TATA LOKA
VOLUME 27 NOMOR 1, FEBRUARI 2025, 25-41
© 2025 UNIVERSITAS DIPONEGORO PUBLISHING GROUP
P ISSN 0852-7458- E ISSN 2356-0266

Skenario Tata Ruang Penanganan Banjir Sub-DAS Piji Kabupaten Kudus

Spatial Scenario to Ovecome Flood in the Piji Sub-watershed, Kudus Regency

Mahardhika Gita Rama[1], Adjie Pamungkas[1]

Diterima: 22 Juni 2023 Disetujui: 20 Februari 2024

Abstrak: Tata ruang yang tepat dapat berperan dalam pengurangan risiko banjir. Tata ruang yang optimal meningkatkan fungsi lahan sebagai media resapan air serta mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan. Tata ruang pada Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Piji menunjukkan kondisi yang tidak optimal. Wilayah DAS ini terkategori kritis akibat perkembangan permukiman, penjarahan hasil hutan, dan penebangan liar. Penjarahan dan penebangan liar Kawasan Gunung Muria selama lebih dari 20 tahun menjadikan kawasan ini rentan dan berisiko banjir di wilayah hilir. Permodelan SWAT (*Soil Water Assessment Tool*) terhadap 31 sub-sub DAS menghasilkan temuan bahwa terdapat 6 daerah yang berpotensi banjir. Keenam daerah ini mencakup sub-sub-DAS 14, 15, 17, 20, 26, dan 31 dengan volume banjir total 154.294,82 m^3 dalam sehari pada kondisi curah hujan tertinggi. Penelitian ini mengembangkan skenario penanganan banjir menggunakan analisis sensitivitas dan permodelan SWAT. Dari hasil analisis, skenario ke-4 terpilih sebagai skenario penanganan banjir yang paling optimal dengan strategi berupa: (1) konversi penggunaan lahan menjadi daerah bervegetasi dan penampungan air seperti hutan, ruang terbuka hijau, dan kolam; (2) peningkatan praktek infrastruktur hijau pada area permukiman seperti *bioswale, green roof*, dan *rainwater harvesting*; dan (3) peningkatan kapasitas, kemiringan, dan bentuk drainase.

Kata kunci: Banjir, Penggunaan Lahan, Infrastruktur Hijau, Infrastruktur Abu-Abu, Skenario Penanganan Banjir

Abstract: Appropriate spatial planning can play a role in reducing flood risks. Optimal spatial planning improves the function of land as a water absorption medium and reduces and/or disposes of excess water from an area. The spatial planning in the Piji Watershed Sub-Watershed (DAS) shows suboptimal conditions. This DAS area is categorized as critical due to urban development, forest looting, and illegal logging. The looting and illegal logging in the Gunung Muria area for over 20 years have made this area vulnerable and at risk of flooding in downstream areas. SWAT (Soil Water Assessment Tool) modeling of 31 sub-sub-watersheds resulted in findings that there are 6 areas that have the potential for flooding. These six areas include sub-sub-watersheds 14, 15, 17, 20, 26, and 31 with a total flood volume of 154,294.82 m^3 per day under the highest rainfall conditions. This study develops flood management scenarios using sensitivity analysis and SWAT modeling. From the analysis results, the fourth scenario is selected as the most optimal flood management scenario with strategies including: (1) conversion of land use into vegetated areas and water retention areas such as forests, green open spaces, and ponds; (2) increasing green infrastructure practices in residential areas such as bioswales, green roofs, and rainwater harvesting; and (3) improving the capacity, slope, and shape of drainage systems.

Keywords: Flood, Land Use, Green Infrastructure, Gray Infrastructure, Flood Management Scenario

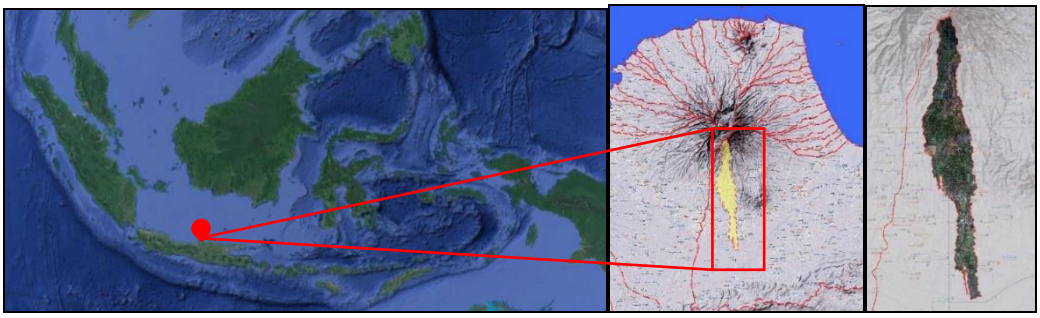
[1] Department of Urban and Regional Planning, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Korespondensi: adjie@urplan.its.ac.id

DOI: 10.14710/tataloka.27.1.25-41
Copyright © 2025 by Authors, Published by Universitas Diponegoro Publishing Group.
This open-access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-SA) 4.0 International license.

PENDAHULUAN

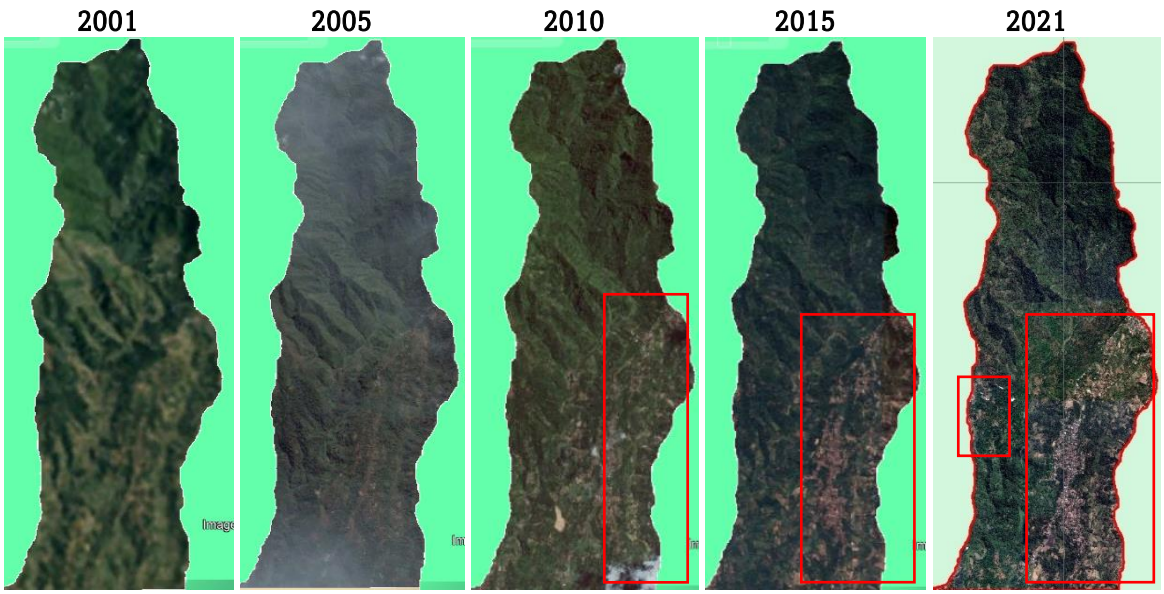
Banjir dalam perspektif siklus hidrologi disebabkan oleh jumlah limpasan air yang melebihi kapasitas pengaliran sehingga menggenangi daratan yang tidak biasanya dilewati air (Adikari & Yoshitani, 2009; Bakornas PB, 2007; Miardini et al., 2016; Pamungkas & Purwitaningsih, 2019). Besaran limpasan air tersebut dipengaruhi oleh berbagai kondisi yakni kondisi geomorfologi daerah aliran (Feloni et al., 2022) dan kondisi iklim yang memengaruhi intensitas dan durasi hujan (Giang & Vy, 2021; Sun et al., 2021). Selain kedua faktor yang bersifat alamiah tersebut, tata ruangnya juga memperngaruhi banjir (Kodoatie & Syarief (2006) dalam Rosyidie (2013)) melalui pola ruang maupun struktur ruang (Wahid, 2014). Pola penggunaan lahan yang menuju ke arah terbangun menyebabkan kurangnya wilayah resapan air sehingga meningkatkan limpasan air hujan (Kiedrzyńska et al., 2015; Shuster et al., 2005) dan struktur penampungan serta pengaliran yang tidak memadai dapat memicu timbulnya luapan (Agonafir et al., 2023; Galloway et al., 2018).



Sumber: Balai PSDA Seluna (2016) dan Google Earth (2023)

Gambar 1. Orientasi Wilayah Sub-DAS Piji terhadap Indonesia

Kejadian banjir akibat permasalahan infiltrasi dan pengaliran air dialami oleh Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Piji. Sub DAS Piji merupakan bagian dari DAS Juwana, yaitu sub DAS hulu hilir yang membentang dari Kawasan Gunung Muria hingga permukiman di Kecamatan Mejobo, Kabupaten Kudus. Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia melakukan identifikasi kondisi DAS berdasarkan kriteria seperti kondisi tutupan lahan, erosi, kualitas, kuantitas, dan kontinuitas air, serta pemanfaatan ruang dan menetapkan bahwa terdapat 108 DAS prioritas untuk ditangani berdasarkan tingkat keparahannya, salah satu diantaranya adalah DAS Juwana (Pratama, 2021; Raseukiy, 2022). Urgensi penanganan DAS Juwana selain menjadi DAS prioritas juga ditetapkan dalam program nasional untuk pemetaan risiko bencana oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2022; Wijanarko, 2022). Syahfri (2020) mengestimasikan banjir DAS Juwana memiliki luas genangan 16435.30–20578,90 Ha dengan kedalaman paling ektrim mencapai lebih dari 1,5 meter yang tersebar di 11 kecamatan. Hasan et al. (2016) menyebutkan bahwa dari total 105.767 hektare (Ha) wilayah DAS Juwana terdapat 24.715 Ha yang kritis. Miardini et al. (2016) menemukan bahwa tingkat pelimpasan DAS Juwana tergolong tinggi yakni 50,25% curah hujannya tidak terserap. Besarnya limpasan tersebut diperparah dengan kapasitas drainase di DAS Juwana yang buruk akibat kerusakan infrastruktur dan sedimentasi yang mencapai angka 7 ton per tahun (Rokhim, 2022; Sari, 2022; Utami, 2023).



Sumber: Balai PSDA Seluna (2016) dan Google Earth (2023)

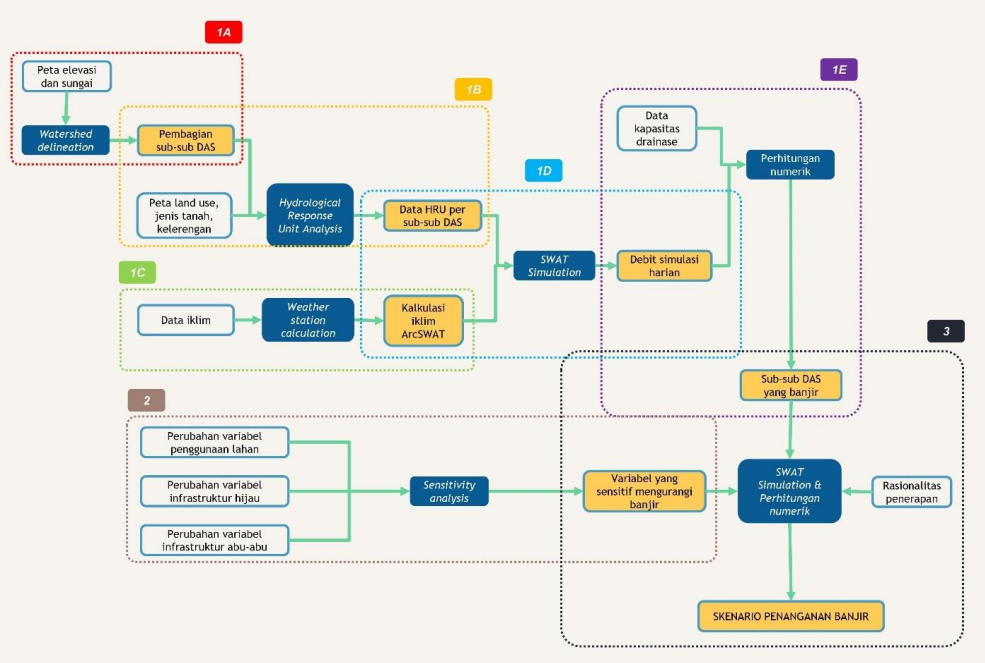
Gambar 2. Perkembangan Pembangunan di Area Hulu Sub-DAS Piji Berdasarkan Citra Satelit

Kondisi serupa juga ditunjukkan dalam perspektif mikro. Sub-DAS Piji dikategorikan oleh Forum DAS Muria sebagai sub-DAS dengan kondisi kritis bersama enam DAS lain yang tersebar di tiga kabupaten (Nazaruddin, 2020). Kekritisan Sub-DAS Piji dipengaruhi oleh pemanfaatan yang tidak terkendali di Kawasan Gunung Muria yang menambah area gundul yang menyebabkan air hujan tidak bisa terserap oleh tanah dan meningkatkan potensi terjadinya tanah longsor pada kondisi intensitas hujan lebat yang berujung pada sedimentasi (Mustofa, 2022; Wartapati, 2021). Perdana (2020) menambahkan bahwa kegiatan penebangan liar di Gunung Muria sudah berjalan lebih dari 20 tahun sehingga estimasi lahan Muria yang berkondisi rusak mencapai 70%. PKPLH Kudus (2022) mengkonfirmasi bahwa banjir dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan di hulu DAS dan ditambah faktor lain seperti perilaku pembuangan sampah di drainase, erosi dan sedimentasi pada sungai, pertumbuhan kawasan permukiman kumuh di sepanjang sungai/drainase, intensitas dan curah hujan yang tinggi, pengaruh fisiografi/geofisik sungai, kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai, drainase lahan yang tidak baik, belum ada bendung dan bangunan air. Hal ini menjadikan banjir sebagai masalah yang terjadi rutin setiap tahun (Bappeda Kabupaten Kudus, 2013). Kondisi banjir Kabupaten Kudus di 2023 menggenangi sejumlah daerah di tiga kecamatan dengan ketinggian 40–50 cm, menggenangi 2.159 Ha sawah, menghambat akses pada Jalan Lingkar Pantai Utara (Pantura) Kudus, hingga menyebabkan Terminal Jati Kudus tidak dapat beroperasi (Akbar, 2023; Justiari & Widi, 2023).

METODE

Perencanaan skenario penanganan banjir di Sub DAS Piji pada penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan yakni: (1) mengidentifikasi kondisi hidrologi untuk mengetahui lokasi banjir di Sub DAS Piji; (2) menganalisis perubahan variabel yang strategis menangani banjir; dan (3) pembentukan skenario penanganan banjir. Luaran akhir penelitian ini berupa usulan skenario penanganan banjir di Wilayah Sub DAS Piji. Sebagai

tambahan, tahapan pertama proses perencanaan skenario dibagi dalam lima proses kronologis. Tahapan rinci proses penelitian ini tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Rinci Proses Penelitian

1. Mengidentifikasi Kondisi Hidrologi untuk Mengetahui Lokasi Banjir di Sub-DAS Piji

Identifikasi kondisi hidrologi Sub-DAS Piji dilakukan untuk mengetahui kondisi tata air di dalam DAS serta distribusi lokasi dan potensi banjir yang terjadi. Analisis dilakukan dengan pemodelan SWAT (*Soil Water Assessment Tool*) untuk memprediksi pengaruh manajemen lahan pada kondisi air, sedimentasi, dan kimia pertanian dalam DAS (Winchell et al., 2013). Siklus hidrologi dalam simulasi SWAT didasarkan pada perhitungan neraca air dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$SWt = SWo + \sum_{t=1}^{t} (Rday - Ea - Wseep - Qgw) \quad \text{.....(1)}$$

Dimana:
SWt = Kandungan akhir air tanah (mm)
SWo = Kandungan air tanah awal pada hari ke-i (mm)
$Rday$ = Jumlah presipitasi pada hari ke-i (mm)
$Qsurf$ = Jumlah *surface runoff* pada hari ke-i (mm)
Ea = Jumlah evapotranspirasi pada hari ke-i (mm)
$Wseep$ = Jumlah air yang memasuki *vadose zone* pada profil tanah hari ke-i (mm)
Qgw = Jumlah air yang kembali pada hari ke-i (mm)

Berdasarkan tahapan penelitian pada Gambar 3, proses identifikasi kondisi hidrologi dibagi menjadi 5 tahapan yakni 1a, 1b, 1c, 1d, dan 1e dengan masing-masing penjelasan tahapan sebagai berikut.

Tabel 1. Tahapan Identifikasi Kondisi Hidrologi

Tahapan	Penjelasan Tahapan
Proses Delineasi DAS (1a)	Membagi wilayah Sub-DAS Piji menjadi segmen-segmen kecil yang terhubung secara hidrologi berdasarkan pada data elevasi dan jaringan sungai untuk membentuk sub-sub-DAS.
Pembentukan dan Pendefinisian HRU (1b)	*Hydrological Response Unit* (HRU) berperan menggabungkan satu penggunaan lahan, satu kemiringan lereng, dan satu jenis tanah tertentu dalam sebuah unit respon sehingga dapat menghasilkan keakuratan dari prediksi muatan (limpasan dengan sedimen, nutrisi, dan lain-lain yang diangkut oleh limpasan) dari sub-sub-DAS.
Pembentukan Data Iklim (1c)	Pembentukan data dari input informasi data curah hujan, temperatur, radiasi matahari, laju angin, dan kelembapan relatif yang diolah secara matematis berdasarkan formula kalkulasi iklim dari Neitsch et al. (2005) sebagai input simulasi pada pemodelan SWAT.
Simulasi SWAT (1d)	Proses simulasi ntuk mengetahui proses hidrologi dari suatu wilayah berdasarkan periode waktu yang diinginkan. Pada pengamatan banjir, data yang diamati adalah data debit simulasi (*flowout*)
Identifikasi Lokasi Banjir di Sub DAS Piji (1e)	Dari hasil simulasi SWAT, dipilih data kasus tertinggi untuk menjadi *benchmark* data banjir pada skenario terburuk. Data tersebut kemudian dibandingkan dengan data kapasitas drainase eksisting untuk mengetahui sub-sub DAS yang mengalami genangan dan berapa potensi luapannya

Sumber: Sintesa Pustaka, 2023

2. Menganalisis Perubahan Variabel yang Strategis Menangani Banjir

Perubahan variabel yang efektif mengurangi banjir diidentifikasi dengan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas akan menghasilkan variabel prioritas untuk menyusun skenario penanganan banjir. Analisis sentivitas pada penelitian ini terdiri dari tahapan sebagai berikut:

a. Menetapkan parameter untuk mengetahui dampak yang dihasilkan apabila terjadi perubahan variabel. Penelitian ini membatasi identifikasi banjir dari debit luapannya sehingga parameter yang digunakan debit harian rata-rata yang merupakan hasil dari tahapan pertama.
b. Melakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan variabel. Analisis sensitivitas adalah analisis dengan cara mengubah model dan mengobservasi perubahan perilakunya (Pannell, 1989). Analisis ini dapat menghasilkan temuan variabel yang sensitif atau yang memiliki pengaruh besar pada sebuah model.

3. Pembentukan Skenario Penanganan Banjir

Perubahan variabel yang strategis menangani banjir dari analisis sensitivitas kemudian digabungkan untuk membentuk skenario penanganan banjir. Perubahan variabel tersebut kemudian diuji kembali untuk mengetahui perubahan debit yang berhasil dikurangi. Skenario dikategorikan efektif mengatasi banjir jika hasil simulasi mampu mengurangi banjir hingga 0 m^3/det luapan. Jika skenario belum berhasil mencapai target tersebut, diperlukan modifikasi salah satu atau beberapa perubahan variabel dari alokasi sebelumnya.

Variabel dan sub variabel yang digunakan pada seluruh tahapan penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Variabel dan Sub-Variabel Penelitian

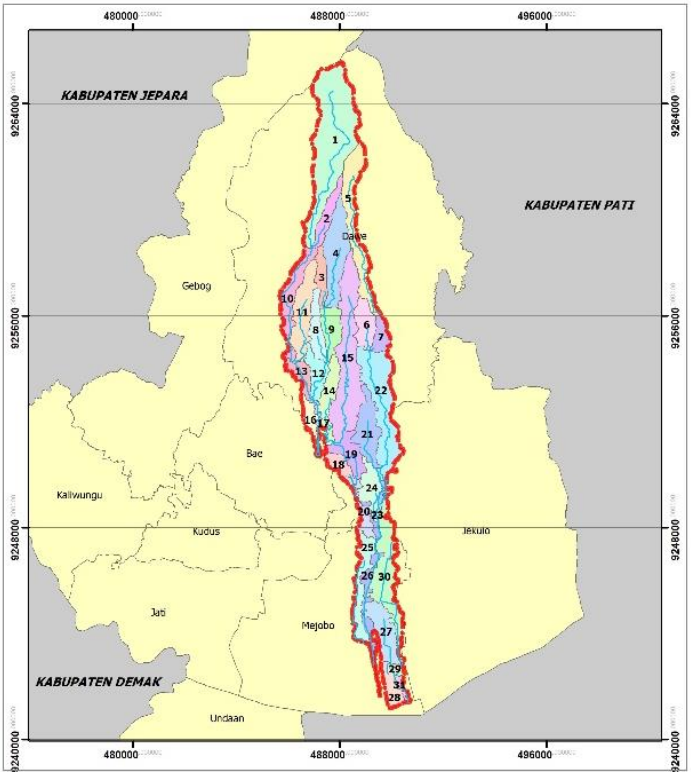
Indikator	Variabel	Sub Variabel	Pustaka
Kondisi Fisik	Jenis tanah		Triatmodjo (2008), Rahayu et al. (2009)
	Kemiringan		Triatmodjo (2008), Rahayu et al. (2009), Salsabila & Nugraheni (2020)
Kondisi Klimatologi	Intensitas curah hujan		Aldrian et al. (2011), Rahayu et al. (2009)
	Suhu		Aldrian et al. (2011), Rahayu et al. (2009), Triatmodjo (2006) dalam Purwitaningsih (2017)
	Kelembapan relatif		Aldrian et al. (2011), Salsabila & Nugraheni (2020), Triatmodjo (2006) dalam Purwitaningsih (2017)
	Radiasi matahari		Salsabila & Nugraheni (2020), Triatmodjo (2006) dalam Purwitaningsih (2017)
	Kecepatan angin		Salsabila & Nugraheni (2020), Triatmodjo (2006) dalam Purwitaningsih (2017)
Pengunaan Lahan	Daerah terbangun	Industri	Malingreau & Christiani (1981), Jr & Gibbons (1996), Yusuf (2010)
		Permukiman	
		Pariwisata	
	Daerah bervegetasi	Sawah	Malingreau & Christiani (1981), Rahayu et al. (2009), Yusuf (2010)
		Tegalan	
		Kebun Campur	
		Hutan	
	Daerah tak bervegetasi	Tanah Kosong	Malingreau & Christiani (1981)
	Tubuh perairan	Kolam	Malingreau & Christiani (1981)
Infrastruktur Hijau	Atap bervegetasi intensif		EPA (2022), Vijayaraghavan (2016), Elkink (2017), Denchak (2019), Qin (2020)
	Atap bervegetasi ekstensif		EPA (2022), Vijayaraghavan (2016), Elkink (2017), Denchak (2019), Qin (2020)
	Rainwater harvesting		Li et al. (2017), Department of consumer and business Services (2019), Qin (2020), Toosi et al. (2020)
	Jalan permeabel		Kwiatkowski et al. (2007), Chandrappa & Biligiri (2016), Qin (2020)
	Penanaman tepi jalan		Qin (2020)
	Bioswale		Khadka et al. (2020), SEMCOG (2008), Qin (2020)
Prasarana	Kapasitas drainase		Chen et al. (2021), Mado & Bastian (2018), Sudarto (2009), Hilmi (2018), Anggraini (2018)

Sumber: Sintesa Pustaka, 2023

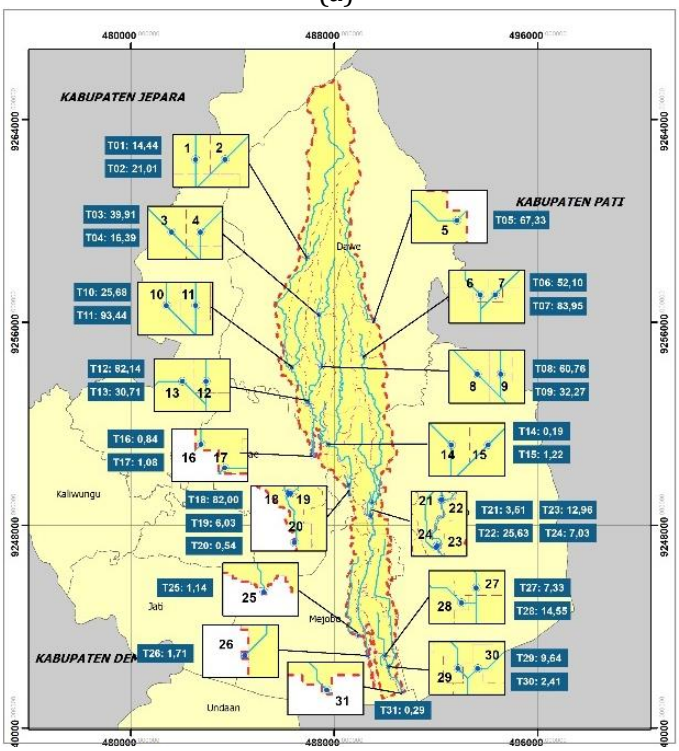
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi hidrologi Sub-DAS Piji dan lokasi yang berpotensi banjir
   a. Delineasi Sub-DAS Piji

Pemodelan Sub-DAS Piji dilakukan terhadap 31 sub-sub-DAS (Gambar 4 (a)). Setiap sub-sub-DAS memiliki 1 titik pantau (*outlet*) yang berfungsi sebagai titik ukur kapasitas pengaliran air dengan informasi kapasitas tertera pada Gambar 4 (b).



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Pembagian Sub-Sub-DAS; dan (b) Kapasitas Titik Pantau pada Sub-DAS Piji dalam m3/det

b. Pembentukan dan pendefinisian HRU

Hasil penampalan data penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan jenis tanah menghasilkan luaran berupa 544 kombinasi HRU di Sub DAS Piji. Kombinasi 544 HRU ini masing-masing memiliki karakter unik dalam merespon air.

c. Pembentukan data iklim

Data iklim bersumber dari SWAT *Weather Database* berupa data *time series* periode 2005–2013 dianalisis menggunakan persamaan Neitsch et al. (2005). Data iklim sebagaimana pada Tabel 3 akan digunakan dalam simulasi SWAT untuk memproyeksikan kondisi iklim pada masa simulasi yang dipilih.

Tabel 3. Input Data Iklim

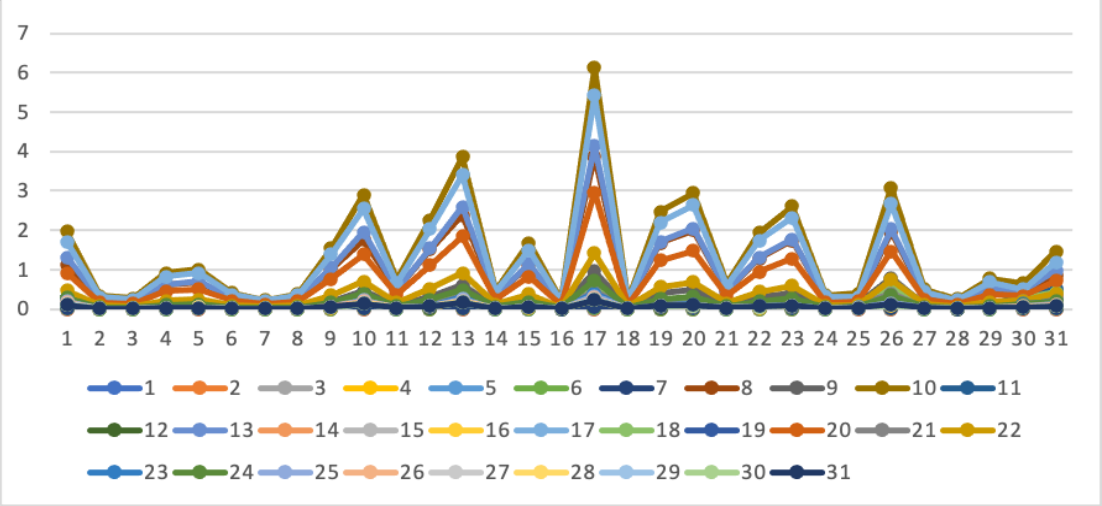
Parameter	Bulan					
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
TMPMX	30.22	30.43	31.73	32.49	32.78	32.95
TMPMN	23.81	23.59	23.54	23.39	23.55	23.10
TMPSTDMX	3.04	2.53	2.47	2.34	2.49	2.36
TMPSTDMN	0.85	0.97	1.07	0.82	1.09	1.16
PCPMM	455.43	334.20	258.61	167.05	151.31	98.44
PCPSTD	441.80	323.19	250.93	161.88	146.89	95.55
PCPSKW	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01
PR_W (1)	0.75	1.00	0.75	1.00	0.43	0.57
PR_W (2)	0.97	0.99	0.96	0.99	0.96	0.91
PCPD	30.11	28.11	29.67	29.67	28.67	26.11
RAINHHMX	31.43	17.29	30.15	15.57	28.01	29.13
SOLARAV	21.98	22.68	22.68	21.17	19.97	19.35
DEWPT	0.82	0.84	0.81	0.82	0.78	0.75
WNDAV	2.35	2.06	1.65	1.33	1.52	1.60
Parameter	Bulan					
	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
TMPMX	33.69	34.83	36.11	35.62	33.74	31.92
TMPMN	22.64	22.77	23.60	24.19	24.07	23.80
TMPSTDMX	1.95	1.97	2.47	2.46	2.80	2.91
TMPSTDMN	1.25	1.24	1.07	0.82	0.84	0.90
PCPMM	63.96	60.70	48.01	104.49	199.41	301.99
PCPSTD	62.10	58.94	46.62	101.38	193.33	293.03
PCPSKW	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01
PR_W (1)	0.27	0.44	0.34	0.52	0.69	0.67
PR_W (2)	0.85	0.85	0.86	0.93	0.96	0.99
PCPD	20.11	23.22	21.44	27.33	28.56	30.67
RAINHHMX	7.83	6.61	8.90	7.07	38.47	36.02
SOLARAV	20.94	21.80	23.19	23.29	22.32	21.28
DEWPT	0.69	0.64	0.60	0.66	0.75	0.80
WNDAV	1.78	1.82	1.78	1.65	1.43	1.62

Dimana:

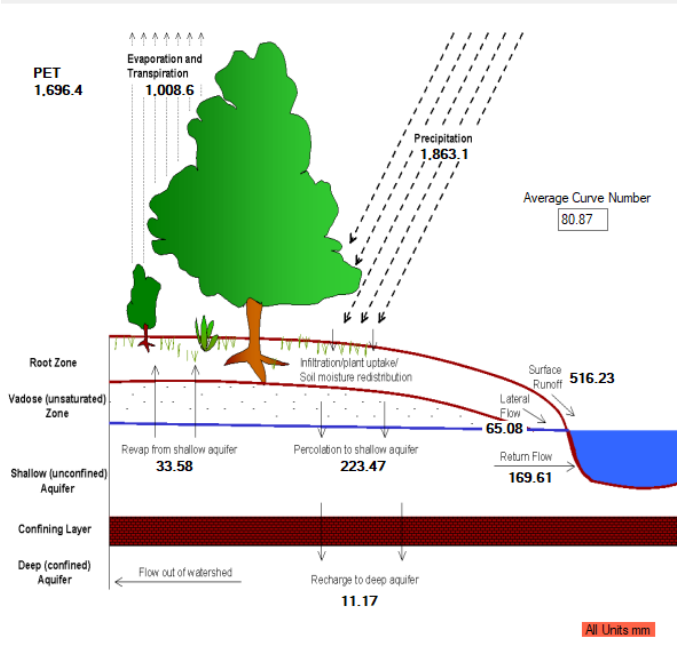
TMPMX = Rata-rata suhu maksimum harian dalam satu bulan (℃)
TMPMN = Rata-rata suhu minimum harian dalam satu bulan (℃)
TMPSTDMX = Standar deviasi suhu minimum harian dalam satu bulan (℃)
TMPSTDMN = Standar deviasi suhu minimum harian dalam satu bulan (℃)
PCPMM = Rata-rata bulanan presipitasi (mm H2O)
PCPSTD = Standar deviasi untuk presipitasi harian dalam satu bulan (mm H2O/hari)
PCPSKW = Koefisien skewness untuk presipitasi harian dalam satu bulan
PR_W (1) = Probabilitas hari hujan yang diikuti oleh hari kering dalam satu bulan
PR_W (2) = Probabilitas hari hujan yang diikuti oleh hari hujan dalam satu bulan
RAINHHMX = Sepertiga dari curah hujan maksimum dalam satu bulan
SOLARAV = Rata-rata radiasi matahari setiap bulan (MJ/m2/hari)
DEWPT = Rata-rata kelembapan relatif (fraksi) setiap bulan (℃)
WNDAV = Rata-rata kecepatan angin setiap bulan (m/s)

d. Simulasi debit harian di Sub-DAS Piji

Hasil dari simulasi model SWAT menghasilkan data debit harian dan data hidrologi Sub DAS Piji selama masa simulasi. Penelitian ini membatasi simulasi dalam kurun waktu 1 tahun dengan kedetailan data pada level harian, mulai dari 1 Januari 2021 hingga 31 Desember 2021. Berdasarkan hasil simulasi, Bulan Januari merupakan bulan dengan debit harian rata-rata mencapai puncaknya. Debit harian puncak (peak flow) di Sub-DAS Piji terjadi pada 10 Januari 2021. Data pada tanggal 10 Januari 2021 dipilih menjadi data acuan dalam pembentukan skenario karena penelitian ini menggunakan perspektif penanganan bencana yang mengacu pada kondisi terburuk (worst case).



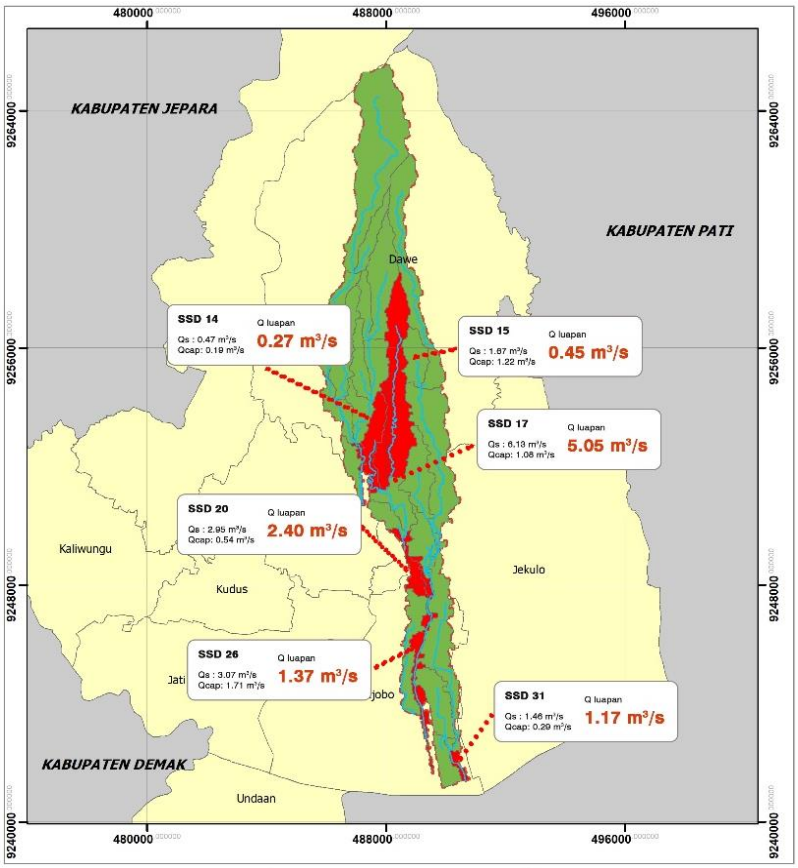
Gambar 5. Debit Harian Rata-Rata Bulan Januari 2021



Gambar 6. Kondisi Hidrologi Sub-DAS Piji

e. Identifikasi lokasi banjir di Sub-DAS Piji

Identifikasi lokasi banjir di Sub-DAS Piji dilakukan dengan mencari volume luapan yang merupakan hasil pengurangan antara volume hujan simulasi di kondisi curah hujan tertinggi dengan data kapasitas debit pada drainase eksiting. Volume hujan simulasi didapatkan dengan mengalikan debit simulasi harian hasil analisis tahap 1-d dengan angka 4 jam. Angka ini didasarkan pada asumsi menurut Hendri (2016), bahwa durasi hujan di Pulau Jawa adalah 4 jam dengan hujan efektif sebesar 90% dari jumlah curah hujan selama 24 jam.



Sumber: Hasil Analisis dan Fact Check pada Media Massa, 2023

Gambar 7. Wilayah pada Sub-DAS Piji yang Mengalami Banjir

Titik-titik pantau drainase yang memiliki kapasitas kurang dari debit simulasi menandakan adanya luapan air dari drainase yang menggenangi wilayah daratan. Dari 31 bagian Sub DAS Piji yang dianalisis, terdapat enam wilayah yang mengalami banjir akibat limpasan dengan debit yang lebih besar dari kapasitas debit drainase. Gambar 7 menunjukkan lokasi sub-sub-DAS yang mengalami banjir dan telah dikonfirmasi dengan kejadian riil melalui publikasi berita daring (Aji, 2021; Aji, 2023; Jati, 2021; Jiwandhana, 2022; Shani, 2021; Ula, 2023). Lokasi yang berpotensi banjir menurut hasil pemodelan memiliki kecocokan dengan kondisi di lapangan. Desa-desa mengalami banjir pada keenam wilayah tersebut diantaranya Desa Hadipolo, Hadiwarno, Tenggeles, Temulus, Golantepus, dan Kesambi. Berdasarkan survei media massa, ditemukan kesamaan penyebab banjir pada keenam desa tersebut. Banjir disebabkan oleh curah hujan tinggi yang tidak terserap pada hulu dan melimpas ke daerah hilir. Selain itu, terdapat temuan bahwa limpasan besar pada Sungai Piji menyebabkan tanggul sungai jebol dan memicu banjir pada Desa Tenggeles.

2. Menganalisis perubahan variabel yang strategis mengurangi banjir

Formulasi skenario penanganan banjir dilakukan melalui analisis sensitivitas dengan memodifikasi variabel untuk mengetahui signifikansinya terhadap pengurangan banjir. Pada analisis sensitivitas, nilai dasar yang dipakai dalam perubahan variabel adalah sebesar 10% dari nilai awal. Perubahan yang dilakukan pada analisis sensitivas meliputi indikator penggunaan lahan, infrastruktur hijau, dan infrastruktur abu-abu. Kemungkinan perubahan indikator diujicobakan pada pemodelan SWAT melalui 27 aksi. Aksi ini terdiri dari 21 aksi perubahan penggunaan lahan menjadi daerah bervegetasi dan penampungan air, 5 aksi praktek penerapan infrastruktur hijau, dan 1 aksi penyesuaian infrastruktur abu-abu. Kemudian dilakukan reduksi terhadap aksi-aksi yang tidak berdampak dalam menurunkan debit harian banjir dan dihasilkan 12 aksi potensial (Tabel 4).

Tabel 4. Dampak Penurunan Debit Banjir pada Penerapan Aksi

Perubahan Variabel	Persentase Penurunan Debit Banjir						Rata-Rata Penurunan
	SSD 14	SSD 15	SSD 17	SSD 20	SSD 26	SSD 31	
Indikator Penggunaan Lahan							
Perubahan luas permukiman 10% menjadi kolam	1.39	1.55	0.55	0.79	1.10	0.09	0.911%
Perubahan luas tanah kosong 10% menjadi hutan	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.00	0.022%
Perubahan luas tegalan 10% menjadi hutan	0.15	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.031%
Perubahan luas kebun campur 10% menjadi hutan	0.07	6.20	1.37	1.21	0.81	-0.09	1.595%
Pembebasan lahan untuk RTH di sepanjang sempadan sungai di area permukiman sebesar 10%	0.10	0.10	0.03	0.05	0.08	0.01	0.06%
Indikator Infrastruktur Hijau							
Penerapan *green roof* intensif 10% dari permukiman	0.42	0.43	0.12	0.20	0.32	0.04	0.26%
Penerapan *green roof* ekstensif 10% dari permukiman	0.26	0.26	0.08	0.12	0.19	0.03	0.16%
Penerapan RWH di perumahan 10% dari permukiman	1.31	2.90	1.09	1.03	2.91	1.98	1.99%
Penggantian jalan aspal konvensional menjadi permeabel sebesar 10%	0.10	0.10	0.03	0.05	0.08	0.01	0.06%
Penerapan penanaman tepi jalan pada area potensial sebesar 10%	0.16	0.16	0.05	0.07	0.12	0.02	0.10%

Perubahan Variabel	Persentase Penurunan Debit Banjir						Rata-Rata Penurunan
	SSD 14	SSD 15	SSD 17	SSD 20	SSD 26	SSD 31	
Indikator Penggunaan Lahan							
Penerapan *bioswale* dari 10% area permukiman	3.41	3.44	1.00	1.62	2.56	0.33	2.06%
Indikator Infrastruktur Abu-abu							
Peningkatan kapasitas drainase 10% dari kapasitas semula	7.09	27.05	2.14	2.26	12.50	2.45	4.45%

3. Formulasi skenario penanganan banjir Sub-DAS Piji

Hasil analisis sensitivitas pada tahap sebelumnya digunakan untuk penyusunan skenario penanganan banjir. Pada tahap formulasi skenario, peneliti melakukan kombinasi dan eksplorasi aksi dari analisis sensitivitas dan studi literatur. Pada prinsipnya, skenario 1 merupakan gabungan seluruh aksi yang potensial dari hasil sensitivitas. Kemudian, jika hasil pengujian belum menunjukkan pengurangan banjir yang optimal maka dilakukan modifikasi dari skenario sebelumnya untuk menghasilkan skenario baru. Proses ini dilakukan secara terus menerus hingga didapatkan skenario yang dapat menangani banjir secara tuntas (Tabel 5).

Tabel 5. Pembentukan Skenario Penanganan Banjir Sub-DAS Piji

Skenario 1	Skenario 2
Skenario 1 atau skenario moderat merupakan gabungan dari 12 aksi hasil analisis sensitivitas yang memiliki presentase perubahan sebesar 10% dari kondisi eksisting meliputi: • Perubahan luas kebun campur menjadi hutan • Perubahan luas permukiman menjadi kolam • Perubahan luas tegalan menjadi hutan • Perubahan luas tanah kosong menjadi hutan • Penerapan *bioswale* pada area permukiman • Penerapan RWH pada atap perumahan • Penerapan *green roof* intensif pada atap perumahan • Penerapan *green roof* ekstensif pada atap perumahan • Penerapan *vegetated filter strip* pada area potensial • Penggantian jalan aspal konvensional menjadi permeabel • Pembebasan lahan RTH di sepanjang sempadan sungai di area permukiman • Penambahan kapasitas drainase	Skenario 2 merupakan modifikasi dari skenario 1 dimana aksi yang memiliki rasionalitas penerapan lebih tinggi penerapannya ditingkatkan dari 10% menjadi 20%. Hal ini menjadikan aksi skenario 2 seragam dengan skenario 1 namun dengan perubahan pada aksi-aksi di bawah ini yang penerapannya ditingkatkan menjadi 20%: • Perubahan luas kebun campur menjadi hutan • Perubahan luas permukiman menjadi kolam • Penerapan RWH pada atap perumahan • Penerapan *vegetated filter strip* pada area potensial • Penggantian jalan aspal konvensional menjadi permeabel • Pembebasan lahan RTH di sepanjang sempadan sungai di area permukiman • Penambahan kapasitas drainase pada sub-sub-DAS 14, 17, 20, 26, dan 31
Dampak penurunan: 29.53% **Sub-sub-DAS banjir yang tertangani**: 1 dari 6 (Sub-sub-DAS 15)	**Dampak penurunan:** 40.34% **Sub-sub-DAS banjir yang tertangani:** 1 dari 6 (Sub-sub DAS 15)

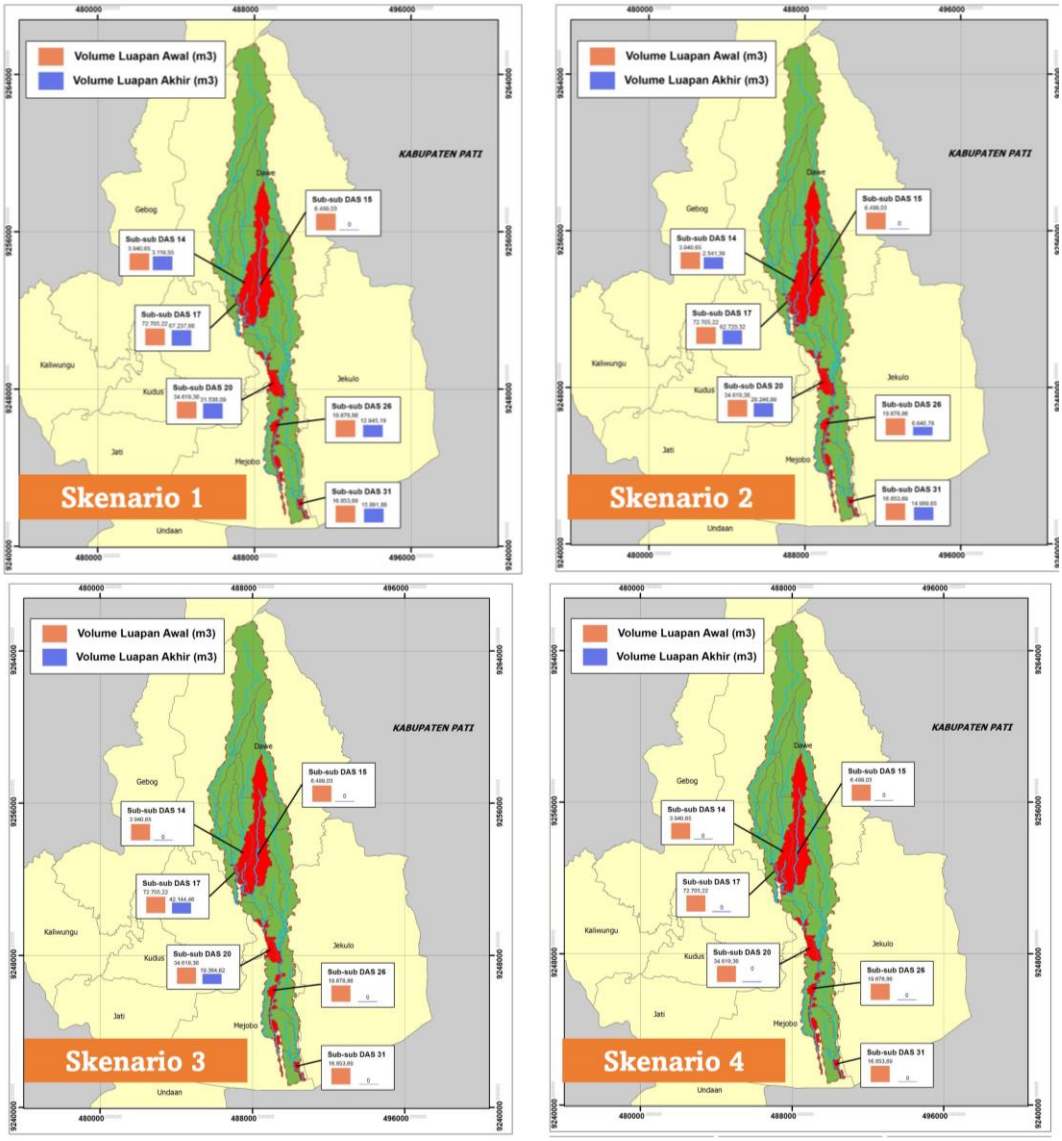
Skenario 3	Skenario 4
Skenario 3 merupakan lanjutan dari skenario 2 dengan peningkatan penerapan pada aksi yang sensitif menurunkan banjir. Hal ini menjadikan aksi skenario 3 seragam dengan skenario 2 namun dengan perubahan pada aksi berikut ini yang ditingkatkan menjadi 50%: • Penerapan RWH pada atap perumahan • Penambahan kapasitas drainase 50% pada sub-sub-DAS 14, 17, 20, 26, dan 31 Selain itu, diusulkan pula aksi baru sebagai berikut ini: • Intensifikasi vegetasi pada pekarangan perumahan	Skenario merupakan pengembangan dari skenario 3 yang belum berhasil menyelesaikan banjir di dua wilayah yakni sub-sub-DAS 17 dan 20. Hal ini menjadikan aksi skenario 4 seragam dengan skenario 3 dengan beberapa penyesuaian baru yakni: • Penambahan kapasitas drainase 100% pada sub-sub-DAS 17 dan 20 • Penyesuaian kemiringan, bentuk, dan jenis drainase untuk mengoptimalkan pengaliran
Dampak penurunan: 81.02 % **Sub-sub-DAS banjir yang tertangani:** 4 dari 6 (Sub-sub DAS 14, 15, 26, 31)	**Dampak penurunan:** 100% **Sub-sub-DAS banjir yang tertangani:** 6 dari 6 (Sub-sub DAS 14, 15, 17, 20, 26, 31)

Pengembangan skenario 1 dimulai dengan menggabungkan penerapan seluruh aksi dari hasil analisis sensitivitas dengan frekuensi sebesar 10%. Skenario 1 hanya mampu mengurangi banjir sebesar 29,53% dan menangani banjir pada satu dari enam wilayah sub-sub-DAS, yaitu sub-sub-DAS 15. Oleh karena itu dibutuhkan peningkatan frekuensi penerapan aksi-aksi dengan sensitivitas signifikan untuk mereduksi luapan air. Upaya-upaya reduksi luapan ini dengan cara meningkatkan kemampuan daya serap dan kemampuan pelimpasan air. Hal tersebut kemudian dilakukan pada skenario 2. Skenario 2 mengakomodasi aksi perubahan penggunaan lahan yaitu mendorong perubahan luas kebun campur menjadi hutan dan perubahan luas permukiman menjadi kolam. Vegetasi hutan memiliki daya serap yang lebih tinggi dibandingkan kebun campur. Kolam berperan dalam meningkatkan lahan untuk penampungan air di area permukiman yang cenderung tidak memiliki banyak media resapan. Skenario 2 juga mengupayakan peningkatan penerapan infrastruktur hijau yang rasional menjadi dua kali lipat pada kegiatan *Rainwater Harvesting* (RWH) pada atap perumahan, *vegetated filter strip* pada area potensial, penggantian jalan aspal konvensional menjadi permeabel, pembebasan lahan RTH di sepanjang sempadan sungai di area permukiman, serta peningkatan kapasitas drainase pada sub-sub-DAS yang belum tertangani banjirnya. Wilayah banjir yang belum tertangani meliputi sub-sub-DAS 14, 17, 20, 26, dan 31. Hasil simulasi skenario 2 menambah potensi reduksi banjir menjadi 40,34%. Namun wilayah banjir yang tertangani masih sama dengan skenario 1, yakni hanya sub-sub-DAS 15.

Dari hasil temuan simulasi skenario 2, dilakukan modifikasi yang menghasilkan skenario 3. Pada skenario ini, infrastruktur abu-abu yang memiliki signifikansi penurunan banjir yang besar ditingkatkan dari 20% menjadi 50% pada sub-sub-DAS yang masih mengalami banjir. Selain itu, RWH sebagai infrastruktur hijau yang paling signifikan tanpa mengubah penggunaan lahan juga ditingkatkan dari 20% menjadi 50%. Selain sebagai media resap tambahan, RWH juga berfungsi untuk menampung air tambahan sehingga air hujan dapat dimanfaatkan. Guna meningkatkan potensi resapan lainnya, diusulkan aksi baru berupa intensifikasi vegetasi pada pekarangan. Seluruh permukiman diasumsikan dapat memanfaatkan kawasan dasar hijaunya dengan menanam vegetasi tambahan. Usulan aksi baru ini muncul karena wilayah yang masih mengalami banjir didominasi oleh permukiman. Intensifikasi pekarangan rumah ini berarti kegiatan menambah vegetasi pada lahan permukiman yang tidak terbangun oleh bangunan rumah sebagai media infiltrasi air.

Aksi-aksi modifikasi tersebut mendukung peningkatan reduksi luapan sebesar dua kali lipat dari skenario 2 yakni dari 40,34% menjadi 81,02% dengan empat dari enam sub-sub-DAS tertangani luapannya.

Skenario 3 menyisakan sub-sub-DAS 17 dan 20 sebagai wilayah yang belum tertangani banjirnya. Oleh karena itu, kembali dilakukan lagi modifikasi dan formulasi skenario 4 dengan penambahan kapasitas drainase dari 50% menjadi 100%. Upaya ini dilakukan terhadap sub-sub-DAS yang masih terdampak (sub-sub-DAS 17 dan 20). Kemudian, dilakukan rekayasa atau penyesuaian kemiringan, bentuk, dan jenis drainase untuk mengoptimalkan dan meningkatkan kapasitas pengaliran. Penyesuaian drainase ini meliputi bentuk drainase trapezium untuk mengakomodasi jenis luapan yang besar dan peningkatan kemiringan dasar menjadi 2% sebagai nilai kemiringan ideal di kawasan permukiman. Upaya penyesuaian drainase ini menjadikan skenario 4 berhasil menurunkan luapan secara keseluruhan atau 100%.



Gambar 8. Penurunan Banjir pada Setiap Penerapan Skenario

KESIMPULAN

Pertumbuhan kegiatan manusia yang tidak terkendali dapat mengganggu sistem tata air pada suatu wilayah. Pembangunan di Kudus yang masif menyebabkan salah satu Sub DAS di dalamnya berkondisi kritis, yakni Sub DAS Piji. Hasil simulasi banjir dengan model SWAT menunjukkan bahwa Sub DAS Piji memiliki potensi banjir dengan volume 154.294,82 m^3 dalam sehari pada kondisi curah hujan tertinggi. Fenomena banjir ini perlu dikelola karena dapat mengganggu aktivitas sosial ekonomi di dalamnya. Perencanaan skenario penanganan banjir di Sub DAS Piji pada penelitian ini menggabungkan indikator penggunaan lahan, infrastruktur hijau, dan infrastruktur abu-abu. Penanganan banjir pada indikator penggunaan lahan dilakukan dengan mendorong perubahan fungsi penggunaan lahan yang lebih mampu menyerap air atau pengurangan intensitas penggunaan lahan untuk mengendalikan kawasan terbangun. Penerapan infrastruktur hijau pada level masyarakat dan pemerintah juga dibutuhkan untuk meningkatkan penyerapan air dan penyimpanan air melalui atap bervegetasi, jalan permeabel, penanaman tepi jalan, *bioswale*, hingga pemanenan hujan. Kemudian, pengelolaan infrastruktur abu-abu dalam hal kapasitas, bentuk, kemiringan, dan jenis drainase juga turut diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

Adikari, Y., & Yoshitani, J. (2009). Global Trends in Water-Related Disasters: an Insight for Policymakers The United Nations World Water Development Report 3 Water in a Changing World. *Unesco*, 28.

Agonafir, C., Lakhankar, T., Khanbilvardi, R., Krakauer, N., Radell, D., & Devineni, N. (2023). A Review of Recent Advances in Urban Flood Research. *Water Security*, *19*(July), 100141. https://doi.org/10.1016/j.wasec.2023.100141.

Aji, D. U. (2021). *Tanggul Sungai Piji Jebol, Puluhan Rumah di Kudus Kebanjir*. DetikNews.

Aji, D. U. (2023). *Banjir Masih Genangi 5 Kecamatan di Kudus, Ratusan Warga Mengungsi*. DetikJateng. Diakses dari https://www.medcom.id/nasional/daerah/0k8RQEaN-dua-titik-banjir-di-jalur-pantura-timur-kudus.

Akbar, R. (2023). *Tiga Bulan Pertama Tahun 2023, Sembilan Desa di Kudus Terendam Banjir Hingga Tiga Kali*. Tribunnews. Diakses dari https://muria.tribunnews.com/2023/03/03/tiga-bulan-pertama-tahun-2023-sembilan-desa-di-kudus-terendam-banjir-hingga-tiga-kali?page=2.

Aldrian, E., Karmini, M., & Budiman. (2011). *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia* (D. Sucahyono & I. Budiani (eds.)). Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedeputian Bidang Klimatologi BMKG.

Anggraini, T. A. (2018). *Evaluasi Sistem Drainase Dalam Upaya Penanggulangan Banjir di Kelurahan Lumpue Kecamatan Bacukiki Barat Kota Parepare*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

Arnold Jr, C. L., & Gibbons, C. J. (1996). Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American planning Association*, 62(2), 243-258.

Bakornas PB. (2007). *Pengenalan Karakteristik Bancana dan Upaya Mitigasinya Di Indonesia*.

Bappeda Kabupaten Kudus. (2013). Kajian Lingkungan Hidup Strategis Kabupaten Kudus. *Bapedda Kabupaten Kudus*, 1–162.

BNPB. (2022). *Pemetaan Risiko Bencana DAS Juwana*. BNPB. Diakses dari https://bnpb.go.id/berita/pemetaan-risiko-bencana-das-juwana.

Chandrappa, A. K., & Biligiri, K. P. (2016). Pervious Concrete as a Sustainable Pavement Material-Research Findings and Future Prospects: A State-of-the-Art Review. *Construction and Building Materials*, *111*, 262–274. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054.

Chen, W., Wang, W., Huang, G., Wang, Z., Lai, C., & Yang, Z. (2021). The Capacity of Grey Infrastructure in Urban Flood Management: A comprehensive Analysis of Grey Infrastructure and the Green-Grey Approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *54*(January), 102045. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102045.

Denchak, M. (2019). *Green Infrastructure: How to Manage Water in a Sustainable Way*. NRDC. Diakses dari https://www.nrdc.org/stories/green-infrastructure-how-manage-water-sustainable-way#whatis.

Department of consumer and business Services. (2019). *Oregon Smart Guide: Rainwater Harvesting*.

Elkins, A. (2017). The gen on green roofs. *Build magazine*, 160.

EPA. (2022). *What is Green Infrastructure?* Environmental Protection Agency.

Feloni, E., Anayiotos, A., & Baltas, E. (2022). A Spatial Analysis Approach for Urban Flood Occurrence and Flood Impact Based on Geomorphological, Meteorological, and Hydrological Factors. *Geographies*, *2*(3), 516–527. https://doi.org/10.3390/geographies2030031.

Galloway, G., Brody, S., Reilly, A., & Highfield, W. E. (2018). The Growing Threat of Urban Flooding: A National Challenge 2018. In *University of Maryland & Texas A&M University*.

Giang, P. Q., & Vy, T. T. (2021). Will Climate Change Exacerbate the Economic Damage of Flood to Agricultural Production? A Case Study of Rice in Ha Tinh Province, Vietnam. *Frontiers in Environmental Science*, *9*(June), 1–13. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.643947.

Hasan, F. M., Parman, S., & Aji, A. (2016). Sebaran Spasial Lahan Kritis Untuk Prioritas Rehabilitasi Berbasis Sistem Informasi Geografis Dan Penginderaan Jauh Di Das Juwana Hulu Muria. *Geo-Image*, *5*(1), 1–5.

Hendri, A. (2016, January). Analisis Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar Kabupaten Kampar. *In Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)* (Vol. 1, pp. 297-304).

Hilmi, M. F. (2018). *Analisis Sistem Drainase Untuk Menanggulangi Banjir Pada Kawasan Mapoldasu Medan*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Jati, R. (2021). *Sebanyak 10.672 Jiwa Terdampak Banjir di Kabupaten Kudus*. BNPB. Diakses dari https://bnpb.go.id/berita/sebanyak-10-672-jiwa-terdampak-banjir-di-kabupaten-kudus.

Jiwandhana, A. (2022). *Balai Desa Golantepus Kudus Dikepung Banjir*. Muria News.

Justiari, M. P. J., & Widi, H. (2023). *Banjir Lumpuhkan Sepertiga Wilayah Kudus*. Kompas. Diakses dari https://www.kompas.id/baca/nusantara/2023/03/02/banjir-lumpuhkan-sepertiga-wilayah-kudus.

Khadka, A., Kokkonen, T., Niemi, T. J., Lähde, E., Sillanpää, N., & Koivusalo, H. (2020). Towards Natural Water Cycle in Urban Areas: Modelling Stormwater Management Designs. *Urban Water Journal*, *17*(7), 587–597. https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700285.

Kiedrzyńska, E., Kiedrzyński, M., & Zalewski, M. (2015). Sustainable Floodplain Management for Flood Prevention and Water Quality Improvement. *Natural Hazards*, *76*(2), 955–977. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1529-1.

Kwiatkowski, M., Welker, A. L., Traver, R. G., Vanacore, M., & Ladd, T. (2007). Evaluation of an Infiltration Best Management Practice Utilizing Pervious Concrete. *Journal of the American Water Resources Association*, *43*(5), 1208–1222. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00104.x.

Li, Y. H., Tung, C. P., & Chen, P. Y. (2017). Stormwater management toward water supply at the community scale—A case study in northern Taiwan. Sustainability, 9(7), 1206. https://doi.org/10.3390/su9071206.

Mado, L., & Bastian, A. (2018). *Korelasi Pemeliharaan Drainase terhadap Kejadian Banjir di Kecamatan Panakkukang Kota Makassar*. Universitas Muhammadiyah Makassar.

Malingreau, J., & Christiani, R. (1981). A Land Cover/Land Use Classification for Indonesia. *The Indonesia Journal of Geoghraphy*, 13–50.

Miardini, A., Gunawan, T., & Murti, S. H. (2016). Kajian Degradasi Lahan Sebagai Dasar Pengendalian Banjir Di Das Juwana. *Majalah Geografi Indonesia*, *30*(2), 134-141. https://doi.org/10.22146/mgi.15633.

Mustofa, A. (2022). *Kritis, Puncak 29 Pegunungan Muria Kudus Butuh Rehabilitasi*. Radar Kudus. Diakses dari https://radarkudus.jawapos.com/kudus/691647719/kritis-puncak-29-pengunungan-muria-kudus-butuh-rehabilitasi

Nazaruddin, A. (2020). *Di Kawasan Pegunungan Muria, Jateng, Tujuh Sub-DAS Kritis*. Antara News. Diakses dari https://www.antaranews.com/berita/1331538/di-kawasan-pegunungan-muria-jateng-tujuh-sub-das-kritis.

Pamungkas, A., & Purwitaningsih, S. (2019). Green and Grey Infrastructures Approaches in Flood Reduction. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, *10*(5), 343–362. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-03-2019-0010.

Pannell, D. J. (1989). *Sensitivity Analysis: Strategies, Methods, Concepts, Examples*.

Perdana, A. P. (2020). *Tujuh Sub-Daerah Aliran Sungai Kawasan Muria di Jateng Kritis*. Diakses dari https://www.kompas.id/baca/nusantara/2020/11/22/tujuh-sub-daerah-aliran-sungai-kawasan-muria-kritis/.

PKPLH Kudus. (2022). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Kudus*. Diakses dari https://pkplh.kuduskab.go.id/site/media/Buku-II.-DIKPLHD-Kudus-kab.2021.pdf.

Pratama, S. I. (2021). *Hanya 108 DAS yang Diprioritaskan untuk Dipulihkan hingga 2024*. BETAHITA. Diakses dari https://betahita.id/news/lipsus/6953/hanya-108-das-yang-diprioritaskan-untuk-dipulihkan-hingga-2024.html?v=1645264997.

Purwitaningsih, S. (2017). *Skenario Pengurangan Banjir Berdasarkan Tata Guna Lahan di Daerah Aliran Sungai Kedurus Menggunakan Model Hidrologi SWAT* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Qin, Y. (2020). Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies. Water, 12(12), 3579. https://doi.org/10.3390/w12123579.

Rahayu S, Widodo R.H., van Noordwijk M, Suryadi I & Verbist B. (2009). Monitoring air di daerah aliran sungai. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - Southeast Asia Regional Office. 104 p.

Raseukiy, H. I. (2022). *Krisis! Ini Sejumlah Sungai Strategis Nasional yang Terancam Kelestariannya*. Depok Lestari. Diakses dari https://depoklestari.com/krisis-ini-sejumlah-sungai-strategis-nasional-yang-terancam-kelestariannya/.

Rokhim, A. (2022). *Digerus Erosi, Sungai Juwana Pati Perlu Normalisasi*. Radar Kudus. Diakses dari https://radarkudus.jawapos.com/nasional/691651627/digerus-erosi-sungai-juwana-pati-perlu-normalisasi.

Rosyidie, A. (2013). Banjir: fakta dan dampaknya, serta pengaruh dari perubahan guna lahan. Jurnal perencanaan wilayah dan kota, 24(3), 241-249. DOI: 10.5614/jpwk.2013.24.3.1.

Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). *Pengantar Hidrologi*. Diakses dari http://repository.lppm.unila.ac.id/26780/1/PENGANTAR HIDROLOGI.pdf.

Sari, S. (2022). *Sungai Juwana Erosi, BPDAS: Kawasan Kendeng Harus Reboisasi*. Harian Muria. Diakses dari https://harianmuria.com/news/sungai-juwana-erosi-bpdas-kawasan-kendeng-harus-direboisasi/.

SEMCOG. (2008). *Low Impact Development Manual for Michigan A Design Guide for Implementers and Reviewers*. 512.

Shani, R. (2021). *Dua Titik Banjir di Jalur Pantura Timur Kudus*. Medcom.Id. Diakses dari https://www.medcom.id/nasional/daerah/0k8RQEaN-dua-titik-banjir-di-jalur-pantura-timur-kudus.

Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R. (2005). Impacts of Impervious Surface on Watershed Hydrology: A Review. *Urban Water Journal*, *2*(4), 263–275. https://doi.org/10.1080/15730620500386529.

Sudarto. (2009). *Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Peningkatan Jumlah Aliran Permukaan*. Universitas Sebelas Maret.

Sun, X., Li, R., Shan, X., Xu, H., & Wang, J. (2021). Assessment of Climate Change Impacts and Urban Flood Management Schemes in Central Shanghai. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *65*(August 2020), 102563. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102563.

Syahfri, R. R. (2020). *Kajian Banjir Sungai Juwana dengan Pemodelan Hidrodinamik untuk Estimasi Potensi Kerugian Lahan Pertanian* [Universitas Gajah Mada]. Diakses dari https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/187410#filepdf.

Toosi, A. S., Danesh, S., Ghasemi Tousi, E., & Doulabian, S. (2020). Annual and Seasonal Reliability of Urban Rainwater Harvesting System Under Climate Change. *Sustainable Cities and Society*, *63*(July), 102427. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102427.

Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan, Beta Offset. *Yogyakarta*. Hal, 195-273.

Ula, V. M. (2023). *Terdampak Banjir, 2.500 Warga Temulus Kudus Pilih Bertahan di Rumah*. Muria News.

Utami, K. D. (2023). *Tanggul Sungai Sepanjang 23 Kilometer di Jateng Kritis*. Kompas. Diakses dari https://www.kompas.id/baca/nusantara/2023/02/23/tanggul-sungai-sepanjang-23-kilometer-di-jateng-kritis?.

Vijayaraghavan, K. (2016). Green Roofs: A Critical Review on the Role of Components, Benefits, Limitations and Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *57*, 740–752. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119.

Wahid, A. M. Y. (2014). *Pengantar Hukum Tata Ruang*. Kencana.

Wartapati. (2021). *Lahan Kritis Gunung Muria Parah, Ganjar Ajak Warga Menanam Pohon*. Wartapati. Diakses dari https://wartapati.com/lahan-kritis-gunung-muria-parah-ganjar-ajak-warga-menanam-pohon/

Wijanarko, M. (2022). *DAS Juwana Masuk Program Prioritas Nasional Pemetaan Risiko Bencana*. Timlo Net. Diakses dari https://timlo.net/baca/68719761554/das-juwana-masuk-program-prioritas-nasional-pemetaan-risiko-bencana/.

Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, M., & Arnold, J. G. (2013). *ArcSWAT User's Guide*.

Yusuf, S. M. (2010). Kajian Respon Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Karakteristik Hidrologi pada DAS Cirasea Menggunakan Model MWSWAT. *Sekolah Pasca Sarjana IPB*. IPB University.