

TATA KELOLA LANSKAP RAWAPENING BERDASARKAN TINGKAT RESIKO BENCANA LINGKUNGAN DI SUB DAS RAWAPENING

(Landscape governance of Rawapening based on the level of environmental disaster risk in the Rawapening Sub Watershed)

Djati Mardiatno¹ Faridah², Sunarno², Dwi Wahyu Arifudiin Najib¹, Yuli Widyaningsih¹, M. Anggri Setiawan¹

¹Laboratorium Geomorfologi Lingkungan dan Mitigasi Bencana, Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

²Laboratorium Sensor dan Sistem Telekomunikasi (SSTK) Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Email: djati.mardiatno@ugm.ac.id

Diterima: 09 Desember 2020, Direvisi : 18 Februari 2021, Disetujui : 06 Maret 2021

ABSTRACT

Lake ecosystem balance is influenced by the interaction and interrelation of upstream and downstream processes of catchment. Environmental degradation upstream affects the trophic status of the lake, triggering the risk of environmental disasters. Integrated lake management is a form of governance to achieve sustainable development goals. This study aims to analyze the implementation of the Rawapening Lake management program plan spatially by considering the environmental risk conditions of the Rawapening catchment area. Semi-quantitative analysis is used to assess the level of disaster risk in Rawapening catchment area. The zoning results of environmental disaster risk areas are used as the basis for the implementation of the 2019 Rawapening lake management plan descriptively. The results showed that Rawapening catchment area has a very low, low, medium, high, and very high risk levels. Panjang Sub Watersheds, Galeh Sub Watersheds, Parat Sub Watersheds, Sragen Sub Watersheds have a high to very high risk level. The Rengas Sub Watershed, Torong Sub Watershed falls into the medium risk category. Low to very low risk levels are scattered in the Legi Sub Watershed, the Kedung Ringis Sub Watershed, and the Ringis Sub Watershed. The complexity of the problems in the agricultural, livestock, residential and industrial sectors is the main contributor to sediment and pollutants in the lake system. The integration of upstream and downstream processes is used as a consideration in conducting spatial planning for Rawapening Lake management to achieve management objectives.

Keywords: environmental disaster; eutrophication; landscape management

ABSTRAK

Keseimbangan ekosistem danau dipengaruhi oleh interaksi dan interelasi proses hulu dengan hilir DAS. Degradasi lingkungan di bagian hulu berpengaruh terhadap status trofik danau, memicu resiko bencana lingkungan. Pengelolaan danau secara terpadu merupakan wujud tata kelola untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi rencana program pengelolaan Danau Rawapening secara spasial dengan mempertimbangkan kondisi resiko bencana lingkungan Sub DAS Rawapening. Analisis semi kuantitatif digunakan untuk menilai tingkat resiko bencana Sub DAS Rawapening. Hasil zonasi kawasan resiko bencana lingkungan dijadikan dasar dalam implelementasi Rencana Pengelolaan Danau Rawapening Tahun 2019 secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan Sub DAS Rawapening memiliki tingkat resiko sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Sub Sub DAS Panjang, Sub Sub DAS Galeh, Sub Sub DAS Parat, Sub Sub DAS Sraten memiliki tingkat resiko tinggi hingga sangat tinggi. Sub Sub DAS Rengas, Sub Sub DAS Torong masuk ke dalam kategori resiko sedang. Tingkat resiko rendah hingga sangat rendah tersebar pada Sub Sub DAS Legi, Sub Sub DAS Kedung Ringis, Sub Sub DAS Ringis. Kompleksitas permasalahan dalam sektor pertanian, peternakan, permukiman dan industri menjadi penyumbang utama sedimen dan polutan pada sistem danau. Integrasi proses hulu dengan hilir dijadikan sebagai pertimbangan dalam melakukan perencanaan spasial pengelolaan Danau Rawapening untuk mecapai tujuan pengelolaan.

Kata kunci: bencana lingkungan; eutrofikasi; pengelolaan lanskap

I. PENDAHULUAN

Danau merupakan sebuah ekosistem yang menyediakan berbagai jasa lingkungan (*ecosystem services*). Jasa lingkungan ekosistem danau meliputi penyediaan sumber daya air, sumber daya alam, serta fungsi sosial budaya lainnya (Schallenberg *et al.*, 2013). Perubahan fungsi jasa lingkungan danau dipengaruhi oleh kompleksitas permasalahan yang terjadi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) (Álvarez *et al.*, 2017; David *et al.*, 2020). Kerusakan DAS yang menjadi pemasok materi ke danau menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan ekosistem danau (Fazli *et al.*, 2016), sehingga dapat menimbulkan

bencana lingkungan (Lin, Shen, Zhou, & Lyu, 2020; Lyu, Shen, Yang & Zhou, 2020).

Bencana lingkungan merupakan suatu zat, keadaan atau kejadian yang mengancam lingkungan alam sekitar dan/ atau merugikan kesehatan manusia (Iderawumi, 2019). Kejadian bencana lingkungan, terutama pada ekosistem danau berkaitan erat dengan tingkat pencemaran dan status trofik danau (Shah, Achyuthan, Lone, Lone, & Malik, 2020; Utete & Fregene, 2020). Eutrofikasi merupakan proses alam, adapun proses eutrofikasi yang dipercepat mampu memicu terjadinya bencana lingkungan. Proses eutrofikasi merupakan proses alam

yang terjadi secara perlahan, tetapi dapat dipercepat oleh proses interaksi manusia dengan lingkungan danau dan/ atau bagian hulu DAS. Hasil kajian terdahulu menyebutkan bahwa proses antropogenik (aktivitas manusia) muncul sebagai kasus terbanyak penyebab terjadinya eutrofikasi (Hughes *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2020; Shang *et al.*, 2012; Srinivasan, Seto, Emerson, & Gorelick, 2013; Zhang, Li, & Li, 2018). Sumber daya vital danau yang berhadapan dengan masifnya proses antropogenik mampu menjadi ancaman.

Danau Rawapening merupakan satu dari 15 danau prioritas yang ditetapkan dalam Konferensi Nasional Danau Indonesia (KNDI) 2009 (Aprilliyana, 2015). Faktor penyebab Danau Rawapening menjadi danau prioritas adalah variasi nilai-nilai strategis, namun secara bersamaan terjadi sedimentasi tinggi, yang dipicu oleh meluasnya tutupan permukiman, pertanian yang masif, dan industri di DAS tersebut (Purboseno, 2013), serta degradasi yang semakin intensif (Rencana Pengelolaan Jangka Menengah Nasional 2015–2019). Permasalahan eutrofikasi dan sedimentasi terus mengancam keberadaan Rawapening (Partomo, Mangkuprawira, Vitalaya, Hubeis, & Adrianto, 2011). Danau Rawapening berperan sebagai tempat penampungan dan pengendapan sedimen serta nutrisi dari sungai di sekitarnya. Danau Rawapening menerima inlet dari 16 sungai dan hanya memiliki 1 outlet, menyebabkan akumulasi materi sangat tinggi. Pendangkalan danau oleh tingginya laju sedimentasi mengindikasikan terjadinya kerusakan

lingkungan di bagian hulu sehingga mempercepat proses eutrofikasi danau.

Eutrofikasi danau yang menyebabkan pesatnya perkembangan eceng gondok (Heriza, Sukmono, & Bashit, 2018; Yuningsih, Soedarsono, & Anggoro, 2014) menjadi permasalahan yang tidak terselesaikan hingga saat ini. Kondisi eutrofik Danau Rawapening pada tahun 1976 telah memicu pertumbuhan tumbuhan air. Pada tahun 1994, penutupan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) di Danau Rawapening mencapai 18,45% (sekitar 120 Ha), diimbangi oleh *Salvinia* (*Salvinia cucullata*) 15,38% (sekitar 100 Ha) dan *Hydrilla* (*Hydrilla verticillata*) 7,69% (sekitar 20-50 Ha). Adapun pada tahun 2004-2005 penutupan eceng gondok menjadi 60-70%. Sampai pada tahun 2017, lebih dari 70% wilayah danau ditutupi oleh eceng gondok (Soeprbowati, 2017). Saat ini kondisi Danau Rawapening sudah termasuk kategori eutrofik menuju hipereutrofik (Samudra, Soeprbowati, & Izzati, 2013).

Identifikasi sumber masalah merupakan langkah awal dalam penanggulangan degradasi lingkungan (Álvarez *et al.*, 2017; Ortiz-Reyes & Anex, 2018). Kajian terkait dengan sumber permasalahan lingkungan Danau Rawapening sudah banyak dilakukan (Piranti, Rahayu, & Waluyo, 2018; Samudra *et al.*, 2013; Soeprbowati & Suedy 2010; Yuningsih *et al.*, 2014; Zulfia & Aisyah 2013). Besarnya pasokan material sedimen, unsur N, serta unsur P adalah salah satu penyebab utama pendangkalan serta eutrofikasi yang terjadi di Danau Rawapening (BPDAS Pemali Jratun, 2018). Pemodelan hidrologi

dapat menjadi alternatif dalam melakukan analisis spasial resiko bencana lingkungan (Fazli *et al.*, 2016; Shang *et al.*, 2012), sehingga diketahui pola hubungan sebab-akibat antara proses hulu dengan hilir di Sub DAS Rawapening. Hasil analisis dapat dijadikan pertimbangan dalam penentuan lokasi dan jenis program kegiatan pengelolaan Danau Rawapening. Kompleksitas permasalahan di Rawapening dapat diuraikan dengan mengetahui penyebab eutrofikasi dan sedimentasi. Permasalahan dampak eutrofikasi yang sangat nyata adalah ***blooming*** eceng gondok yang meningkat tajam di tubuh danau. Upaya pengendalian eceng gondok telah dilakukan sejak lama melalui berbagai skenario kebijakan (Partomo *et al.*, 2011), namun hasilnya belum menunjukkan terjadinya perubahan yang signifikan.

Upaya pengelolaan terpadu tertuang dalam dokumen Rencana Pengelolaan Danau Rawapening Tahun 2019. Integrasi berbagai pemangku kepentingan merupakan salah satu upaya penting dalam pengelolaan Danau Rawapening. Integrasi, harmonisasi, serta sinkronisasi pemangku kepentingan bertujuan untuk mencapai sinergitas serta pembagian hak dan tanggungjawab yang jelas dalam proses pengelolaan. Penyusunan dokumen Rencana Pengelolaan Danau Rawapening di Semarang pada tahun 2019 diharapkan menjadi salah satu langkah peningkatan komitmen dan kepaduan program kegiatan antar pemangku kepentingan (Puryono, 2019).

Analisis terkait dengan rencana program kegiatan dengan kondisi permasalahan di lapangan penting

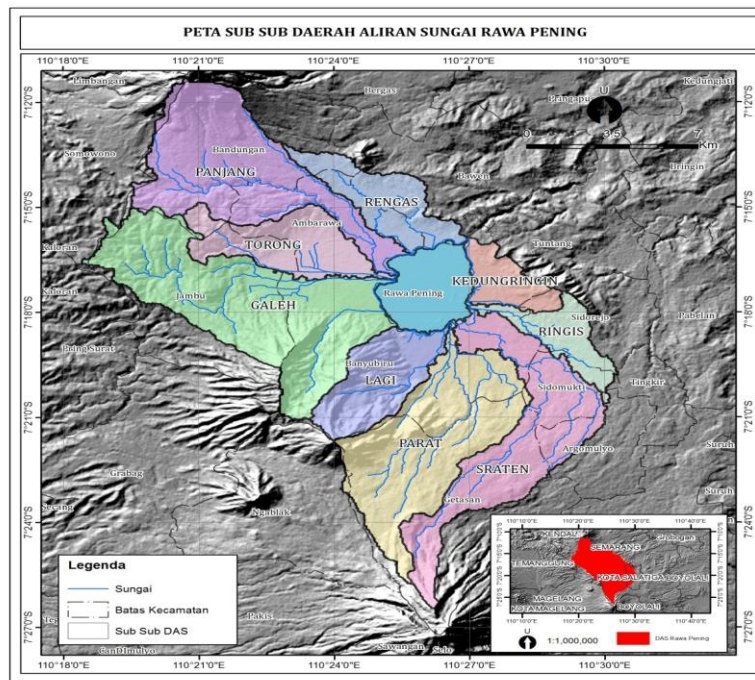
dilakukan sebagai bentuk tolok ukur efektifitas program serta evaluasi di masa mendatang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi rencana program pengelolaan Danau Rawapening secara spasial dengan mempertimbangkan kondisi resiko bencana lingkungan Sub DAS Rawapening. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka dilakukan analisis tingkat resiko bencana lingkungan dan analisis deskriptif rencana pengelolaan Danau Rawapening. Informasi ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menilai rencana program pengelolaan Danau Rawapening di masa mendatang.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi Kajian

Sub DAS Rawapening memiliki luasan 27.558,8 Ha dan terletak pada DAS Tuntang, tepatnya pada wilayah hulu DAS Tuntang. DAS Tuntang memiliki luasan total 108.973,04 Ha dan masuk ke dalam kategori dipulihkan kondisi daya dukungnya, sedangkan Danau Rawapening merupakan salah satu Danau Prioritas I Nasional. Secara administrasi, Sub DAS Rawapening sebagian besar berada pada wilayah Kabupaten Semarang. Sub DAS ini dikelilingi oleh kompleks gunung serta pegunungan. Bagian Utara, Barat, dan Selatan merupakan lokasi Gunung Ungaran, kompleks Gunung Telomoyo, dan Gunungapi Merbabu, sedangkan di bagian Timur terdapat pegunungan struktural.

Sub DAS Rawapening memiliki luas 27.558 Ha. Sub DAS Rawapening terbagi menjadi 9 sub sub DAS (Gambar 1). Sub sub DAS yang terbentuk memiliki outlet



Gambar (Figure) 1. Peta Sub DAS Rawapening (The map of Rawapening Sub Watershed)

yang langsung masuk ke Danau Rawapening. Sub sub DAS Rawapening diberi nama berdasarkan nama sungai yang mengalir di dalamnya. Nama kesembilan sub DAS yang menjadi input Danau Rawapening, yaitu Sub Sub DAS Rengas, Sub Sub DAS Kedungringin, Sub Sub DAS Torong, Sub Sub DAS Legi, Sub Sub DAS Parat, Sub Sub DAS Sragen, Sub Sub DAS Ringis, dan Sub Sub DAS Kedungringin.

Secara administratif, Sub DAS Rawapening berada di 4 (empat) kabupaten yaitu Kabupaten Semarang, Kabupaten Magelang, Kota Salatiga, dan Kabupaten Temanggung. Kabupaten Semarang merupakan kabupaten terluas, karena 90% luas Sub DAS Rawapening berada di Kabupaten Semarang yang meliputi 8 (delapan) kecamatan. Terdapat 14 kecamatan yang masuk ke dalam Sub DAS Rawapening. Empat kecamatan terluas yang masuk dalam Kabupaten Semarang yaitu Kecamatan Pringapus

memiliki luas 78,35 km² dengan jumlah penduduk 56.452 jiwa, Kecamatan Getasan 65,80 km² memiliki jumlah penduduk 50.625 jiwa, Kecamatan Tuntang memiliki luas 55,63 km² dengan jumlah penduduk 65.008 jiwa, dan Kecamatan Sumowono 54,41 km² memiliki jumlah penduduk 30.625 jiwa. Kecamatan Banyubiru, Kecamatan Sumowono, dan Kecamatan Bandungan merupakan kecamatan dengan *sex ratio* di atas 100%.

Mata pencaharian utama penduduk Kabupaten Semarang adalah petani, dengan jumlah penduduk yang bekerja pada sektor pertanian sebanyak 513.987 jiwa. Wilayah Kabupaten Semarang memiliki total luas lahan pertanian mencapai 60.277,43 ha dengan produktivitas mencapai 5,73 ton/ha. Produksi hortikultura seperti sayuran kubis, sawi, lombok besar, lombok rawit, dan daun bawang menjadi komoditas utama. Komoditas lombok mencapai 264.140 kuintal, sayuran kubis 370.799

kuintal, daun bawang 112.562 kuintal, serta sawi 337.389 kuintal pada tahun 2016 (BPS Kabupaten Semarang, 2019). Pemanfaatan sumber daya alam berlebih memiliki dampak terhadap lingkungan, salah satunya menghasilkan polutan. Pertanian menjadi salah satu sektor penyuplai polutan ke dalam sistem danau, dikuatkan dengan Hidayati & Soeprbowati (2017) yang menyebutkan bahwa terjadi peningkatan penggunaan pupuk NPK per 2016 hingga mencapai 6.046,5 ton akibat pembatasan petani dalam pemakaian urea.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah olahan data sekunder berupa laporan dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Pemali Jratun Tahun 2018 mengenai implementasi model *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) di DAS Rawapening, dokumen Rencana Pengelolaan Danau Rawapening (2019), serta data spasial penunjang visualisasi peta. Data implementasi model SWAT berisikan informasi simulasi besaran hasil sedimen, unsur N total, serta unsur P total yang masuk ke dalam Danau Rawapening. Adapun dokumen rencana pengelolaan Danau Rawapening berisikan informasi rencana kegiatan berbagai pemangku kepentingan yang berkaitan dengan pemulihan Danau Rawapening. Data spasial lainnya seperti DEM ALOS PALSAR, data sungai, batas administrasi, dan batas Sub Sub DAS di DAS Rawapening digunakan sebagai penunjang visualisasi informasi spasial.

C. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif terhadap potensi resiko bencana lingkungan Sub DAS Rawapening serta informasi rencana program kegiatan pengelolaan Danau Rawapening. Resiko bencana lingkungan dinilai berdasarkan kontribusi tiap Sub Sub DAS Rawapening dalam memasok hasil sedimen, unsur N total, serta P total ke dalam tubuh air. Hasil sedimen berkaitan dengan material yang masuk ke dalam tubuh air termasuk unsur N dan unsur P yang meningkatkan kesuburan tubuh air serta memicu terjadinya eutrofikasi (Álvarez *et al.*, 2017). Berdasarkan potensi resiko bencana lingkungan pada Sub DAS Rawapening, selanjutnya dianalisis keterkaitannya dengan dokumen rencana program kegiatan pengelolaan Danau Rawapening

Analisis deskriptif kuantitatif pada data resiko bencana lingkungan Sub DAS Rawapening bertujuan untuk mengetahui pengaruh tiap sub sub DAS terhadap kondisi Danau Rawapening. Data besaran hasil sedimen, unsur N, dan unsur P yang masuk ke Danau Rawapening menjadi variabel dalam pemetaan tingkat resiko bencana lingkungan. Analisis deskriptif terhadap rencana pengelolaan Danau Rawapening difokuskan pada pembahasan rencana program kegiatan pengelolaan Danau berkelanjutan. Kegiatan pengelolaan Danau Rawapening dalam Rencana Pengelolaan Danau Rawa Pening Tahun 2019 bagi menjadi 8 program (Tim Penyusun Pengelolaan Danau Rawapening Provinsi Jawa Tengah, 2019), yaitu:

1. Penataan ruang kawasan danau;
2. Penyelamatan DAS yang berhilir di Danau Rawapening;
3. Penyelamatan perairan Danau Rawapening;
4. Penyelamatan lahan sempadan Danau Rawapening;
5. Pemanfaatan sumber daya air Danau Rawapening;
6. Pengembangan sistem monitoring evaluasi dan informasi pengelolaan Danau Rawapening;
7. Peningkatan peran dan partisipasi masyarakat;
8. Pengembangan kapasitas kelembagaan dan koordinasi.

Keseluruhan program tersebut diidentifikasi dan dianalisis berdasarkan jenis dan alokasi anggaran serta dikaitkan dengan sebaran tingkat resiko bencana lingkungan. Hasil identifikasi dan analisis tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui persebaran program rencana pengelolaan Danau Rawapening.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Danau Rawapening memiliki 9 (Sembilan) Sub Sub DAS yang bermuara langsung di tubuh air Danau. Keseluruhan hasil proses yang terjadi di hulu akan terdistribusi ke hilir dan masuk ke dalam Danau Rawapening. Karakteristik morfologi, penggunaan lahan, serta karakteristik tanah mempengaruhi hasil proses suatu daerah tangkapan air (Dibaba, Demisse, & Miegel, 2020; Waiyasusri & Chotpantarat, 2020). Hasil analisis tingkat resiko bencana lingkungan secara rinci diuraikan sebagai berikut.

A. Tingkat Resiko Bencana Lingkungan DAS Rawapening

Sub Sub DAS di Danau Rawapening memiliki porsi masing-masing dalam menyumbang material hasil proses berupa hasil sedimen, unsur N total, serta unsur P total. Hasil sedimen, unsur N total, dan unsur P total menjadi fokus bahasan karena kaitannya dengan proses eutrofikasi Danau Rawapening. Sumber unsur penyebab eutrofikasi danau berasal dari mineralisasi dan suspensi sedimen di air (Qin *et al.*, 2013; Shah *et al.*, 2020). Jumlah total hasil sedimen paling besar dihasilkan oleh Sub Sub DAS Galeh yang mencapai 24.816,4 ton/tahun atau menyumbang 25,3% dari total sedimen yang masuk di Rawapening, disusul oleh Sub Sub DAS Panjang dan Sraten dengan 19,6% dan 18% (Tabel 1). Morfologi Sub Sub DAS Galeh didominasi oleh kemiringan lereng 25–40% dengan tanah yang memiliki struktur remah. Karakteristik lingkungan fisik ini diperkirakan memasok material erosi dan sedimentasi yang cukup besar melalui Kali Galeh (Puryono, 2019) .

Kandungan N dan P dalam air danau yang tinggi dapat berasal dari air masuk, limbah budidaya ikan, dan dari dalam waduk sendiri (*internal loading*) (Chen *et al.*, 2017). Unsur N dan P dalam air yang masuk berasal dari bahan erosi, penggunaan pupuk, limbah pertanian, serta limbah domestik rumah tangga di daerah hulu yang dibawa oleh air sungai yang masuk ke dalam danau Dinamika polutan unsur N dan P di Danau

Tabel (Table) 1. Resiko bencana lingkungan Sub DAS Rawapening (*Environmental disaster risk of Sub Watershed Rawapening*)

Sub Sub DAS (Sub subcatchment)	Luas Daerah Tangkapan (Ha) (Catchment Area (ha))	Persentase (%) (Percentage (%))	Hasil Sedimen (ton/ha/tahun) (Sediment Yields (ton/ha/year))	Persentase (%) (Percentage (%))	Total N (kg/tahun) (N total (kg/year))	Persentase (%) (Percentage (%))	Total P (kg/tahun) (P total (kg/year))	Persentase (%) (Percentage (%))
Rengas	1.426	5,7	8.982,7	9,2	156.220	7,2	38.690	6,3
Panjang	4.263	17,0	19.220,9	19,6	429.970	19,8	134.685	21,9
Torong	1.902	7,6	5.569,9	5,7	216.810	10,0	56.210	9,1
Galeh	5.629	22,4	24.816,4	25,3	269.370	12,4	84.315	13,7
Legi	1.789	7,1	3.971,2	4,0	78.840	3,6	28.105	4,6
Parat	4.421	17,6	10.650,7	10,9	400.040	18,4	123.735	20,1
Sraten	3.796	15,1	17.604,0	18,0	442.380	20,4	108.405	17,6
Ringin	1.045	4,2	5.606,4	5,7	144.905	6,7	31.755	5,2
Kedungringin	856	3,4	1.638,9	1,7	32.485	1,5	9.490	1,5
Sub DAS Rawapening	25.127	100	98.061,1	100	2.171.020	100	615.390	100

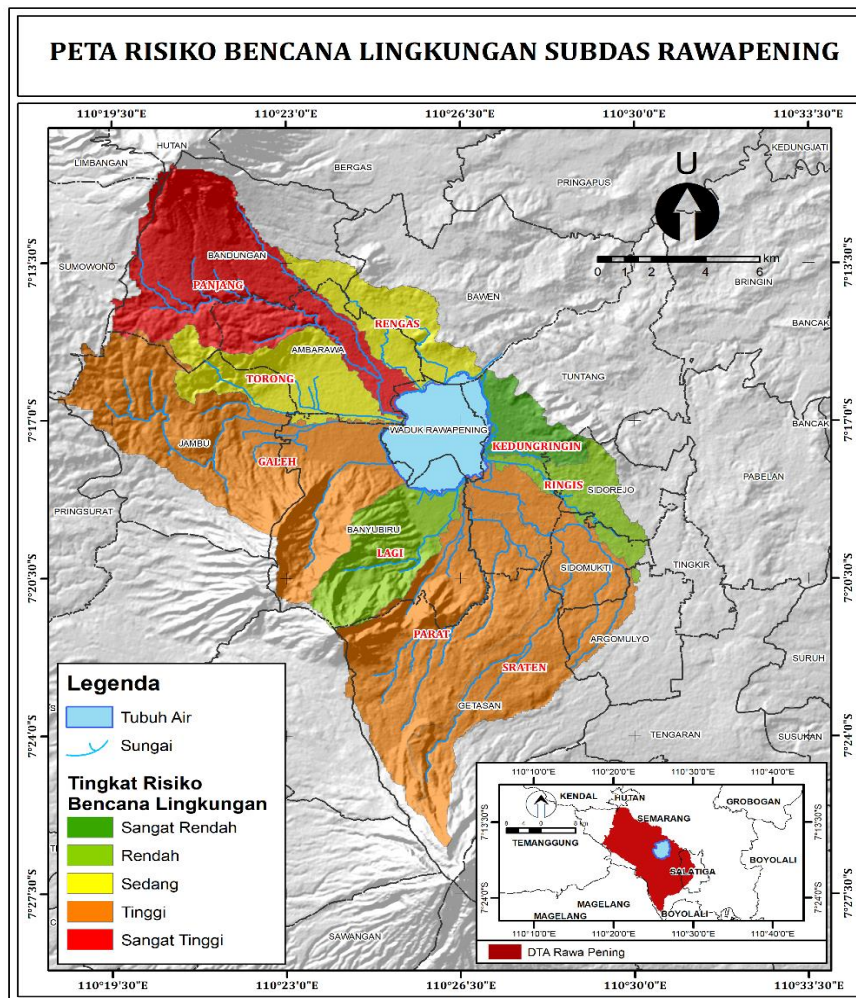
Sumber (Source): Analisis data laporan BPDAS Pemali Jratun (*Data analysis based on the report of BPDAS Pemali Jratun*), 2018

Rawapening pada Tabel 1 memperhitungkan faktor imbuhan dari penggunaan pupuk serta limbah domestik yang dihitung dengan bantuan simulasi model hidrologi (BPDAS Pemali Jratun, 2018). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa unsur N total yang masuk ke dalam Danau Rawapening paling tinggi diperoleh pada Sub Sub DAS Sraten dengan total mencapai 442.380 kg/tahun atau sebesar 20,4% dari total unsur N yang masuk ke dalam danau, diikuti oleh Sub Sub DAS Panjang dan Parat sejumlah 19,8% dan 18,4%. Adapun unsur P total terbesar dihasilkan oleh Sub Sub DAS Panjang, yaitu mencapai 134.685 kg/tahun atau sebesar 21,9% dari total unsur P yang masuk ke dalam Danau Rawapening melalui aliran sungai.

Berdasarkan data hasil sedimen, unsur N total, dan P total setiap sub sub DAS, dapat dilakukan analisis resiko bencana lingkungan di lokasi penelitian ini. Kelas resiko bencana dibagi menjadi 5 yakni sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Analisis resiko bencana

lingkungan bertujuan untuk mengetahui laju degradasi lingkungan yang mengancam keberlanjutan Danau Rawapening. Wilayah yang memiliki resiko bencana lingkungan sangat tinggi berpotensi memicu kerusakan pada danau akibat proses pendangkalan, eutrofikasi, penurunan kualitas air danau, hingga pencemaran yang mengancam ekosistem danau.

Informasi mengenai resiko bencana lingkungan tiap sub sub DAS di Sub DAS Rawapening secara spasial ditunjukkan pada Gambar 2. Sub Sub DAS Panjang memiliki kelas sangat tinggi, sementara Sub Sub DAS dengan kelas tinggi yakni Sub Sub DAS Galeh, Parat, dan Sraten. Kelas resiko bencana lingkungan sedang pada Sub Sub DAS Rengas dan Torong. Sub Sub DAS Legi dan Ringin memiliki tingkat resiko bencana lingkungan rendah dan Sub Sub DAS Kedungringin memiliki kelas resiko bencana lingkungan sangat rendah. Sub Sub DAS Panjang memiliki kelas sangat tinggi karena nilai hasil sedimen, unsur N total, serta unsur P total yang masuk ke



Gambar (Figure) 2. Distribusi spasial resiko bencana lingkungan Sub Sub DAS Rawapening (*Spatial distribution of environmental disaster risk of the Rawapening Sub Watershed*)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2020.

dalam danau melalui Sungai Panjang berjumlah sangat besar. Hal ini berkaitan dengan kegiatan lahan pertanian yang intensif di daerah Kecamatan Bandungan dengan pemakaian pupuk mencapai 618 kg/ha/tahun (Puryono, 2019). Identifikasi resiko bencana lingkungan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perumusan rencana program kegiatan pengelolaan Danau Rawapening, karena wilayah yang memiliki resiko tinggi atau sangat tinggi memerlukan penanganan yang lebih terarah.

B. Rencana Program Kegiatan Pengelolaan Danau Rawapening.

Upaya pengelolaan kawasan Danau Rawapening telah banyak dilakukan dengan berbagai skenario kebijakan. Pengelolaan Rawapening membutuhkan alat hukum yang memadukan berbagai kepentingan dalam proses perumusan, penerapan, serta monitoring dan evaluasi. Pengarusutamaan pada *co-management* yang menekankan pada proses negosiasi multistakeholder dalam perumusan pengelolaan (Partomo *et al.*, 2011; Soeprbowati, 2015) menjadi langkah

baru dalam mencapai tujuan pengelolaan Danau Rawapening. *Co-management* yang telah terwujud dalam Dokumen Rencana Pengelolaan Danau Rawapening 2019 merupakan wujud usaha pengelolaan sumberdaya alam oleh berbagai pemangku kepentingan di wilayah Danau Rawapening. Tercatat ada 87 rencana program pengelolaan Danau Rawapening, yang terbagi menjadi 8 (delapan) jenis program. Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara persentase jumlah program dan anggaran untuk pengelolaan Danau Rawapening.

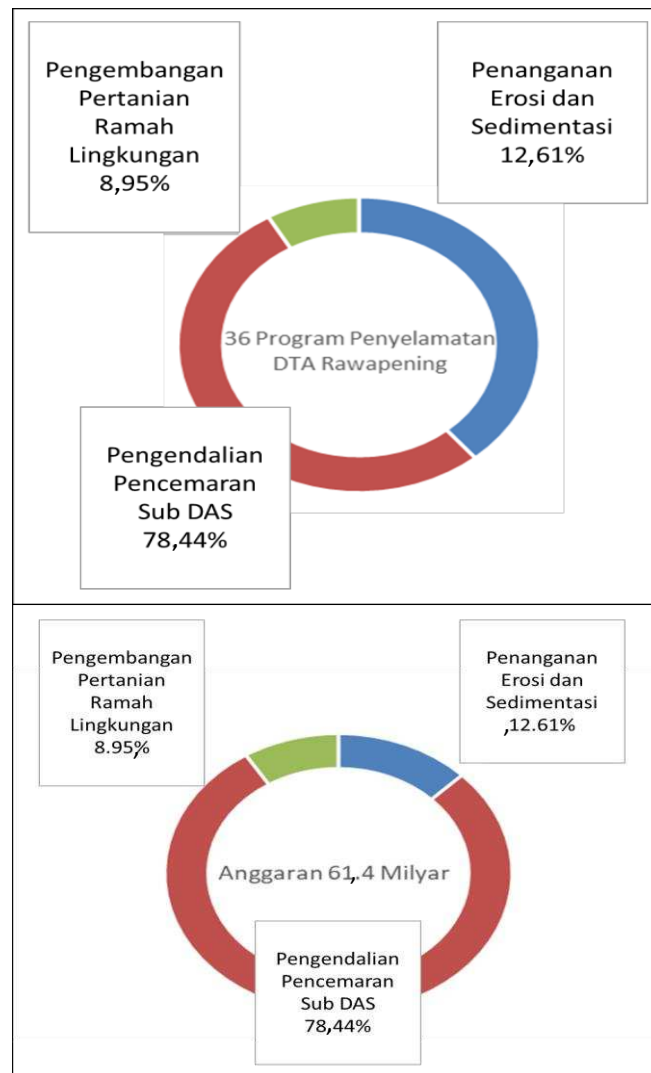
Program dengan jumlah terbanyak adalah program untuk penyelamatan DAS Rawapening, yaitu berjumlah 38 program

atau 43,7% dari total program. Anggaran program penyelamatan DAS Rawapening hanya sebesar 13,11% dari total jumlah anggaran, sementara jenis program dengan anggaran terbesar adalah program penyelamatan perairan Danau Rawapening (badan danau) dengan anggaran sebesar 305,5 milyar atau 63,15% dari total anggaran. Alokasi anggaran tersebut menjadi salah satu wujud upaya penanganan wilayah hulu dengan hilir DAS Rawapening, dengan mempertimbangkan tingkat kerusakan lingkungan yang terjadi. Gambar 3 menunjukkan persentase alokasi anggaran untuk program-program pengelolaan Danau Rawapening.

Tabel (Table) 2. Rencana program pengelolaan Danau Rawapening (jumlah dan anggaran) (*Rawapening Lake management program plan (number of program and budget)*)

No.	Jenis program (Programs)	Jumlah program <i>The number of programs</i>	Persentase jumlah program (Percentage of programs (%))	Anggaran (Juta rupiah) (Budget (Million rupiah))	Persentase anggaran program (The percentage of budget (%))
1	Penataan ruang kawasan danau	3	3,4	2.300	0,48
2	Penyelamatan DAS Danau Rawapening	38	43,7	63.442	13,11
3	Penyelamatan perairan Danau Rawapening (badan danau)	18	20,7	305.526	63,15
4	Penyelamatan lahan Sempadan Danau Rawapening	1	1,1	1.130	0,23
5	Pemanfaatan sumber daya air Danau Rawapening	3	3,4	40.354	8,34
6	Pengembangan sistem monitoring evaluasi dan informasi pengelolaan Danau Rawapening	6	6,9	65.200	13,48
7	Peningkatan peran dan partisipasi masyarakat	15	17,2	5.425	1,12
8	Pengembangan kapasitas kelembagaan dan koordinasi	3	3,4	400	0,08

Sumber (Source): Laporan rencana pengelolaan Danau Rawapening (*Rawapening Lake management plan report*), 2019)



Gambar (Figure) 3. Persentase anggaran dan tema program penyelamatan DAS Rawapening (*Budget and theme of Rawapening Catchment area rescue program*)

Sumber (Source): Analisis data laporan rencana pengelolaan Danau Rawapening (*Data analysis of Rawapening Lake management plan report, 2019*)

C. Rekomendasi Implementasi Program Kegiatan Pengelolaan Danau Rawapening

Tingkat degradasi lingkungan DAS berpengaruh terhadap status trofik danau (Oliver, Corburn & Ribeiro, 2019; Yu, Li, Xu & Yang, 2020; Zhang *et al.*, 2018). Interaksi dan interrelasi proses di bagian hulu DAS dengan danau menjadi pertimbangan dalam perumusan alokasi program, dan diidentifikasi berdasarkan tingkat keparahan degradasi yang terjadi.

Oleh karena itu, program pengelolaan Danau Rawapening tahun 2019 secara umum sebaiknya menekankan pada aspek tata ruang kawasan danau dan kawasan DAS, peningkatan kapasitas lembaga dan masyarakat, serta bentuk-bentuk perencanaan fisik. Penentuan program-program prioritas diperlukan guna menyusun alokasi anggaran pada setiap program pengelolaan, sehingga terwujud keterpaduan dalam melaksanakan pengelolaan.

Keterpaduan antara kebijakan dan kelembagaan dalam pengelolaan bersifat multifungsi, multistakeholder dan multiskala (Kusters *et al.*, 2020) terwujud dalam Rencana Pengelolaan Danau Rawapening Tahun 2019. Rencana pengelolaan memiliki tujuan dalam mencapai keseimbangan fungsi sosial, ekonomi, dan fungsi ekologis. Pendekatan spasial dalam penerapan instrument kebijakan perlu dilakukan untuk memberikan pemahaman terkait dinamika ekologi sosial yang berpengaruh terhadap tingkat resiko bencana

lingkungan (Iverson, Echeverria, Nahuelhual & Luque, 2014) dalam hal ini Rencana Pengelolaan Danau Rawapening, sehingga pada dasarnya akan mampu menjawab “apa” dan “dimana”, “mengapa”, “bagaimana”, dan “siapa” yang memiliki hak dan tanggung jawab dalam pengelolaan lingkungan. Tabel 3 menunjukkan rekomendasi penerapan program berdasarkan tingkat resiko bencana pada Danau Rawapening, merujuk pada produk kebijakan Rencana Pengelolaan Danau Rawapening Tahun 2019.

Tabel (Table) 3. Rekomendasi penerapan program pengelolaan berdasarkan tingkat resiko bencana pada Danau Rawapening (*Recommendations for implementation of management program based on disaster risk level in Rawapening Lake*)

No (No)	Tingkat resiko bencana lingkungan (<i>Risk level of environmental disaster</i>)	Wilayah DAS (<i>Watershed area</i>)	Zona (Zona)	Faktor pemicu eutrofikasi (<i>Eutrofication triggering factors</i>)	Rencana program (<i>Program plan</i>)
1	Tinggi - Sangat Tinggi	Sub Sub DAS Panjang, Sub Sub DAS Galeh, Sub Sub DAS Parat, Sub Sub DAS Sragen	Hulu	Erosi-sedimentasi, serta potensi longsor tinggi (Kec. Getasan, Kec. Banyubiru, Kec. Jambu, Kec. Sumowono)	Konservasi Teknis (KTA, dan Gully Plug), penyuluhan, bimtek dan pendampingan konservasi dan perlindungan hutan
				Pertanian dengan penggunaan pupuk intensif di Kec. Bandungan, Kec. Getasan dan Kec. Sumowono (sayur)	Pertanian ramah lingkungan (penggunaan pupuk dari limbah ternak di bagian hilir)
				Total P dan N masuk ke dalam danau tinggi	Pertanian ramah lingkungan (penggunaan pupuk dari limbah ternak di bagian hilir)
				<i>Runoff</i> tinggi di Kec. Tuntang	Sistem pengelolaan drainase
			Hilir	Limbah pertanian lahan kering Kec. Getasan, Kec. Sumowono	Agroforestri dan Pengelolaan Usaha Tani, Optimalisasi Limbah Pertanian untuk Pupuk Organik,

No (No)	Tingkat resiko bencana lingkungan (Risk level of environmental disaster)	Wilayah DAS (Watershed area)	Zona (Zona)	Faktor pemicu eutrofikasi (Eutrofication triggering factors)	Rencana program (Program plan)
				Limbah peternakan Kec. Getasan, Banyubiru	IPAL Limbah Peternakan, Optimalisasi Limbah Pertanian untuk Pupuk Organik
				Total P dan N masuk ke dalam danau tinggi	Mitigasi, Adaptasi dan Pencegahan Pencemaran LH, Saluran dan Kolam Pengolahan Air Limbah (SAKPAL)
				Pengembangan keramba Banyubiru dan Ambarawa	Zonasi Badan Air Danau, Penyelamatan perairan danau
				Tekanan penduduk permukiman dan pertanian lahan untuk dan	IPAL komunal, tempat pembuangan akhir (TPA), budidaya padi ramah lingkungan Kawasan Rawapening, Penyelamatan lahan sempadan Danau
2	Sedang	Sub Sub DAS Rengas, Sub Sub DAS Torong	Hulu	Penggunaan Pupuk anorganik	Optimalisasi limbah pertanian dan peternakan sebagai pupuk organik
				Erosi dan sedimentasi tinggi (Kec. Jambu)	Kebun Bibit Rakyat, Agroforestri, Konservasi Teknis (KTA, Gully Plug, dam penahan)
				Limbah peternakan Banyubiru	IPAL Limbah Peternakan, Optimalisasi Limbah Pertanian untuk Pupuk Organik, biogas
			Hilir	Pengembangan keramba Kec. Bawe	Zonasi Badan Air Danau, Penyelamatan perairan danau
				Runoff tinggi di Bawen	Sistem pengelolaan drainase
				Tingginya aktivitas pariwisata	Pengelolaan Pariwisata berkelanjutan, pengolahan sampah skala regional dan/atau Kawasan
3	Rendah - Sangat Rendah	Sub Sub DAS Legi, Sub Sub DAS Kedung Ringis, Sub Sub DAS Ringis	Hulu	Pertanian sayur dengan pupuk intensif Kec. Getasan	Pertanian ramah lingkungan (penggunaan pupuk dari limbah ternak di bagian hilir)
				Erosi parit di Sepakung	Konservasi Teknis (KTA, Gully Plug, dam penahan)

No (No)	Tingkat resiko bencana lingkungan (<i>Risk level of environmental disaster</i>)	Wilayah DAS (<i>Watershed area</i>)	Zona (<i>Zona</i>)	Faktor pemicu eutrofikasi (<i>Eutrofication triggering factors</i>)	Rencana program (<i>Program plan</i>)
				Limbah peternakan Getasan, Banyubiru	Kec. IPAL Limbah Peternakan, Optimalisasi Limbah Pertanian untuk Pupuk Organik, biogas
				<i>Runoff</i> tinggi di Tuntang dan Bawen	Kec. Sistem pengelolaan Kec. drainase
			Hilir	Pengembangan keramba Banyubiru dan Tuntang	Zonasi Badan Air Danau, Kec. Penyelamatan perairan Kec. danau

Sumber (*Source*): Analisis data laporan rencana pengelolaan Danau Rawapening (*Data analysis of Rawapening Lake management plan report*), 2019

Berdasarkan Tabel 3, tingkat resiko bencana tinggi dipengaruhi oleh permasalahan lingkungan di bagian hulu dan hilir DAS. Penerapan program-program di bagian hulu DAS ditekankan pada program-program mitigasi melalui program penataan ruang kawasan danau dan penyelamatan DAS Danau Rawapening. Program-program rehabilitasi dan adaptasi secara spasial mendominasi di bagian hilir dan kawasan danau melalui program penyelamatan perairan Danau Rawapening, penyelamatan lahan sempadan Danau Rawapening, dan pemanfaatan sumberdaya air Danau Rawapening. Program pengembangan sistem monitoring evaluasi dan informasi pengelolaan Danau Rawapening, peningkatan peran dan partisipasi masyarakat serta pengembangan kapasitas kelembagaan dan koordinasi memerlukan sinkronisasi dan harmonisasi antara hak dan tanggungjawab multistakeholder, baik di tingkat nasional hingga tingkat tapak.

IV. KESIMPULAN

Analisis tata kelola lanskap Sub DAS Rawapening memberikan informasi spasial tingkat resiko bencana lingkungan serta arahan dan rekomendasi terhadap penerapan kebijakan secara spasial pada Sub Sub DAS di kawasan Danau Rawapening. Secara rinci, berdasarkan kajian ini dapat disimpulkan bahwa resiko bencana lingkungan kawasan Danau Rawapening memiliki tingkatan yang bervariasi, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Tingkat resiko bencana lingkungan dipengaruhi oleh besarnya hasil sedimen, total P dan total N yang masuk ke dalam sistem danau. Pengaruh proses-proses antropogenik pada Danau Rawapening terutama pertanian, peternakan, permukiman, dan industri memicu eutrofikasi yang dipercepat, sehingga menimbulkan dampak sekunder bagi ekosistem danau dan manusia. Perencanaan spasial dalam pengelolaan Danau Rawapening dapat dilakukan dengan melihat interaksi antara

permasalahan lingkungan di bagian hulu dengan bagian hilir Sub Sub DAS. Integrasi model spasial dengan parameter lingkungan yang mempertimbangkan aspek ekonomi terkait dampak rencana kebijakan pengelolaan terhadap valuasi jasa dan permasalahan di masa mendatang perlu diteliti lebih lanjut. Hasil penelitian lanjutan tersebut diharapkan dapat membentuk model pengelolaan yang lebih tepat dan inklusif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini dapat diwujudkan atas dukungan dari hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Simlitabmas Dikti tahun anggaran 2020. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data lapangan dan diskusi kelompok terarah yang dilakukan secara daring selama penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Artikel ini disusun berdasarkan kerangka pemikiran penulis utama bersama kontribusi beberapa penulis. Berikut ini merupakan kontribusi setiap penulis dalam penyusunan manuskrip.

- 1) Djati Mardiatno sebagai penulis utama berkontribusi dalam mensintesis hasil analisis resiko bencana lingkungan dengan kondisi ekosistem bentanglahan dan finalisasi penulisan manuskrip.
- 2) Faridah dan Sunarno berkontribusi dalam analisis kuantitatif untuk menilai tingkat resiko bencana lingkungan.

- 3) Dwi Wahyu Arifudiin Najib dan Yuli Widyaningsih berkontribusi dalam pengumpulan data, penulisan manuskrip, dan pengaturan gambar/peta maupun tabel dalam manuskrip.
- 4) M Anggri Setiawan berkontribusi dalam analisis ekosistem bentanglahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Álvarez, X., Valero, E., Santos, R. M. B., Varandas, S. G. P., Sanches Fernandes, L. F., & Pacheco, F. A. L. (2017). Anthropogenic nutrients and eutrophication in multiple land use Watersheds: Best management practices and policies for the protection of water resources. *Land Use Policy*, 69(September), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.028>
- Aprilliyana, D. (2015). Pengaruh perubahan penggunaan lahan sub das rawapening terhadap erosi dan sedimentasi Danau Rawapening. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 11(1), 103. <https://doi.org/10.14710/pwk.v11i1.8661>
- BPDAS Pemali Jratun. (2018). *Implementasi model SWAT di DAS Rawapening*. Semarang: Penulis.
- BPS Kabupaten Semarang. *Kabupaten Semarang Dalam Angka Tahun 2019*. Semarang: Penulis. <https://semarangkab.bps.go.id/> (diakses pada 29 April 2021 pukul 10.50 WIB)
- Chen, X., Liu, X., Peng, W., Dong, F., Huang, Z., & Wang, R. (2017). Non-point source nitrogen and phosphorus assessment and management plan with an

- improved method in data-poor regions. *Water (Switzerland)*, 10(1).
<https://doi.org/10.3390/w10010017>
- David, V., Tortajada, S., Savoye, N., Breret, M., Lachaussée, N., Philippine, O., Dupuy, C. (2020). Impact of human activities on the spatio-seasonal dynamics of plankton diversity in drained marshes and consequences on eutrophication. *Water Research*, 170, 115-287.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115287>
- Dibaba, W. T., Demissie, T. A., & Miegel, K. (2020). Watershed hydrological response to combined land use/land cover and climate change in highland ethiopia: Finchaa catchment. *Water (Switzerland)*, 12(6).
<https://doi.org/10.3390/w12061801>
- Fazli, B., Shafie, A., Yahaya, N. K. E. M., Awang, S., Jusoh, A. M., Noordin, N., ... Ghani, P. H. A. (2016). Lake and Watershed management: Issues and challenges in managing lake water quality. *Proceedings of the World Congress on New Technologies*, July.
<https://doi.org/10.11159/icepr16.169>
- Heriza, D., Sukmono, A., & Bashit, N. (2018). Analisis perubahan kualitas perairan Danau Rawa Pening Periode 2013, 2015 Dan 2017 Dengan menggunakan data citra Landsat 8 Multitemporal. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 79–89.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/19311>
- Hidayati, N dan Soeprbowati, T, R. (2017). Pertanian ramah lingkungan di Daerah Tangkapan Air Danau Rawapening. *Proceeding Biology Education Conference*, 14 (1), 126-130.
<https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/18774>
- Hughes, S. J., Cabral, J. A., Bastos, R., Cortes, R., Vicente, J., Eitelberg, D., ... Santos, M. (2016). A stochastic dynamic model to assess land use change scenarios on the ecological status of fluvial water bodies under the Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 565, 427–439.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.153>
- Iderawumi, A. M. (2019). Sources of Environmental hazards effects and control. *Asia Pacific Journal of Energy and Environment*, 6(2), 77–82.
<https://doi.org/10.18034/apjee.v6i2.268>
- Iverson, L., Echeverria, C., Nahuelhual, L., & Luque, S. (2014). Ecosystem services in changing landscapes: An introduction. *Landscape Ecology*, 29(2), 181–186.
<https://doi.org/10.1007/s10980-014-9993-2>
- Kusters, K., De Graaf, M., Buck, L., Galido, K., Maindo, A., Mendoza, ... Zagt, R. (2020). Inclusive landscape governance for sustainable development: Assessment methodology and lessons for civil society organizations. *Land*, 9(4), 1–14.
<https://doi.org/10.3390/LAND9040128>
- Lin, S. S., Shen, S. L., Zhou, A., & Lyu, H. M. (2020). Assessment and management of lake eutrophication: A case study in Lake Erhai, China. *Science of the Total Environment*, 751, 141618.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141618>
- Lyu, H.-M., Shen, S.-L., Yang, J., & Zhou, A.-N. (2020). Risk assessment of earthquake-triggered geohazards surrounding Wenchuan, China. *Natural Hazards Review*, 21(3), 05020007.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000375](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000375)
- Oliver, S., Corburn, J., & Ribeiro, H. (2019). Challenges regarding water quality of eutrophic reservoirs in urban landscapes: A mapping literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1).
<https://doi.org/10.3390/ijerph16010040>
- Ortiz-Reyes, E., & Anex, R. P. (2018). A life cycle impact assessment method for freshwater eutrophication due to the transport of phosphorus from agricultural production. *Journal of Cleaner Production*, 177, 474–482.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.255>
- Partomo, Mangkuprawira, S., Hubeis, A. V. S., & Adrianto, L. (2011). Pengelolaan danau berbasis co-management: Kasus Rawa Pening. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 1(2), 104–104.
<https://journal.ipb.ac.id/index.php/jpsl/article/view/10822>
- Piranti, A. S., Rahayu, D. R. U. S., & Waluyo, G. (2018). Evaluasi status mutu air Danau Rawapening. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 151–160.
- <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.151-160>
- Purboseno, S. (2013). Evaluasi perubahan tata guna lahan sebagai upaya menjaga kerbelanjutan fungsi waduk. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 19(2), 167–174.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/mkts/article/view/8426/6939>
- Puryono, S. (2019). *Rencana pengelolaan Danau Rawapening*. Tim Pengelolaan Danau Rawapening, BPDASHL Pemali Jratun.
- Qin, B. Q., Gao, G., Zhu, G. W., Zhang, Y. L., Song, Y. Z., Tang, X. M., ... Deng, J. M. (2013). Lake eutrophication and its ecosystem response. *Chinese Science Bulletin*, 58(9), 961–970.
<https://doi.org/10.1007/s11434-012-5560-x>
- Samudra, S. R., Soeprbowati, T. R., & Izzati, M. (2013). Komposisi, kelimpahan dan keanekaragaman fitoplankton Danau Rawa Pening Kabupaten Semarang. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 15(1), 6.
<https://doi.org/10.14710/bioma.15.1.6-13>
- Schallenberg, M., De Winton, M. D., Verburg, P., Kelly, D. J., Hamill, K. D., & Hamilton, D. P. (2013). Ecosystem services of lakes. *ecosystem services in New Zealand - conditions and trends*, 203–225.
https://www.researchgate.net/publication/258423760_Ecosystem_Services_of_Lakes
- Shah, R. A., Achyuthan, H., Lone, A. M., Lone, S. A., & Malik, M. S. (2020). Environmental risk assessment of lake surface sediments using trace elements: A Case Study, the Wular Lake. *Journal of the Geological Society of India*, 95(2), 145–151.

- <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1403-6>
- Shang, X., Wang, X., Zhang, D., Chen, W., Chen, X., & Kong, H. (2012). An improved SWAT-based computational framework for identifying critical source areas for agricultural pollution at the lake basin scale. *Ecological Modelling*, 226, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmod.2011.11.030>
- Soeprobowati, T. R. (2015). Integrated lake basin management for save Indonesian lake movement. *Procedia Environmental Sciences*, 23(May), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.053>
- Soeprobowati, T. R. (2017). Lake management: Lesson learn from rawapening lake. *Advanced Science Letters*, 23(7), 6495–6497. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.9664>
- Soeprobowati, T., & Suedy, S. (2010). Status trofik Danau Rawapening dan solusi pengelolaannya. *Jurnal Sains dan Matematika*, 18(4), 158–169. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/sm/article/view/6257>
- Srinivasan, V., Seto, K. C., Emerson, R., & Gorelick, S. M. (2013). The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India. *Global Environmental Change*, 23(1), 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.002>
- Tim Penyusun Pengelolaan Danau Rawa Pening Provinsi Jawa Tengah. (2019). *Rencana Pengelolaan Danau Rawapening*. Semarang: Pemerintah Daerah Kabupaten Semarang.
- Utete, B., & Fregene, B. T. (2020). Assessing the spatial and temporal variability and related environmental risks of toxic metals in Lake Asejire, south-western Nigeria. *Scientific African*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00259>
- Waiyasusri, K., & Chotpantararat, S. (2020). Watershed prioritization of Kaeng Lawa Sub Watershed, Khon Kaen Province using the morphometric and land-use analysis: A case study of heavy flooding caused by tropical storm podul. *Water (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/W12061570>
- Yu, C., Li, Z., Xu, Z., & Yang, Z. (2020). Lake recovery from eutrophication: Quantitative response of trophic states to anthropogenic influences. *Ecological Engineering*, 143 (November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105697>
- Yuningsih, H. D., Anggoro, S., & Soedarsono, P. (2014). Hubungan bahan organik dengan produktivitas Perairan Pada Kawasan tutupan eceng gondok, perairan terbuka dan keramba jaring apung di Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 3(1), 37–43. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i1.4284>
- Zhang, W., Li, H., & Li, Y. (2018). Spatio-temporal dynamics of nitrogen and phosphorus input budgets in a global hotspot of anthropogenic inputs. *Science of the Total*

Environment, 656, 1108–1120.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.450>

Zulfia, N., & Aisyah. (2013). Status trofik perairan rawa pening ditinjau dari kandungan unsur hara (No3 dan

PO4) serta klorofil-a. *Bawal*, 5(3), 189–199. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/bawal/article/view/639>

Halaman ini sengaja dibiarkan kosong