

## PEMETAAN POTENSI KERENTANAN PENCEMARAN AIR PERMUKAAN UNTUK PENGENDALIAN SANITASI LINGKUNGAN DI KABUPATEN BULELENG

*(Mapping on the potential vulnerability of surface water pollution for environmental sanitation control in Buleleng Regency)*

Arief Wicaksono<sup>1</sup> dan Galih Dwi Jayanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magister Geografi Minat Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai (MPPDAS), Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281  
E-mail: [wicaksono.aries08@gmail.com](mailto:wicaksono.aries08@gmail.com)

Diterima: 13 November 2020, Direvisi : 31 Desember 2020, Disetujui : 5 Januari 2021

### ABSTRACT

*One of the efforts to prevent water pollution is done by mapping of potential pollution vulnerability to support water quality control policy making. The research location is in Panas Sub-watershed, a part of the Saba Watershed which originates on the northwest slope of the Bratan Volcano Complex and upstream is Lake Tamblingan, Buleleng Regency. The objectives of the study include: 1) mapping the parameters of potential surface water pollution vulnerability, 2) mapping land cover changes in 2000 and 2016, 3) mapping the potential surface water pollution vulnerability and its dynamics in 2000 and 2016, and 4) formulating a management recommendation to control surface water pollution. Mapping the potential surface water pollution vulnerability was conducted by GIS and Point Count System Model (PCSM) method using parameters of slope, land cover, and annual average rainfall. The results showed that some of the upstream and middle areas of the Panas Sub-watershed were categorized as high potential vulnerability caused by steep slopes, plantation cover, and annual average rainfall of 2,251 - 2,500 mm/year. Various recommendations to control surface water pollution are conducting integrated waste management individually or in groups, such as collectively septic tank construction, waste disposal organization, and waste water management installation; providing directions for appropriate land cultivation for farmers so that the pollutant load due to the use of pesticides could be controlled; as well as controlling and supervising the tourist area around Tamblingan Lake.*

**Keywords:** *potential pollution vulnerability; surface water; sustainable water resource management; PCSM; Panas Sub Watershed*

## ABSTRAK

Upaya mencegah pencemaran air salah satunya dilakukan dengan memetakan potensi kerentanan pencemaran untuk mendukung pengambilan kebijakan pengendalian kualitas air. Lokasi penelitian berada di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Panas, bagian dari DAS Saba yang berhulu di lereng Barat Laut Kompleks Gunung Api Bratan dan di bagian hulunya terdapat Danau Tamblingan, Kabupaten Buleleng. Tujuan dari penelitian ini antara lain: 1) memetakan parameter potensi kerentanan pencemaran air permukaan, yaitu curah hujan rata-rata tahunan, kemiringan lereng, dan tutupan lahan, 2) memetakan perubahan tutupan lahan tahun 2000 dan 2016, 3) memetakan potensi kerentanan pencemaran air permukaan dan dinamikanya pada tahun 2000 dan 2016, serta 4) merumuskan rekomendasi pengelolaan untuk mengendalikan pencemaran air permukaan. Pemetaan tingkat kerentanan pencemaran air permukaan dilakukan dengan bantuan Sistem Informasi geografis (SIG) dan metode *Point Count System Model* (PCSM) menggunakan parameter kemiringan lereng, penutupan lahan, dan curah hujan rerata tahunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian wilayah hulu dan wilayah tengah Sub DAS Panas masuk dalam kategori potensi kerentanan tinggi terhadap pencemaran air permukaan yang disebabkan oleh kondisi lereng curam, penutupan lahan perkebunan/kebun, dan curah hujan rata-rata tahunan sebesar 2.251 – 2.500 mm/tahun. Berbagai usulan untuk mengendalikan pencemaran air permukaan antara lain melalui pengelolaan limbah secara individu atau kelompok secara terpadu, seperti pembangunan *septic tank* secara kolektif, pembuangan sampah yang terorganisir, dan pembangunan IPAL; memberikan arahan pengolahan lahan yang benar bagi para petani agar beban pencemar akibat penggunaan pestisida dapat dikendalikan; serta melakukan pengendalian dan pengawasan kawasan wisata di sekitar Danau Tamblingan.

**Kata kunci: potensi kerentanan pencemaran; air permukaan; pengelolaan sumber daya air berkelanjutan; PCSM; Sub DAS Panas**

### I. PENDAHULUAN

Air menjadi sumber daya alam yang penting bagi kehidupan manusia, serta sebagai modal dasar dalam pembangunan sehingga pengelolaan dan pengendalian pencemaran air perlu dilakukan demi kepentingan generasi mendatang, serta keseimbangan ekologis. Persoalan keterbatasan air bersih menjadi perhatian dalam tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) ke 6 yaitu *clean water and sanitation*. Payung hukum

dalam upaya konservasi sumber daya air melalui kegiatan pengendalian pencemaran air diatur dalam pasal 24 Undang-Undang Nomor 17 tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. Salah satu caranya adalah memelihara fungsi resapan air dan daerah tangkapan air. Sebagaimana disebutkan dalam pasal 1 pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pengendalian pencemaran air merupakan

upaya menjamin kualitas air sesuai baku mutu dengan cara mencegah, menanggulangi, dan memulihkan pencemaran air.

Pencemaran air diindikasikan dengan menurunnya kualitas air pada tingkat tertentu sehingga air tidak berfungsi sesuai peruntukannya. Salah satu upaya mencegah pencemaran air adalah melakukan identifikasi sumber pencemar dan memetakan tingkat kerentanan pencemaran air permukaan sehingga membantu dalam pengambilan kebijakan pengendalian kualitas air. Peta tingkat kerentanan pencemaran air permukaan diperoleh dengan metode *Point Count System Model* (PCSM) yang dianalisis dengan SIG. PCSM merupakan metode pengembangan USGS yang diadopsi dalam penelitian ini karena parameter yang digunakan sederhana (2 parameter fisik lahan dan 1 parameter meteorologi) sehingga perolehan informasi potensi kerentanan pencemaran air permukaan berlangsung lebih cepat (*rapid assessment*) pada tingkat regional DAS sebagai tahapan awal dalam upaya konservasi sumber daya air.

Variasi dalam karakteristik DAS menyebabkan setiap sub DAS memiliki tingkat pencemaran yang berbeda sehingga pemetaan potensi kerentanan pencemaran air permukaan di sub DAS menjadi penting untuk dilakukan terutama pada sub DAS yang menjadi bagian hulu dari suatu DAS. Potensi kerentanan pencemaran air permukaan didefinisikan sebagai tingkat kemudahan air permukaan untuk tercemari polutan (Hussein & Werdiningsih, 2012). Kontaminasi dari faktor fisik dan non fisik

dapat menjadi salah satu penyebab yang akan merubah kualitas air.

Air permukaan merupakan air hujan yang tidak terinfiltrasi ataupun mengalami infiltrasi tetapi timbul kembali ke permukaan (Cinar & Merdun, 2009). Kategori air permukaan dapat berupa air limpasan, rawa, sungai, dan danau (Poedjiastoeti, Sudarmadji, Sunarto, & Suprayogi, 2017). Di dalam suatu sistem DAS, sungai yang berfungsi sebagai wadah pengaliran air menempati suatu ekosistem terbuka dan berada di posisi paling rendah dalam lanskap bumi (Azrina, Yap, Ismail, Ismail, & Tan, 2006). Hal tersebut mengakibatkan sungai lebih mudah mengakumulasi berbagai jenis buangan dari daerah sekitarnya. Sungai sangat rentan tercemari hasil proses aktivitas manusia berupa pembuangan limbah industri, perkebunan, pertanian dan limbah perkotaan, maupun proses alami seperti curah hujan dan transportasi sedimen.

Kondisi sungai berhubungan dengan kondisi DAS. Karakteristik hidrologi sungai yang berupa karakteristik aliran (kualitas dan kuantitas air) dan karakteristik material (sedimen, nutrisi dan bahan organik) merupakan luaran atas tanggapan dari suatu unit prosesor yang disebut DAS. Erosi dan polusi yang terjadi di lahan akan terbawa oleh limpasan permukaan lalu masuk ke dalam tubuh sungai yang berdampak terhadap penumpukan sedimentasi dan polutan di sungai (Auliyani & Wijaya, 2017). Perbaikan sungai berhubungan dengan perbaikan DAS karena kondisi hidrologi sungai merepresentasikan kondisi DAS. Sumber pencemar sungai secara garis

besarnya dikelompokkan menjadi sumber pencemar titik (*Point Source/PS*) dan sumber pencemar non-titik (*Non-Point Source/NPS*). *Point source* merupakan sumber polutan yang dihasilkan dari lokasi tertentu, sementara NPS merupakan polutan yang dibuang melalui proses limpasan air di suatu kawasan. NPS disebut juga sumber area atau menyebar. Penelitian ini memasukkan anak sungai sebagai PS, selain limbah industri.

DAS kritis dari sudut pandang kualitas air dapat diturunkan dengan mengurangi beban pencemar sehingga tidak melebihi daya tampung badan air. Beberapa permasalahan yang berhubungan dengan pengambilan kebijakan pengelolaan sumber pencemar dan pemanfaatan lahan di sekitar sungai adalah dimana (*where*) bahan pencemar itu harus dibuang, dari kegiatan apa (*what*) dan berapa banyak bahan pencemar yang boleh dibuang (*how much*) (Abdi, Hadi, & Widyastuti, 2011; Nguyen, Liou, Li, & Tran, 2016). Penelitian oleh Hussein & Werdiningsih (2012) hanya mengkaji tutupan lahan dalam satu waktu di DAS dengan Penginderaan Jauh dan SIG untuk memetakan potensi kerentanan pencemaran air permukaan. Penelitian Wilson & Weng (2010) mengkaji perubahan tutupan lahan perkotaan hubungannya dengan danau, sementara penelitian ini lebih fokus pada tutupan lahan dominan berupa vegetasi dan pemanfaatan ruang untuk kegiatan pariwisata. Pemodelan potensi

kerentanan air permukaan tidak seperti Poedjiastoeti *et al.* (2017) yang menggunakan variabel multi indeks, tetapi metode demikian kurang sesuai untuk kegiatan survei cepat karena membutuhkan banyak parameter.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) memetakan parameter potensi kerentanan pencemaran air permukaan berupa curah hujan rerata tahunan, kemiringan lereng, dan penutupan lahan; (2) memetakan perubahan tutupan lahan tahun 2000 dan 2016; (3) memetakan potensi kerentanan air permukaan terhadap pencemaran dan dinamikanya pada tahun 2000 dan 2016; serta (4) merumuskan rekomendasi pengelolaan untuk mengendalikan pencemaran air permukaan. Penelitian ini mengambil lokasi dengan jenis penutupan lahan yang bervariasi, dimana banyak studi yang menunjukkan penutupan lahan adalah faktor kunci yang berpengaruh terhadap pencemaran kualitas air (Jiang, Chen, Chen, & Wu, 2014). Selain itu, analisis dinamika penutupan lahan dilakukan secara multi temporal untuk melihat dinamika kerentanan pencemaran kualitas air kemudian disusun rekomendasi pengelolaan. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi pengelola DAS dalam hal penilaian cepat potensi kerentanan pencemaran air permukaan di bagian hulu DAS yang dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian, perkebunan, dan pariwisata sehingga kebutuhan air dari segi kualitas dan kuantitas dapat terpenuhi.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

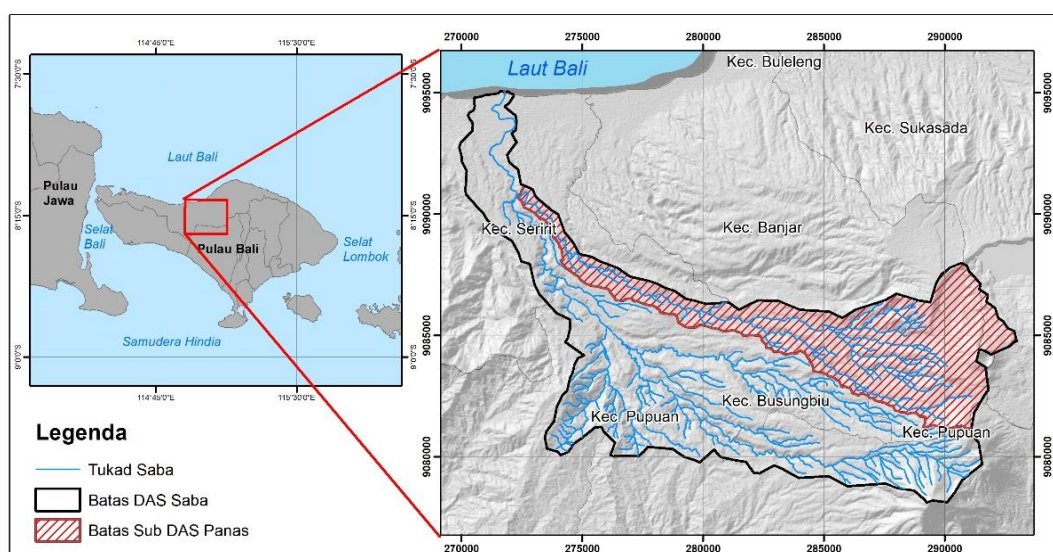
Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei - Juli 2019 di Sub DAS Panas yang merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Saba dan berhulu di lereng Barat Laut Kompleks Gunung Api Bratan dan di bagian hulunya terdapat Danau Tamblingan, Kabupaten Buleleng (Gambar 1). Sub DAS Panas masuk dalam Satuan Wilayah Pengelolaan (SWP) Saba Daya di bawah pengelolaan Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Unda Anyar.

### B. Bahan dan Alat

Bahan penelitian antara lain Peta Rupabumi Indonesia tahun 2000 dari Badan Informasi Geospasial, Citra Microsoft Bing Maps Aerial Imagery tahun 2016 dengan resolusi spasial 30 cm, Citra TRMM selama 30 tahun (1980 - 2010) dengan resolusi spasial 2,2 km. Perangkat lunak ArcGIS 10.5 digunakan untuk pengolahan dan penyajian data spasial.

### C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Point Count System Model* (PCSM) untuk mengevaluasi potensi kerentanan DAS. PCSM merupakan pendekatan yang digunakan dalam menganalisis potensi kerentanan air permukaan di suatu wilayah. Model ini menggunakan sistem peringkat numerik yang memberikan bobot relatif ke berbagai parameter DAS. Peringkat karakteristik DAS didasarkan pada kombinasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kemungkinan bahwa air akan mencapai air permukaan dengan mengikuti jalur aliran darat. Potensi kerentanan pencemaran air permukaan ditentukan dari parameter curah hujan rerata tahunan, kemiringan lereng, dan penutupan lahan (Eimers, Weaver, Terziotti, & Midgette, 2000). Masing-masing parameter akan diberi bobot berbeda sesuai dengan pengaruhnya terhadap potensi kerentanan pencemaran air permukaan.



Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian (Research location)

Sumber (Source): Hasil visualisasi SIG (GIS visualization result), 2019

Komposisi kimiawi air alami ditentukan oleh berbagai sumber zat terlarut, termasuk gas dan aerosol dari atmosfer, pelapukan, dan erosi batuan dan tanah, reaksi atau reaksi presipitasi yang terjadi di bawah permukaan tanah, dan efek budaya yang dihasilkan dari aktivitas manusia (Widyastuti & Suprayogi, 2006). Air permukaan lebih rentan terhadap kontaminasi di area kemiringan permukaan yang lebih curam (Eimers *et al.*, 2000). Ketika semua faktor lain sama, curah hujan masuk ke bawah permukaan di daerah-daerah yang ditandai dengan kemiringan rendah, sedangkan presipitasi mengalir dari permukaan tanah di daerah-daerah yang memiliki kemiringan tinggi. Semakin tinggi jumlah curah hujan mengakibatkan semakin besar kemungkinan kontaminan diangkut melalui aliran darat (Poedjiastoeti *et al.*, 2017). Penggunaan lahan menggambarkan aktivitas manusia di permukaan tanah. Faktor ini mewakili potensi sumber pencemar non-titik yang dihasilkan dari aktivitas manusia.

Penggunaan lahan juga mempengaruhi persentase curah hujan yang mengalir sebagai aliran darat (Widyastuti & Suprayogi, 2006). Penggunaan lahan diprediksi memiliki kontribusi tinggi pada pencemaran sungai.

Karakteristik potensi kerentanan pencemaran air permukaan berdasarkan parameter yang mempengaruhi seperti pada Tabel 1. Pada setiap parameter memiliki bobot yang menunjukkan seberapa besar kontribusi terhadap sifat kerentanan. Klasifikasi kelas parameter rata-rata curah hujan tahunan seperti pada Tabel 2. Klasifikasi kelas kemiringan lereng dibagi berdasarkan kelas-kelas dengan skor seperti pada Tabel 3. Klasifikasi parameter penutupan lahan seperti pada Tabel 4. Skema klasifikasi penutupan lahan mengacu pada Peta Rupabumi Indonesia tahun 2000 yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial sehingga penutupan lahan tahun 2016 hasil interpretasi visual juga mengacu skema klasifikasi tersebut.

Tabel (Table) 1. Parameter dan pembobotan nilai kerentanan pencemaran (*Parameters and weighting of pollution vulnerability*)

Parameter ( <i>Parameters</i> )	Karakteristik ( <i>Characteristics</i> )	Pembobot ( <i>Weight</i> )
Rata-rata hujan tahunan ( <i>Average annual rainfall</i> )	Sumber air yang mengangkut bahan pencemar ke sungai utama	2
Kemiringan lereng ( <i>Slope</i> )	Berpengaruh terhadap proses infiltrasi dan limpasan permukaan	1
Penutupan lahan ( <i>Land cover</i> )	Menggambarkan sumber bahan pencemar yang masuk ke sistem sungai	3

Sumber (*Source*): Modifikasi dari (*Modification from*) Eimers *et al.* (2000)

Tabel (Table) 2. Skor parameter curah hujan  
(*Rainfall parameter score*)

Kelas curah hujan ( <i>Rainfall classes</i> )	Skor ( <i>Score</i> )
< 1750 mm/tahun	3
1750 - 2000 mm/tahun	4
2001 - 2250 mm/tahun	5
2251 - 2500 mm/tahun	6
> 2500 mm/tahun	7

Sumber (Source): Modifikasi dari (Modification from) Eimers et al.(2000)

Tabel (Table) 3. Skor parameter kemiringan lereng  
(*Slope parameter scores*)

Kelas lereng ( <i>Slope classes</i> )	Skor ( <i>Score</i> )
< 8 %	2
8 - 15 %	4
15 - 25 %	6
25 - 40 %	8
> 40 %	10

Sumber (Source): Modifikasi dari (Modification from) Eimers et al. (2000)

Berdasarkan parameter-parameter dengan nilai pembobot dan skor masing-masing kriteria tersebut nilai potensi kerentanan pencemaran dapat diketahui.

Pengukuran Indeks potensi kerentanan pencemaran dilakukan dengan menggunakan SIG untuk menyajikan informasi persebaran spasial berupa Peta Potensi Kerentanan Pencemaran. Pengukuran Indeks Potensi Kerentanan Pencemaran Aliran Permukaan seperti pada Persamaan 1.

$$Ik = Rw.Rr + Tw.Tr + Lw.Lr \dots\dots\dots(1)$$

**Keterangan (Remarks):**

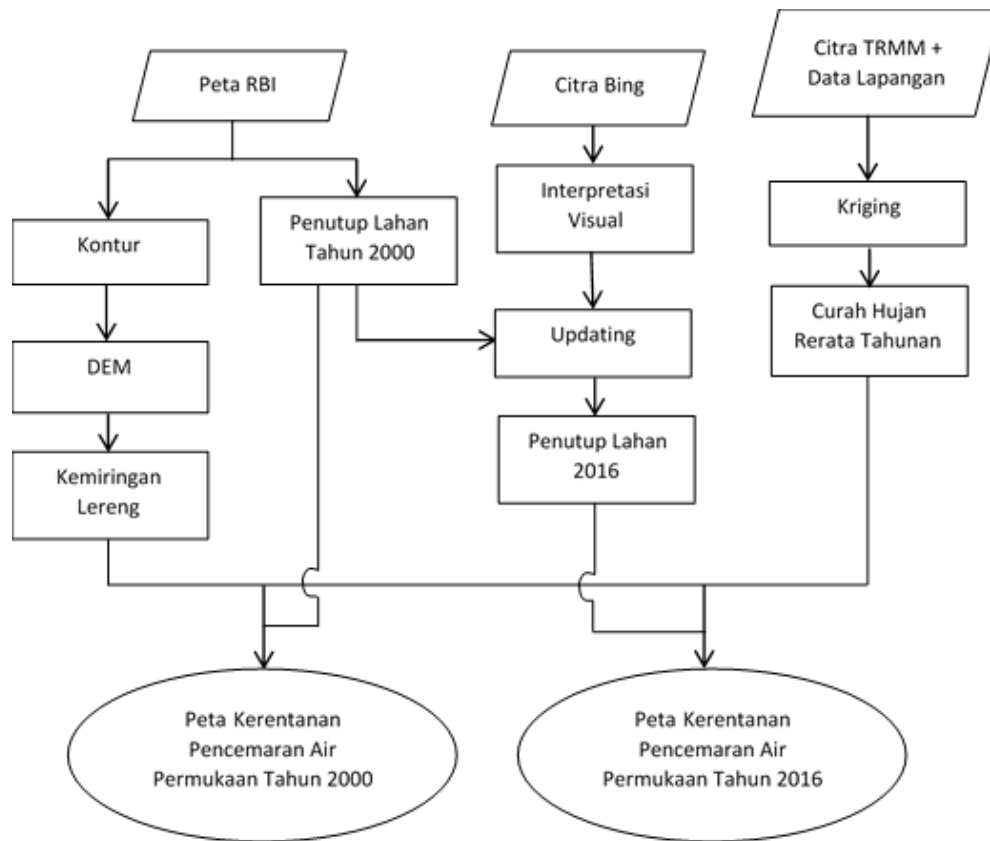
Ik = Indeks Potensi Kerentanan,  
Rw = Bobot hujan tahunan,  
Rr = Skor hujan tahunan,  
Tw = Bobot kemiringan lereng,  
Tr = Skor kemiringan lereng  
Lw = Bobot penutupan lahan  
Lr = Skor penutupan lahan

Tahapan penelitian terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, dan penyajian hasil. Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 2.

Tabel (Table) 4. Skor parameter penutupan lahan (*Land cover parameter score*)

Penutupan lahan ( <i>Land Cover</i> )	Skor ( <i>Score</i> )
Hutan rimba ( <i>Wildwood</i> )	3
Perkebunan ( <i>Plantation</i> )	5
Tegalan ( <i>Dry field agricultural</i> )	5
Sawah ( <i>Irrigated paddy field</i> )	7
Sawah tadah hujan ( <i>Non Irrigated paddy field</i> )	7
Padang rumput ( <i>Pasture</i> )	4
Semak belukar ( <i>Shrub</i> )	4
Bangunan ( <i>Building</i> )	8
Danau ( <i>Lake</i> )	1
Permukiman ( <i>Settlement</i> )	8

Sumber (Source): Modifikasi dari (Modification from) Eimers et al. (2000)



Gambar (Figure) 2. Diagram alir penelitian (Research flowchart)

Sumber (Source): Modifikasi dari Eimers *et al.* (2000) dan Hussein & Werdiningsih (2012)

(Modification from Eimers *et al.*, 2000 and Hussein & Werdiningsih, 2012)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Distribusi Parameter Potensi Kerentanan Pencemaran Air Permukaan

Curah hujan rata-rata tahunan di Sub DAS Panas dikelompokkan menjadi 5 kelas sebagaimana merujuk pada metode penelitian. Dari perbandingan luas pada

masing-masing kelas curah hujan rata-rata tahunan, dapat diketahui bahwa kelas curah hujan rata-rata tahunan 2.251 – 2.500 mm/tahun merupakan kelas dominan yang ada di Sub DAS Panas. Luas masing-masing kelas curah hujan disajikan dalam Tabel 5.

Tabel (Table) 5. Luas kelas curah hujan (Rainfall class area)

Kelas curah hujan (Rainfall class)	Luas dalam Hektar (Area in Ha)	Persentase (Percentage)
< 1.750 mm/tahun	127,73	2,64
1.750 – 2.000 mm/tahun	314,49	6,50
2.001 – 2.250 mm/tahun	558,30	11,53
2.251 – 2.500 mm/tahun	2.455,55	50,73
> 2.500 mm/tahun	1.384,20	28,60

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (GIS analysis results), 2019



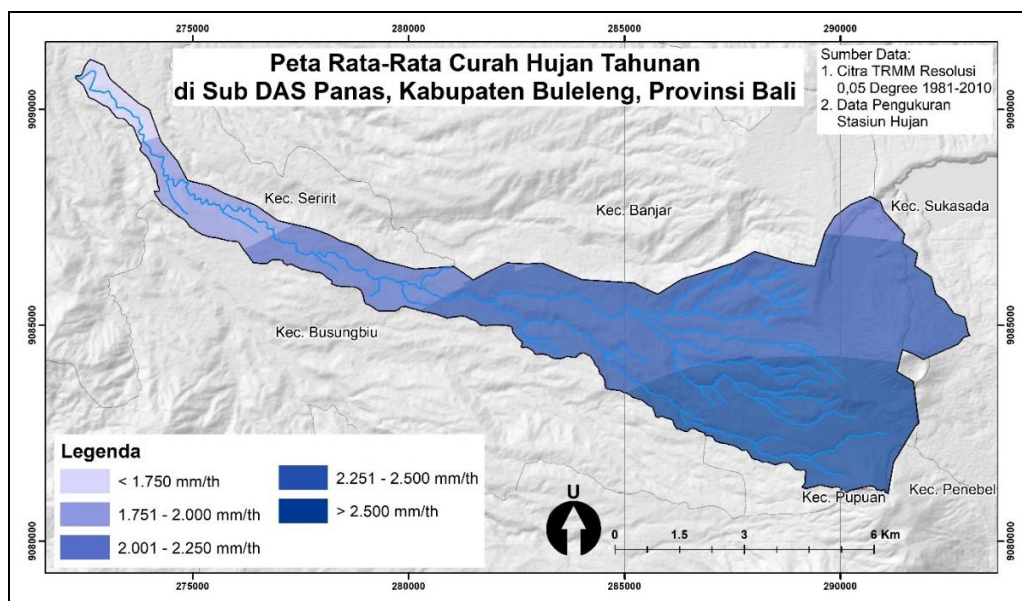
Distribusi secara spasial kelas curah hujan rata-rata tahunan tersebut disajikan pada Gambar 3. Distribusi curah hujan rata-rata tahunan ini memiliki variasi secara gradual dari hulu ke hilir, dimana semakin ke hulu maka curah hujan rata-rata tahunan akan semakin tinggi. Dari variasi distribusi spasial curah hujan ini dapat diketahui bahwa hujan yang terjadi di Sub DAS Panas merupakan hujan orografis, yang berpotensi menyediakan sumber air dan cadangan air bersih untuk air minum dan irigasi. Akan tetapi, karena wilayah hulu juga terdapat Danau Tamblingan maka akan memiliki berpotensi banjir akibat luapan air danau. Selain itu, apabila semua faktor dianggap sama maka curah hujan yang semakin tinggi mengakibatkan semakin besar kemungkinan polutan diangkut melalui aliran permukaan, mengalir dari wilayah dengan kemiringan lereng besar menuju wilayah dengan kemiringan lereng kecil. Luas masing-masing kelas kemiringan lereng disajikan dalam Tabel 6.

Tabel (Table) 6. Luas kelas kemiringan lereng (Slope class area)

Kelas lereng (Slope classes)	Luas dalam Hektar (Area in Ha)	Persentase (Percentage)
< 8 %	646,44	13,36
8 - 15 %	621,83	12,58
15 - 25 %	820,80	16,96
25 - 40 %	1.100,90	22,74
> 40 %	1.650,30	34,10

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (GIS analysis results ), 2019

Perbandingan luas pada masing-masing kelas lereng menunjukkan bahwa kelas lereng >40% merupakan kelas dominan yang ada di Sub DAS Panas. Distribusi secara spasial kelas lereng tersebut disajikan pada Gambar 4. Apabila dilihat dari perwilayahannya maka wilayah hulu didominasi oleh lereng >40%, kecuali Danau Tamblingan. Selain itu, wilayah di sepanjang tebing sungai dari hulu menuju hilir juga memiliki kemiringan lereng >40%. Apabila dikonversi ke dalam satuan derajat maka 40% sama dengan 21,85°, yang menurut klasifikasi lereng

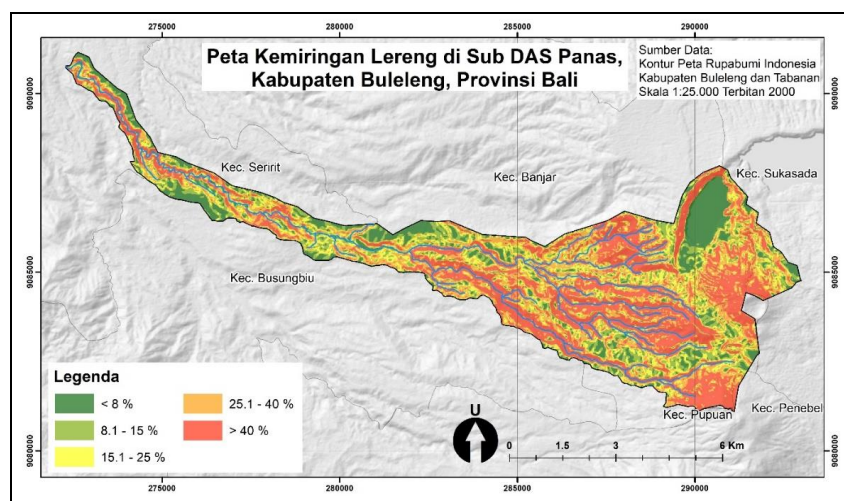


Gambar (Figure) 3. Peta rata-rata curah hujan tahunan (Average annual rainfall map)

Sumber (Source): Hasil analisis SIG, (GIS analysis results ), 2019

Van Zuidam adalah termasuk lereng curam. Pengaruh dari nilai kemiringan lereng seperti ini adalah wilayah hulu dan sepanjang tebing sungai memiliki kerentanan pencemaran air permukaan tinggi karena polutan yang berbentuk cair akan sulit untuk infiltrasi sehingga menjadi aliran permukaan. Kemiringan lereng yang besar juga mengakibatkan polutan tersebut lebih mudah mengalir ke wilayah yang lebih rendah dan masuk ke dalam sistem sungai. Akibatnya, sungai menjadi tercemar dan semua aktivitas yang memanfaatkan air sungai juga akan menerima dampak negatif dari pencemaran.

Distribusi kelas penutupan lahan disajikan dalam Tabel 7. Dari perbandingan luas pada masing-masing kelas penutupan lahan, dapat diketahui bahwa kelas perkebunan/kebun merupakan kelas dominan yang ada di Sub DAS Panas. Distribusi secara spasial kelas penutupan lahan tersebut disajikan pada Gambar 5. Apabila dilihat dari perwilayahannya maka wilayah hulu didominasi oleh hutan rimba dan perkebunan, wilayah tengah didominasi oleh sawah, perkebunan, dan permukiman, serta wilayah hilir didominasi oleh sawah dan permukiman.

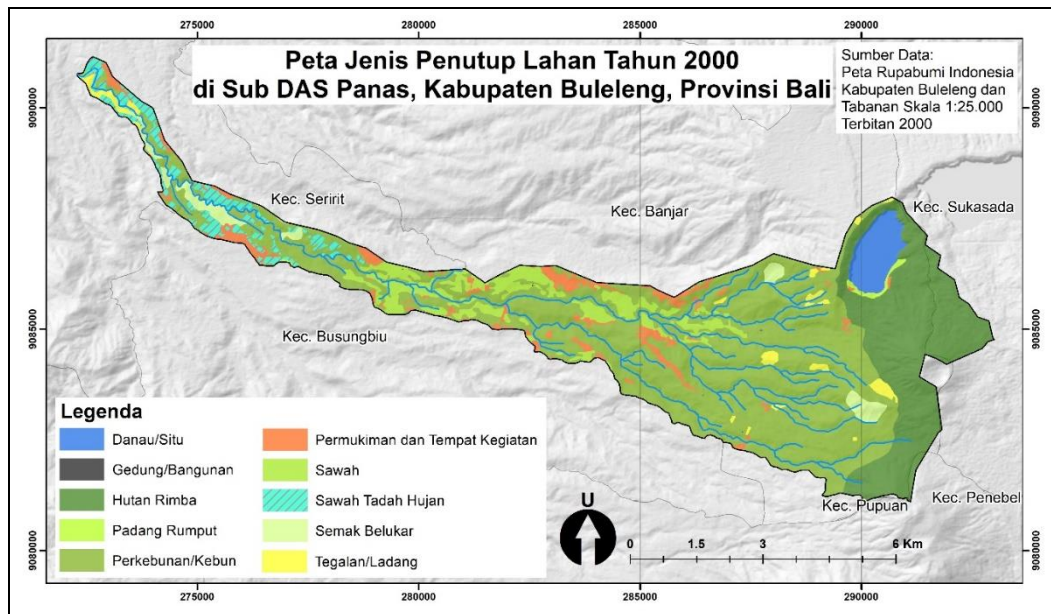


Gambar (Figure) 4. Peta kemiringan lereng (Slope map)  
Sumber (Source): Hasil analisis SIG (GIS analysis results), 2019

Tabel (Table) 7. Luas kelas penutupan lahan tahun 2000 (Area of land cover class in 2000)

Penutupan lahan (Land cover)	Luas dalam Hektar (Area in Ha)	Persentase (Percentage)
Hutan rimba (Wildwood)	961,13	19,84
Perkebunan (Plantation)	2.735,23	56,45
Tegalan (Dry field agricultural)	83,75	1,73
Sawah (Irrigated paddy field)	353,40	7,29
Sawah tadah hujan (Non Irrigated paddy field)	188,80	3,90
Padang rumput (Pasture)	17,84	0,37
Semak belukar (Shrub)	124,83	2,58
Bangunan (Building)	0,65	0,01
Danau (Lake)	152,53	3,15
Permukiman (Settlement)	226,88	4,68

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (GIS analysis results), 2019



Gambar (Figure) 5. Peta penutupan lahan tahun 2000 (Land cover map in 2000)  
 Sumber (Source): Hasil analisis GIS analysis results), 2019

### B. Distribusi Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2000 dan 2016

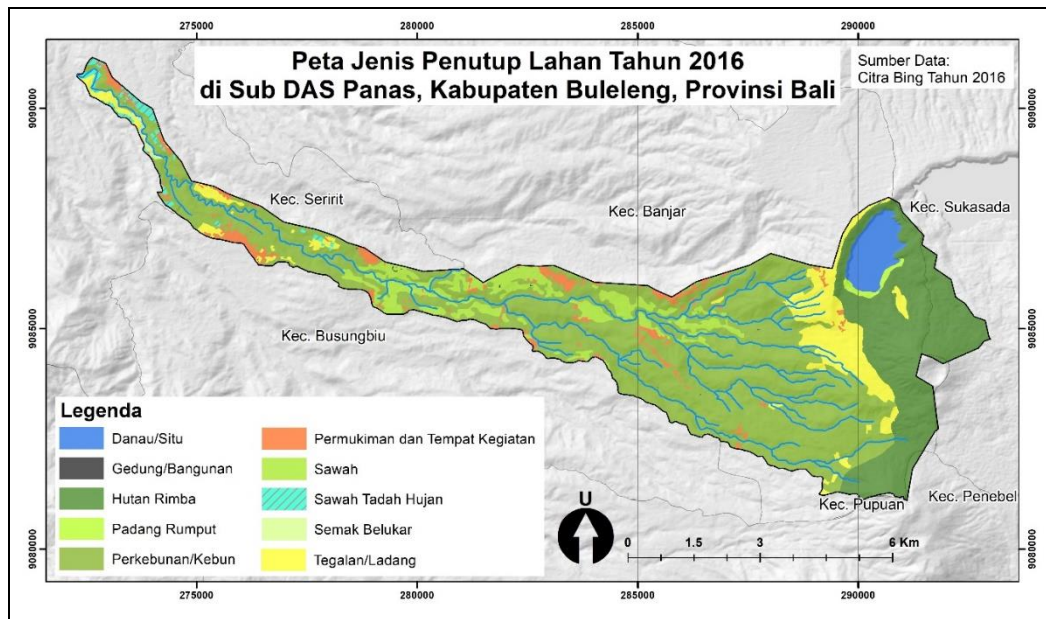
Penutupan lahan tahun 2016 di Sub DAS Panas didominasi oleh perkebunan seperti yang tercantum dalam Tabel 8. Dari perbandingan luas pada masing-masing kelas penutupan lahan, dapat diketahui bahwa kelas perkebunan/kebun masih merupakan kelas dominan yang ada di Sub DAS Panas. Berbeda dengan penutupan lahan tahun 2000, sungai pada

tahun 2016 sudah tidak ada. Distribusi secara spasial kelas penutupan lahan tersebut disajikan pada Gambar 6 dan tabel perubahan penutupan lahan tahun 2000 ke 2016 disajikan pada Tabel 9. Apabila dilihat dari perwilayahannya maka wilayah hulu didominasi oleh hutan rimba, tegalan, dan perkebunan, wilayah tengah didominasi oleh sawah dan perkebunan, serta wilayah hilir masih didominasi oleh sawah dan permukiman.

Tabel (Table) 8. Luas kelas penutupan lahan tahun 2016 (Area of land cover class in 2016)

Penutupan lahan (Land cover)	Luas dalam hektar (Area in Ha)	Persentase (Percentage)
Hutan rimba (Wildwood)	930,42	19,20
Perkebunan (Plantation)	2.743,94	56,63
Tegalan (Dry field agricultural)	406,42	8,39
Sawah (Irrigated paddy field)	349,51	7,21
Sawah tadah hujan (Non Irrigated paddy field)	55,74	1,15
Padang rumput (Pasture)	20,71	0,43
Semak belukar (Shrub)	13,24	0,27
Bangunan (Building)	1,59	0,03
Danau (Lake)	155,50	3,21
Permukiman (Settlement)	167,97	3,47

Sumber (Source): Hasil analisis SIG, 2019 (GIS analysis results in 2019)



Gambar (Figure) 6. Peta penutupan lahan tahun 2016 (Land cover map in 2016)  
 Sumber (Source): Hasil analisis SIG (GIS analysis results), 2019

Tabel 9. Perubahan luas tutupan lahan di Sub DAS Panas dari tahun 2000 ke tahun 2016  
 (Changes in land cover area in the Panas Sub Watershed from 2000 to 2016)

Penutupan lahan (Land cover)	Perubahan luas (Area change) (Ha)	Perubahan (Change) (%)
Hutan rimba (Wildwood)	- 30,71	- 3,20
Perkebunan (Plantation)	+ 8,71	+ 0,32
Tegalan (Dry field agricultural)	+ 322,67	+ 385,29
Sawah (Irrigated paddy field)	- 3,89	-1,10
Sawah tadah hujan (Non Irrigated paddy field)	- 133,06	-70,48
Padang rumput (Pasture)	+ 2,87	+ 16,09
Semak belukar (Shrub)	- 111,59	- 89,39
Bangunan (Building)	+ 0,94	+ 144,62
Danau (Lake)	+ 2,97	+ 1,95
Permukiman (Settlement)	- 58,91	- 25,97

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (GIS analysis results), 2019

Keterangan: (+) terjadi penambahan dibandingkan tahun sebelumnya  
 (-) terjadi pengurangan dibandingkan tahun sebelumnya

Tabel 9 memberikan informasi penutupan lahan yang mengalami pengurangan luas dari tahun 2000 ke 2016 yaitu hutan rimba, semak belukar, sawah, sawah tadah hujan, dan permukiman, sedangkan yang mengalami peningkatan luas adalah padang rumput, perkebunan, tegalan, danau dan bangunan. Penutupan lahan yang

mengalami perubahan luas lebih dari 50% selama 16 tahun yaitu semak belukar, tegalan, sawah tadah hujan, dan bangunan. Perubahan penutupan lahan tersebut karena danau mengalami sedikit perluasan, bangunan semakin bertambah, baik yang soliter maupun berkelompok dalam bentuk kompleks perumahan, hutan rimba mengalami pembukaan



lahan, padang rumput semakin meluas, perkebunan berubah menjadi permukiman, tegalan, dan sawah, sawah berubah menjadi perkebunan dan permukiman, semak berubah menjadi perkebunan, tegalan berubah menjadi perkebunan dan permukiman.

Hal yang juga penting diamati ketika mengkaji tentang perubahan tutupan lahan adalah sifat dan lokasi perubahan. Dilihat dari sifat perubahan tutupan lahan maka perubahan yang bersifat sementara terjadi pada perubahan dari danau menjadi padang rumput, padang rumput menjadi danau, semak belukar menjadi perkebunan, dan perkebunan menjadi tegalan. Perubahan yang bersifat sementara artinya adalah penutupan lahan masih mungkin untuk berubah karena perubahan yang terjadi bersifat dinamis/siklus. Untuk perubahan yang sifatnya permanen terjadi pada perubahan dari perkebunan menjadi permukiman, hutan rimba menjadi padang rumput dan tegalan, sawah menjadi permukiman, dan sungai menjadi sawah. Sementara itu, perubahan yang terjadi di wilayah hulu, memberikan kontribusi besar terhadap pencemaran air

permukaan, serta terutama yang bersifat permanen maka perlu menjadi perhatian. Contohnya adalah perubahan dari hutan rimba menjadi padang rumput dan tegalan.

### C. Potensi Kerentanan Pencemaran Air Permukaan Tahun 2000 dan 2016

Kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2000 di Sub DAS Panas didominasi oleh kelas kerentanan sedang. Apabila dilihat dari perwilayahannya maka wilayah hulu didominasi oleh kelas kerentanan sedang, wilayah tengah didominasi oleh kelas kerentanan tinggi, serta wilayah hilir kelas kerentanan sedang. Sementara itu, Kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2016 di Sub DAS Panas juga didominasi oleh kelas kerentanan sedang. Apabila dilihat dari perwilayahannya maka wilayah hulu didominasi oleh kelas kerentanan sedang, wilayah tengah didominasi oleh kelas kerentanan tinggi, serta wilayah hilir kelas kerentanan sedang. Distribusi secara spasial kelas kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2000 disajikan pada Gambar 7, sementara kelas kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2016 disajikan pada Gambar 8.

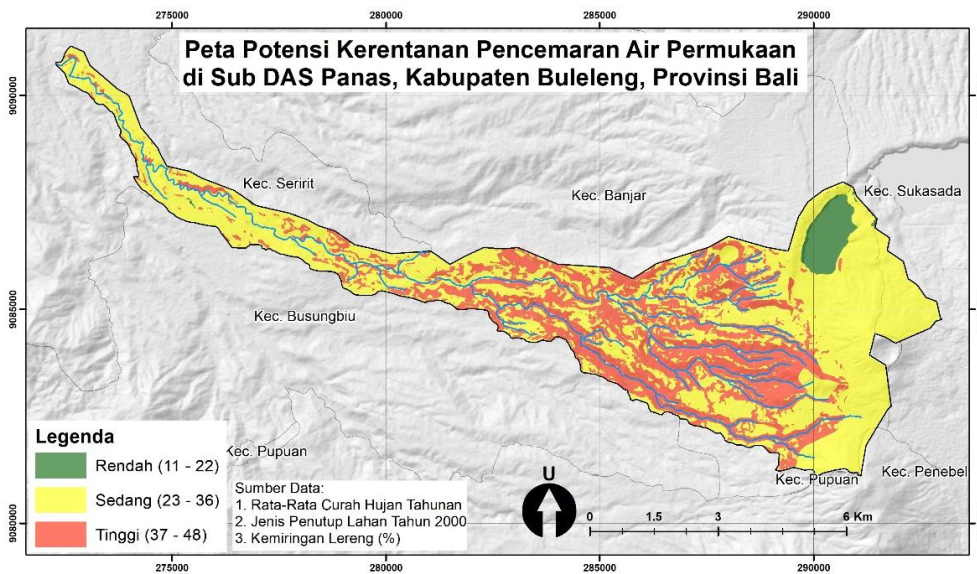
Tabel (Table) 10. Luas kelas potensi kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2000 dan 2016 (*Potential of surface water pollution vulnerability classes in 2000 and 2016*)

Potensi kerentanan pencemaran air permukaan ( <i>Vulnerability potential of surface water pollution</i> )	Luas pada tahun 2000 ( <i>Area in 2000</i> )		Luas pada tahun 2016 ( <i>Area in 2016</i> )	
	Ha	%	Ha	%
Rendah ( <i>Low</i> )	158,07	3,27	154,89	3,20
Sedang ( <i>Medium</i> )	3.030,65	62,61	3.069,12	63,41
Tinggi ( <i>High</i> )	1.651,55	34,12	1.616,26	33,39

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (*GIS analysis results*), 2019

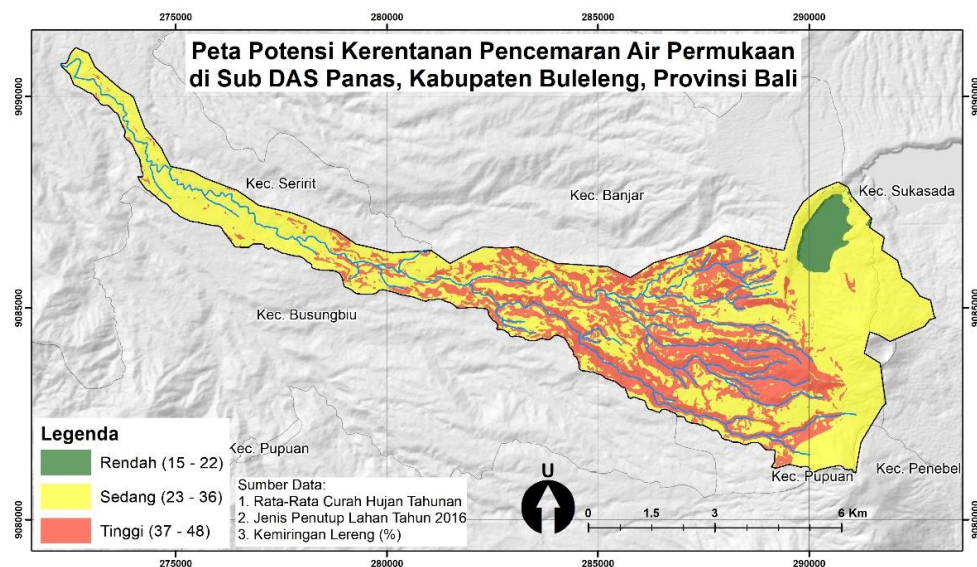
Apabila diamati secara visual pada peta dan dari persentase luasan kelas kerentanan maka perbedaan kelas kerentanan pencemaran air permukaan pada tahun 2000 dan 2016 tidak begitu signifikan, tetapi perubahan dapat diamati pada wilayah hulu cenderung mengalami peningkatan akibat pembukaan lahan hutan menjadi tegalan dan kegiatan pariwisata, serta dari semak belukar

menjadi perkebunan. Sementara itu, pada wilayah tengah cenderung konstan, tetapi di wilayah hilir cenderung mengalami penurunan akibat konversi lahan sawah menjadi perkebunan dan tutupan vegetasi di wilayah hilir semakin rapat. Dampaknya adalah meningkatnya proses infiltrasi, tetapi apabila air yang terinfiltrasi mengalami pencemaran maka dapat memicu terjadinya pencemaran air tanah.



Gambar (Figure) 7. Peta potensi kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2000 (*Potential vulnerability map of surface water pollution in 2000*)

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (*GIS analysis result*), 2019



Gambar (Figure) 8. Peta potensi kerentanan pencemaran air permukaan tahun 2016 (*Potential vulnerability map of surface water pollution in 2016*)

Sumber (Source): Hasil analisis SIG (*GIS analysis results*), 2019

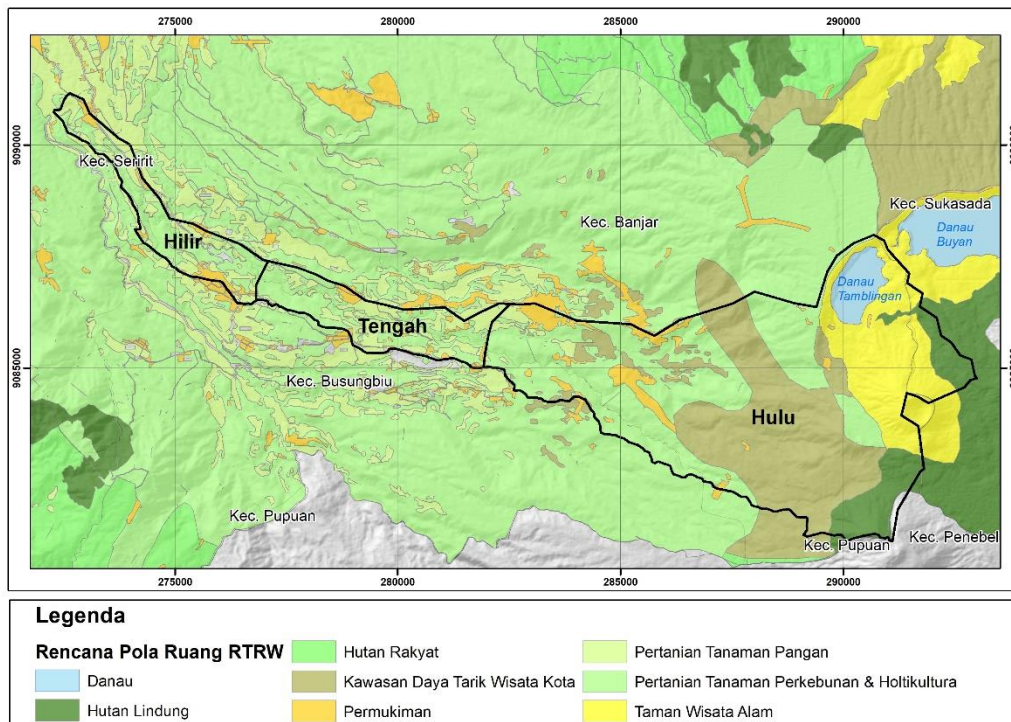
Perubahan tutupan lahan permukiman memengaruhi pola spasio-temporal limpasan, yang kemudian berdampak pada kualitas air permukaan (Wilson & Weng, 2010). Jenis penutupan lahan yang dihubungkan dengan aktivitas manusia menghasilkan hubungan positif antara lahan pertanian dan wilayah permukiman dengan indikator polusi kualitas air (seperti nitrogen, fosfor, amonia) (Kang *et al.*, 2010), dimana sumber polutan pertanian berupa pupuk (terutama Nitrogen) dan pestisida. Pemahaman mengenai hubungan antara penutupan lahan dan kualitas air permukaan diperlukan agar pengelolaan sumber daya air berlangsung efektif. Penutupan lahan hutan dan permukiman memiliki dampak yang lebih besar bagi kualitas air pada musim kemarau dibandingkan dengan musim hujan (Ding *et al.*, 2015). Walaupun berperan besar terhadap kerentanan pencemaran air permukaan, tetapi penutupan lahan dapat pula dikelola untuk meningkatkan kualitas air (Basnyat, Teeter, Lockaby, & Flynn, 2000).

#### **D. Rekomendasi Pengelolaan DAS dari Potensi Pencemaran Air Permukaan**

Menimbang pada kemungkinan terburuk bahwa Danau Tamblingan yang berlokasi di hulu Sub DAS Panas mengalami pencemaran, distribusi curah hujan tinggi di wilayah hulu, kemiringan lereng yang curam, dan konversi lahan hutan rimba di hulu menjadi ladang maka

potensi kerentanan pencemaran air permukaan akan semakin meningkat dan membahayakan wilayah hilir. Untuk itu, diperlukan pengelolaan lingkungan agar dampak pencemaran tidak mengganggu aktivitas masyarakat.

Beberapa rekomendasi yang ditawarkan antara lain, dari segi peran kelembagaan, perlu disusun regulasi yang mengatur tentang pembatasan aktivitas masyarakat di hulu Sub DAS Panas berkaitan dengan pembukaan lahan untuk berladang dan kegiatan pariwisata di sekitar Danau Tamblingan. Dinamika tutupan lahan di DAS berhubungan dengan kebijakan penggunaan lahan dan perkembangan ekonomi (Zhao, Zhang, Fu, & Zhang, 2012) sehingga diperlukan perencanaan tata guna lahan yang tepat untuk setiap kegiatan pengembangan di dalam DAS dan harus melalui kajian dampak lingkungan. Gambar 9 menampilkan peta perwilayahan Sub DAS Panas dan Rencana Pola Ruang RTRW Kabupaten Buleleng tahun 2013-2033. Pemanfaatan lahan di Sub DAS Panas memang sudah sesuai dengan rencana tata ruang Kabupaten Buleleng, tetapi adanya alokasi ruang untuk kegiatan perkebunan ditambah dengan kawasan wisata alam perlu menjadi perhatian karena posisinya berada di hulu DAS, yang air permukaannya berpotensi rentan tercemar sedang hingga tinggi.



Gambar (Figure) 9. Peta perwilayahan Sub DAS Panas dan Rencana Pola Ruang RTRW Kabupaten Buleleng 2013-2033 (*Zoning map of Panas sub-watershed and spatial land use plan of Buleleng Regency in 2013-2033*)

Sumber (Source): Hasil visualisasi SIG (*GIS visualization results*), 2019

Sosialisasi dan pengawasan juga harus dilakukan oleh lembaga berwenang, khususnya pada masyarakat di bagian hulu dan tengah Sub DAS Panas. Dari segi peran masyarakat, perhatian khusus perlu diberikan oleh masyarakat yang memiliki lahan garapan, seperti perkebunan, tegalan, dan sawah, berkaitan dengan pengendalian penggunaan pestisida berlebihan, serta bagi masyarakat yang tinggal di kompleks perumahan dapat membangun *septic tank* komunal (Umar, Baiquni, & Ritohardoyo, 2011) untuk mengendalikan limbah domestik. Penting pula untuk menyediakan insentif bagi penduduk lokal yang menjaga area penanaman baru (Butt, Shabbir, Ahmad, & Aziz, 2015). Berkaitan dengan kondisi topografi wilayah yang curam, diperlukan

rekayasa seperti pembuatan terasering, orok, dan kolam retensi untuk menurunkan laju limpasan permukaan dan meningkatkan simpanan permukaan sehingga air permukaan yang tercemar tidak langsung masuk ke dalam sistem sungai dan terbawa hingga ke hilir.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa penutupan lahan merupakan faktor utama yang menyebabkan potensi pencemaran air permukaan sehingga diperlukan zonasi kawasan di dalam pengaturan pemanfaatan sumber daya air, serta memperhatikan fungsi kawasan sebagaimana diatur dalam pasal 26 Undang-Undang No 17 tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. Tahapan dalam pengendalian pencemaran menurut pasal 13 Undang- Undang No 32 tahun 2009



tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup meliputi pencegahan, penanggulangan, dan pemulihan. Zonasi kerentanan pencemaran adalah salah satu upaya dalam pengendalian pencemaran air. Selain itu, terdapat berbagai instrumen lain yang dapat digunakan seperti tata ruang, Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS), AMDAL, dan baku mutu lingkungan hidup. Penyediaan informasi kepada masyarakat juga merupakan salah satu upaya pemerintah dalam mengendalikan pencemaran air, sebagaimana diatur dalam pasal 8 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 1 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air, misalnya memberikan informasi mengenai status mutu air, sumber pencemar, dan upaya pengendalian pencemaran air.

Walaupun disebutkan bahwa upaya mencegah pencemaran air adalah melakukan identifikasi sumber pencemar dan memetakan tingkat kerentanan pencemaran air permukaan, tetapi penelitian ini hanya fokus pada pemetaan potensi kerentanan pencemaran air permukaan dan belum diidentifikasi secara jelas sumber pencemar PS dan NPS. Langkah selanjutnya yang dilakukan untuk mengendalikan pencemaran air sebagaimana termuat dalam Bab 3 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 1 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air adalah menetapkan daya tampung beban pencemaran air. Untuk itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengkaji lebih fokus pada daya tampung beban pencemaran karena informasi tersebut dapat bermanfaat untuk pemberian izin

lokasi dan izin pembuangan air limbah, penetapan rencana tata ruang, pengelolaan air dan sumber air, serta penetapan baku mutu air. Permasalahan utama di dalam pengelolaan yang layak dari air adalah mengidentifikasi jarak efektif dari polusi air permukaan (Wang & Zhang, 2018). Penetapan indikator kerentanan pun dapat dikaji kembali mengingat dalam penelitian ini baru menggunakan tiga parameter kerentanan. Padahal, terdapat parameter lain yang dapat digunakan dalam menyusun model, diantaranya kerapatan vegetasi, kepadatan penduduk, hidrogeometri sungai, kualitas air, debit sugai, dan ukuran batuan dasar sungai (Poedjiastoeti *et al.*, 2017). Perlu juga mempertimbangkan parameter jenis tanah dan jarak terhadap sungai (Macary, Morin, Probst, & Saudubray, 2014). Penyempurnaan metode ini memerlukan dukungan infrastruktur penyedia data sungai dan DAS, serta prosedur kerja kelembagaan yang stabil (Abdi *et al.*, 2011).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemetaan, sebagian wilayah hulu dan wilayah tengah Sub DAS Panas masuk dalam kategori potensi kerentanan tinggi terhadap pencemaran air permukaan yang diakibatkan oleh kondisi lereng curam, penutupan lahan perkebunan/kebun, dan curah hujan rata-rata tahunan sebesar 2.251 – 2.500 mm/tahun. Perubahan penutupan lahan terbesar dari tahun 2000 ke tahun 2016 adalah tegalan yang diikuti pemukiman. Walaupun dilihat dari metode bahwa skor penutupan lahan permukiman, bangunan, dan sawah memiliki pengaruh

tinggi terhadap potensi pencemaran air permukaan, tetapi luasan perkebunan lebih memengaruhi potensi suatu wilayah untuk tercemari air permukaannya. Oleh karena itu, aktivitas perkebunan di wilayah hulu dan tengah perlu diawasi dan diberi perhatian khusus agar tidak memperparah kondisi kualitas air di Sub DAS Panas.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat fokus pada mengetahui kondisi nyata kualitas air dari areal yang mempunyai potensi kerentanan pencemaran air permukaan tinggi dan mengkaji daya tampung beban pencemaran. Parameter lain juga dapat ditambahkan untuk penyempurnaan model antara lain kerapatan vegetasi, kepadatan penduduk, hidromeometri sungai, kualitas air, debit sugai, ukuran batuan dasar sungai, jenis tanah, dan jarak terhadap sungai.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Slamet Suprayogi, M.S. atas saran dalam pemilihan metode penelitian. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Bastian Andarino, S.Tr dan Fadhiya Rizka Y, S.Pd. yang telah membantu dalam mengolah data curah hujan dan penutupan lahan, serta kepada Moh Saifulloh, S.P. yang membantu penyediaan data Rencana Pola Ruang RTRW Kabupaten Buleleng 2013-2033.

#### KONTRIBUSI PENULIS

Penulis pertama mengumpulkan data, membuat naskah publikasi, mendesain topik penelitian, menyusun metode dan analisis data penelitian, serta interpretasi dan visualisasi hasil penelitian. Penulis kedua mendesain topik pembahasan,

menyusun pendahuluan dan landasan teori, serta review naskah publikasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Z., Hadi, P., & Widyastuti, M. (2011). Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Batanghari pada Penggal Gasiang – Sungai Langkok Sumatera Barat. *Majalah Geografi Indonesia*, 25(1), 70–94.
- Auliyani, D. & Wijaya, W.W. (2017). Perbandingan Prediksi Hasil Sedimen Menggunakan Pendekatan Model Universal Soil Loss Equation dengan Pengukuran Langsung. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 1(1), 61–71.
- Azrina, M. Z., Yap, C. K., Ismail, A. R., Ismail, A., & Tan, S. G. (2006). Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(3), 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.003>
- Basnyat, P., Teeter, L. D., Lockaby, B. G., & Flynn, K. M. (2000). The use of remote sensing and GIS in watershed level analyses of non-point source pollution problems. *Forest Ecology and Management*, 128(1–2), 65–73. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00273-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00273-X)
- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S. S., & Aziz, N. (2015). Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.07.003>
- Cinar, O., & Merdun, H. (2009). Application of an unsupervised artificial neural network technique to multivariant

- surface water quality data. *Ecological Research*, 24(1), 163–173. <https://doi.org/10.1007/s11284-008-0495-z>
- Ding, J., Jiang, Y., Fu, L., Liu, Q., Peng, Q., & Kang, M. (2015). Impacts of land use on surface water quality in a subtropical river basin: A case study of the dongjiang river basin, Southeastern China. *Water*, 7(8), 4427–4445. <https://doi.org/10.3390/w7084427>
- Eimers, J. L., Weaver, J. C., Terziotti, S., & Midgette, R. W. (2000). *Methods of Rating Unsaturated Zone and Watershed Characteristics of Public Water Supplies in North Carolina*. North Carolina.
- Hussein, S., & Werdiningsih. (2012). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Berbasis Open Source untuk Analisis Kerentanan Air Permukaan SubDAS Blongkeng. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komunikasi (SENTIKA) 2012*, 1–6. Yogyakarta.
- Jiang, M., Chen, H., Chen, Q., & Wu, H. (2014). Study of landscape patterns of variation and optimization based on non-point source pollution control in an estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 87(1–2), 88–97.
- Kang, J. H., Lee, S. W., Cho, K. H., Ki, S. J., Cha, S. M., & Kim, J. H. (2010). Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan River Basin. *Water Research*, 44, 4143–4157.
- Macary, F., Morin, S., Probst, J. L., & Saudubray, F. (2014). A multi-scale method to assess pesticide contamination risks in agricultural watersheds. *Ecological Indicators*, 36, 624–639. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.001>
- Nguyen, A. K., Liou, Y. A., Li, M. H., & Tran, T. A. (2016). Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. *Ecological Indicators*, 69, 100–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.026>
- Poedjiastoeti, H., Sudarmadji, Sunarto, & Suprayogi, S. (2017). Penilaian Kerentanan Air Permukaan terhadap Pencemaran di Sub DAS Garang Hilir Berbasis Multi-Indeks. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 5(3), 168–180. <https://doi.org/10.14710/jwl.5.3.168-180>.
- Umar, M. A., Baiquni, M., & Ritohardoyo, S. (2011). Peran masyarakat dan pemerintah dalam pengelolaan air limbah domestik di wilayah Ternate Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*, 25(1), 42–54.
- Wang, X., & Zhang, F. (2018). Effects of land use/cover on surface water pollution based on remote sensing and 3D-EEM fluorescence data in the Jinghe Oasis. *Scientific Reports*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31265-0>
- Widyastuti, M., & Suprayogi, S. (2006). Contamination vulnerability analysis of watershed for water quality monitoring. *Forum Geografi*, 20(1), 47–54.
- Wilson, C., & Weng, Q. (2010). Assessing surface water quality and its relation with urban land cover changes in the Lake Calumet Area, Greater Chicago. *Environmental Management*, 45(5), 1096–1111. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9482-6>
- Zhao, Y., Zhang, K., Fu, Y., & Zhang, H. (2012). Examining land-use/land-cover change in the lake dianchi watershed of the Yunnan-Guizhou

plateau of Southwest China with remote sensing and GIS techniques: 1974-2008. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(11), 3843–3865. <https://doi.org/10.3390/ijerph911384>  
3