BPDAS Solo. (2010). *Rencana Pengelolaan DAS Solo Terpadu*.
- BPDAS Solo. (2014). *Monitoring dan Evaluasi DAS Rawan Bencana*.
- Buchanan, B. P., Fleming, M., Schneider, R. L., Richards, B. K., Archibald, J., Qiu, Z., & Walter, M. T. (2014). Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 18(8), 3279-3299.
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability*, 8(9), 948.
- Ceylan, A., Alan, I., & Ugurlu, A. (2007). *Causes and effects of flood hazards in Turkey*. Paper presented at the International congress of river basin management.
- Chandra, R. K., & Rima, D. (2013). Mitigasi Bencana Banjir Rob di Jakarta Utara. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 25-30.
- Harijono, S. W. B. (2010). Analisis dinamika atmosfer di bagian utara ekuator Sumatera pada saat peristiwa El-Nino dan Dipole Mode positif terjadi bersamaan. *Jurnal Sains Dirgantara*, 5(2).
- Hojati, M., & Mokarram, M. (2016). Determination of a Topographic Wetness Index Using High Resolution Digital Elevation Models. *European Journal of Geography*, 7(4), 41-52.
- Pourali, S., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A., & Mitchell, D. (2016). Topography wetness index application in flood-risk-based land use planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 9(1), 39-54.
- Qin, C.-Z., Zhu, A.-X., Pei, T., Li, B.-L., Scholten, T., Behrens, T., & Zhou, C.-H. (2011). An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture*, 12(1), 32-43.
- Riadi, B., Barus, B., Widiatmaka, M. Y. J., & Pramudya, B. (2018). Spatial Modeling on Coastal Land Use/Land Cover Changes and its Impact on Farmers. *Environment and Ecology Research*, 6(3), 169-177.

- Santoso, E. B. (2013). Manajemen risiko bencana banjir Kali Lamong pada kawasan peri-urban Surabaya-Gresik melalui pendekatan kelembagaan. *Jurnal Penataan Ruang, 8*(2), 48-59.
- Sasmito, B., & Suprayogi, A. (2015). Model Spasial Aliran Permukaan dan Monitoring Tutupan Lahan di Kota Semarang. *GEOMATIKA, 21*, 01-08.
- Sörensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 10*(1), 101-112.
- Syusanto, S., Nursetiawan, & Harsanto, P. (2016). Analisis karakteristik fisik DAS dengan aster GDEM versi 2.0 di sungai Opak Oyo.
- Tripathi, P. (2015). Flood disaster in India: an analysis of trend and preparedness. *Interdiscip J Contemp Res, 2*(4), 91-98.
- Wismarini, T. D., & Ningsih, D. H. U. (2010). Analisis Sistem Drainase Kota Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografi dalam Membantu Pengambilan Keputusan bagi Penanganan Banjir. *Dinamik, 15*(1), 41-51.