

PENILAIAN KERENTANAN AIR PERMUKAAN TERHADAP PENCEMARAN MENGGUNAKAN DATA PENGINDERAAN JAUH DAN TEKNIK GIS

(Assessment of Water Surface Vulnerability to Pollution
Using Remote Sensing Data and GIS Techniques)

Andy Wibawa Nurrohman¹, Margaretha Widyastuti², dan Slamet Suprayogi²

¹Program Studi MPPDAS, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

²Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Jl. Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

E-mail: andywibawan@gmail.com

Diterima: 10 Juni 2020; Direvisi: 19 September 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 27 September 2021

ABSTRAK

Air permukaan menjadi salah satu sumber daya alam yang paling rentan mengalami pencemaran akibat adanya tekanan dari faktor alami dan aktivitas antropogenik yang kompleks. Hal tersebut menimbulkan kekhawatiran kelangkaan air tawar di masa depan. Oleh karena itu, evaluasi kualitas air secara kontinu diperlukan untuk melestarikan sumber daya air tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimanuk menggunakan metode *overlay* dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan rata-rata curah hujan tahunan. Peta penggunaan lahan didapatkan dari citra Sentinel-2B, kemiringan lereng dari *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan data curah hujan rata-rata tahunan berasal dari hasil pemantauan BMKG. Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki tingkat kerentanan air permukaan terhadap pencemaran rendah (3,72%), sedang (59,24%), dan tinggi (37,04%). Hasil ini memberikan gambaran bahwa sebagian besar wilayah di DAS Cimanuk memiliki tingkat kerentanan sedang dan tinggi dengan faktor yang paling berpengaruh adalah adanya perubahan penggunaan lahan. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar penentuan titik pemantauan kualitas air di DAS Cimanuk yang efisien.

Kata kunci: DAS Cimanuk, Kerapuhan Lingkungan, Sentinel-2

ABSTRACT

Surface water is a natural resource that is currently most vulnerable to pollution due to the pressure of natural factors and complex anthropogenic activity. This fact raises concern that freshwater will be scarce in the future. Therefore, continuous evaluation of water quality is needed to conserve water resources. This research aims to analyze water surface vulnerability towards the pollution on the Cimanuk watershed. The research method uses the overlay method on Geographic Information System (GIS) with land use, slope and average annual rainfall parameters. Land use map obtained from Sentinel-2B satellite images, slope map from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and average annual rainfall from BMKG monitoring data. The results showed that the research area has a level of vulnerability to water surface towards low pollution (3,72%), moderate (59,24%), and high (37,04%). These results illustrate that most areas in the Cimanuk watershed have a moderate and high level of vulnerability, with the most influential factor to land use change. This information can be used as a basis to efficiently determine monitoring points of water quality in the Cimanuk watershed.

Keywords: Cimanuk Watershed, Environmental Fragility, Sentinel-2

PENDAHULUAN

Pencemaran air permukaan merupakan salah satu permasalahan lingkungan perairan di negara maju dan berkembang. Permasalahan tersebut disebabkan oleh praktik pengelolaan lahan yang tidak sesuai, sehingga memindahkan nutrisi ke badan air (Ngoye & Machiwa, 2004; Pacheco & Sanches Fernandes, 2016). Kegiatan pertanian yang intensif dan dampak urbanisasi yang cepat berkontribusi besar terhadap pencemaran.

Persentase tutupan lahan pertanian secara signifikan berkorelasi positif dengan pencemaran air karena proses pemupukan yang terbawa melalui limpasan permukaan (Tu, 2011). Urbanisasi dikaitkan dengan perubahan penggunaan lahan melalui pembangunan infrastruktur. Ketika suatu kota berkembang, hal ini akan meningkatkan limpasan polutan *Non Point Source* (NPS) (Wilson & Weng, 2010). Selain itu, faktor alami seperti curah hujan dan kondisi topografi menjadi faktor pendorong yang menyebabkan penurunan kualitas

air permukaan. Adanya tekanan dari faktor alami dan antropogenik tersebut mengakibatkan kerentanan air permukaan.

Air permukaan merupakan semua air yang terdapat di permukaan tanah yang tidak mengalami infiltrasi seperti sungai, rawa, dan danau serta banyak dimanfaatkan untuk irigasi, air minum dan industri. Penilaian kerentanan air permukaan terhadap pencemaran penting untuk pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Ada beberapa penelitian terkait dengan kerentanan air permukaan yang telah dilakukan di berbagai negara, seperti di Sub-DAS Gajahwong (Widyastuti & Suprayogi, 2006), Provinsi Jiang Su China (Diamantino, Henriques, Oliveira, Paulo, & Ferreira, 2007)(Diamantino *et al.* 2007), Yordania (Al-adamat, 2017), dan Sungai Andalién di Chili (Arriagada *et al.*, 2019). Penelitian terkait dengan kerentanan air permukaan belum banyak dilakukan dibandingkan dengan air tanah. Akan tetapi, penelitian tersebut memiliki tujuan untuk memperkirakan kerentanan air permukaan terhadap pencemaran dengan metode yang mirip dengan indeks kerentanan air tanah (Al-adamat, 2017; Diamantino *et al.*, 2007). Ada beberapa parameter utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan rata-rata curah hujan tahunan. Penelitian yang sudah dilakukan menggunakan indeks untuk memperkirakan kerentanan air permukaan terhadap pencemaran dengan data parameter yang didapatkan dengan metode Penginderaan Jauh (PJ) dan diproses dengan menggunakan teknik Sistem Informasi Geografis (SIG). Teknik ini dapat menggabungkan beberapa parameter menjadi

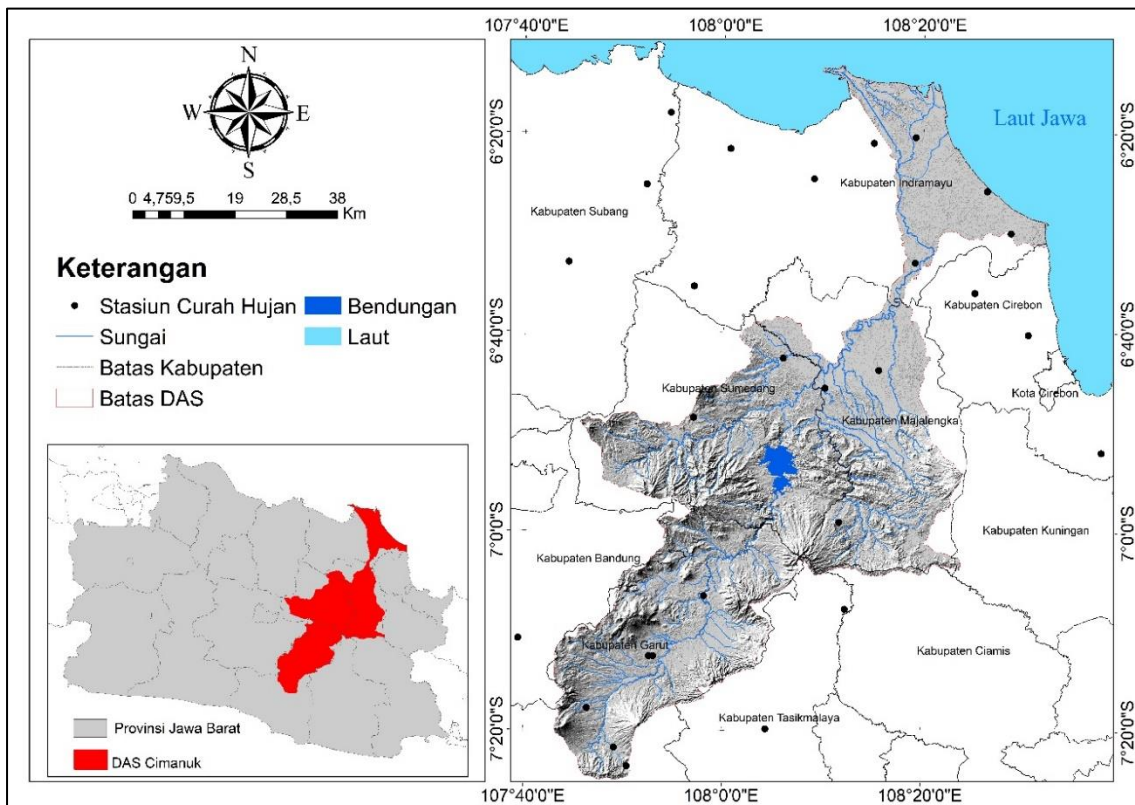
informasi baru yang dapat diandalkan, cepat dan efektif dalam penilaian kerentanan air permukaan (Choudhary, Singh, & Kupriyanov, 2018).

Cimanuk merupakan salah satu DAS prioritas yang terletak di Jawa Barat. Wilayah hilir DAS Cimanuk yang terletak di Kabupaten Indramayu memiliki proporsi lahan permukiman dan pertanian sawah yang cukup banyak. Bagian tengah dari DAS Cimanuk terdapat Waduk Jatigede yang digunakan untuk irigasi pertanian, perikanan, pasokan air bersih dan PLTA, sedangkan di bagian hulunya terdapat industri pengolahan kulit. Wilayah hulu telah mengalami alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian. Curah hujan yang tinggi dan banyaknya lahan kritis akan mendorong terhadap kerentanan air permukaan.

Penelitian tentang kerentanan air permukaan terhadap pencemaran belum pernah dilakukan di DAS Cimanuk. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan air permukaan terhadap pencemaran yang dapat digunakan untuk penentuan titik pemantauan kualitas air yang efektif dan efisien.

METODE

Penelitian ini dilakukan di DAS Cimanuk, Jawa Barat. Berdasarkan letak geografis DAS Cimanuk terletak diantara 07° 041' 00" – 06° 023' 00" LS dan 107° 079' 00" – 108° 030' 05" BT dengan luas sekitar 3.753,9 km² (**Gambar 1**). Sungai Cimanuk berhulu di kaki Gunung Papandayan, mengalir ke arah utara sepanjang 180 km dan bermuara di Laut Jawa.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Kegiatan pertanian yang intensif telah mendorong pencemaran di wilayah ini dari aktivitas pemupukan, sedangkan limbah domestik dan industri mencemari wilayah hulu dan hilir DAS Cimanuk. Hampir sebagian besar lahan kritis tersebar di bagian hulu dan tengah yang menyebabkan erosi lahan sehingga kemungkinan besar akan mempengaruhi penurunan kualitas air permukaan. Dampak tersebut diperparah dengan kondisi geomorfologi di wilayah hulu DAS Cimanuk yang pada umumnya tersusun dari batuan vulkanik dan jenis tanah dengan material lanau sehingga rentan terhadap erosi (Sulaksana, Sukiyah, Sjafrudin, & Haryanto, 2013). Jika tutupan lahan di wilayah ini hilang, maka akan terjadi peningkatan intensitas erosi lahan. Wilayah DAS Cimanuk dipengaruhi oleh dua musim, yaitu musim kemarau dan hujan. Secara umum, musim hujan terjadi pada bulan November- April, sedangkan musim kemarau bulan Juli-September. Pengetahuan tentang intensitas dan frekuensi hujan itu penting karena akan mempengaruhi jumlah *runoff* yang mengalir ke sungai yang akan berkontribusi terhadap penurunan kualitas air.

Data dan Metode Penelitian

Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan didapatkan dari citra satelit resolusi menengah Sentinel 2B yang diperoleh dari *European Space Agency* (ESA), diakses secara gratis dari <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> dengan akuisisi data 1 Juli 2018. Citra Sentinel 2B memiliki resolusi menengah untuk pemetaan penggunaan lahan dengan resolusi spasial 10 meter pada citra multispektral. Sentinel 2B diluncurkan pada tanggal 7 Maret 2017 dan memiliki 13 band yaitu, empat band pada resolusi 10 meter, enam band pada resolusi 20 meter dan tiga band pada resolusi spasial 60 meter.

Beberapa tahapan analisis dilakukan untuk mendapatkan data penggunaan lahan seperti, pemotongan citra, koreksi radiometrik, pengenalan objek penutup lahan dan klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) yang dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.4.1 dan QGIS. Proses pemotongan citra satelit merupakan salah satu cara untuk memperkecil ukuran file. Koreksi atmosfer dilakukan dengan metode *Dark Object Subtraction* (DOS) dengan bantuan software QGIS. Metode ini terbukti menghasilkan nilai *RMS Error* terkecil dibandingkan dengan metode *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6s)* dan *Modified Dense Dark Vegetation (MDDV)* serta menghasilkan skala pada rentang 0,0-1,0 (Schroeder, Cohen, Song, Canty, & Yang, 2006). Tahapan selanjutnya adalah proses penggabungan citra dilakukan dengan cara mozaik di ArcGIS. Kemudian, untuk mempermudah dalam mengidentifikasi penggunaan lahan pada wilayah DAS Cimanuk menggunakan perpaduan band 11, 8

dan 2 untuk pertanian dengan *Dynamic Range Adjustment* (DRA) (<https://www.arcgis.com>).

Analisis penggunaan lahan menggunakan klasifikasi terbimbing dengan metode *maximum likelihood*. Acuan yang digunakan dalam klasifikasi yaitu SNI No. 7645:2010. Tahapan selanjutnya adalah *Ground Truth* menggunakan data dasar citra SPOT 6 dan *Google Earth* dengan sampel sebanyak 504 berdasarkan hasil *stratified random sampling*. Hasil validasi *ground truth* kemudian dihitung tingkat *overall accuracy* dan *Kappa accuracy* dengan metode matriks kesalahan (*error matrix*).

Matriks kesalahan digunakan untuk membandingkan hubungan antara hasil interpretasi dan cek lapangan. Analisis *Kappa* (K) merupakan teknik multivariasi diskrit yang digunakan untuk menentukan akurasi (Jensen, 2015). Koefisien *Kappa* dengan nilai 1 memiliki arti akurasi mendekati sempurna. Sesuai dengan hasil statistik *Kappa* menurut (Landis, Arbor, & Koch, 1977) yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Analisis *Kappa* menghasilkan statistik *Khat* yang merupakan suatu ukuran akurasi (Congalton, 1991). Statistik *Khat* dihitung dengan persamaan:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- r = jumlah baris dalam matriks;
- Xii = jumlah pengamatan dalam baris I dan kolom I;
- Xi+, X+i = total batas untuk baris I maupun kolom I;
- N = jumlah total pengamatan.

Tabel 1. Kriteria penilaian statistik kappa.

No.	Statistik Kappa	Derajat Persetujuan
1	<0,00	Sangat Kurang
2	0,00 - 0,20	Kurang
3	0,21 - 0,40	Cukup
4	0,41 - 0,60	Sedang
5	0,61 - 0,80	Sangat Diterima
6	0,81 - 1,00	Mendekati Sempurna

Sumber: Landis et al., 1977

Hasil dari analisis *Kappa* akan menentukan keakuratan interpretasi. Sementara itu, peta penggunaan lahan yang sudah dibuat akan digunakan untuk analisis kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk.

Kemiringan Lereng

Data kemiringan lereng dibutuhkan untuk membuat peta kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk. Kemiringan lereng diekstrak dari citra *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dengan resolusi spasial 30 meter yang dapat diunduh secara gratis dari

<https://earthexplorer.usgs.gov/>. SRTM 30 meter diunduh dalam format grid dan tersedia dalam koordinat geografis di *World Geodetic System 1984* (WGS84). Proses ekstraksi kemiringan lereng menggunakan software ArcGIS 10.4.1 dengan alat "Slope". Output yang dihasilkan dapat berbentuk persentase atau derajat.

Rata-Rata Curah Hujan Tahunan

Data curah hujan tahunan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) digunakan untuk memperkirakan distribusi curah hujan dengan data stasiun hujan sebanyak 29 yang terdapat di sekitar wilayah penelitian. Metode IDW menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan metode *Spline* dan *Kriging* untuk menginterpolasi data curah hujan (Yang, Xie, Liu, Ji, & Wang, 2015). Oleh sebab itu, metode IDW digunakan dalam penelitian ini untuk menginterpolasi rata-rata curah hujan tahunan.

Indeks Kerentanan Air Permukaan

Konsep awal kerentanan air permukaan yang digunakan pada penelitian ini diadopsi dari (Eimers, Weaver, Terziotti, & Midgette, 2000) dengan parameter yang digunakan: zona vertikal tanah; tutupan lahan; penggunaan lahan; kemiringan lereng dan rata-rata curah hujan tahunan. Sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan tiga parameter yaitu penggunaan lahan, kemiringan lereng dan rata-rata curah hujan tahunan menggunakan metode *Point Count System Model* (PCSM) dengan cara pembobotan dan penilaian pada masing-masing parameter yang berbeda dengan penelitian sebelumnya. Parameter yang digunakan diberi bobot dengan nilai 1-3 dan skor dari 1-10 (Lihat **Tabel 2** dan **Tabel 3**). Kemiringan lereng yang semakin terjal dapat menyebabkan tingkat kerentanan tinggi karena potensi hujan untuk menjadi *runoff* semakin besar, sehingga pencemar berpotensi akan mudah memasuki air permukaan. Rata-rata hujan tahunan yang tinggi juga akan menentukan besarnya kontaminan yang terlarut melalui *runoff* sehingga lebih mudah mencemari air permukaan. Skor yang tinggi menggambarkan parameter tersebut memiliki pengaruh yang lebih kuat terhadap kerentanan air permukaan dan berlaku sebaliknya. Semua data yang digunakan untuk menilai kerentanan air permukaan diproses dan dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan metode *overlay*. Formula sederhana disajikan sebagai berikut.

$$VI = R_w R_r + T_w T_r + L_w L_r \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- VI = Indeks Kerentanan
- R_w = Bobot Rata-Rata Curah Hujan

- R_r = Skor Rata-Rata Curah Hujan
- T_w = Bobot Kemiringan Lereng
- T_r = Skor Kemiringan Lereng
- L_w = Bobot Penggunaan Lahan
- L_r = Skor Penggunaan Lahan

Tabel 2. Pembobotan parameter kerentanan air permukaan.

Parameter	Bobot
Penggunaan Lahan	3
Rata-Rata Curah Hujan	2
Kemiringan Lereng	1

Sumber: Modifikasi dari (Eimers et al., 2000)

Tabel 3. Kategori faktor dan skor parameter kerentanan air permukaan.

No.	Penggunaan Lahan	Skor
1.	Lahan Terbangun	8
2.	Sawah	7
3.	Perkebunan	6
4.	Perkebunan Campuran	5
5.	Hutan	4
6.	Tambak	1
7.	Badan Air	1
No.	Rata-Rata Curah Hujan (mm/tahun)	Skor
1.	>3000	10
2.	2500-3000	9
3.	2000-2500	7
4.	<2000	5
No.	Kemiringan Lereng (%)	Skor
1.	>70	10
2.	30-70	8
3.	15-30	6
4.	7-15	4
5.	<7	2

Sumber: Modifikasi dari (Eimers et al., 2000)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *overlay* antara parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng dan rata-rata curah hujan tahunan dihasilkan peta distribusi kerentanan air permukaan di DAS Cimanuk dengan rentang indeks kerentanan disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Klasifikasi kerentanan air permukaan di DAS Cimanuk.

No.	Indeks Kerentanan	Keterangan
1.	0-18	Kerentanan Rendah
2.	18-36	Kerentanan Sedang
3.	36-54	Kerentanan Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan yang didapatkan dari hasil interpretasi citra satelit Sentinel 2B menggunakan metode klasifikasi *maximum likelihood* memiliki ketelitian keseluruhan mencapai 85% (*Overall Accuracy*) dan nilai koefisien kappa sebesar 0,81. Hasil dari statistik *Kappa* ini telah menunjukkan hasil mendekati sempurna berdasarkan ketentuan dari (Landis et al., 1977). Penggunaan data hasil dari interpretasi penginderaan jauh untuk penggunaan tertentu membutuhkan akurasi

minimal 85% (Anderson, Hardy, Roach, & Witmer, 1967). Artinya, hasil interpretasi dari citra Sentinel 2B untuk penelitian ini memenuhi kriteria.

Berdasarkan hasil interpretasi, penggunaan lahan di DAS Cimanuk mempunyai 7 jenis penggunaan lahan dengan persentase yang berbeda-beda dengan skala 1: 250.000 diantaranya badan air, tambak, perkebunan campuran, hutan, lahan terbangun, sawah, dan perkebunan (Lihat **Tabel 5**).

Tabel 5. Persentase jenis penggunaan lahan di DAS Cimanuk.

Jenis Penggunaan Lahan	Luas (Km ²)	%
Tambak	103,13	2,75
Sawah	652,85	17,39
Perkebunan	853,18	22,73
Badan Air	49,91	1,33
Lahan Terbangun	337,30	8,99
Perkebunan Campuran	1343,35	35,79
Hutan	414,14	11,03
Total	3.753,9	100

Penggunaan lahan merupakan parameter penting untuk menentukan kerentanan air permukaan terhadap pencemaran. Hutan dengan vegetasi yang lebat dapat melindungi tanah dari erosi, meskipun kemiringan dan curah hujan tinggi. Wilayah hutan dengan vegetasi lebat akan menjadi pelindung yang memperlambat limpasan air hujan (Richardson & Amankwatia, 2019), sebaliknya dengan lahan yang hanya memiliki tutupan vegetasi rendah tidak mampu melindungi tanah dari erosi. Banyaknya lapisan kedap air pada wilayah permukiman (lahan terbangun) akan memungkinkan air hujan mengalir langsung menuju badan air, sehingga mempengaruhi kualitas air permukaan.

Setiap penggunaan lahan akan menghasilkan polutan NPS yang berbeda-beda dan akan masuk ke dalam badan air bersama dengan *runoff*. Persentase perkebunan campuran, perkebunan, sawah, hutan dan permukiman yang besar akan mempengaruhi tingkat kerentanan air permukaan terhadap pencemaran. Lahan pertanian akan menghasilkan limbah dari aktivitas pemupukan, sedangkan permukiman akan menghasilkan limbah domestik.

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng di wilayah penelitian diekstrak dari data DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) dengan resolusi spasial 30 meter. Berdasarkan hasil analisis, DAS Cimanuk mempunyai lima kelas kemiringan lereng yang diklasifikasikan menurut van Zuidam (Lihat **Tabel 6**). Kemiringan di wilayah ini didominasi oleh keadaan lereng yang berkarakter agak landai (<7%) dengan persentase luas 53,62% dari total luas DAS. Wilayah dengan kemiringan lereng agak landai didominasi oleh penggunaan lahan permukiman (lahan terbangun) dan pertanian

sawah mencakup Kabupaten Garut, Sumedang, Majalengka dan Indramayu.

Pada umumnya, kemiringan lereng akan mempengaruhi kecepatan dan arah limpasan air hujan menjadi *runoff* yang akan mempengaruhi tingkat kerentanan di DAS Cimanuk terhadap pencemaran. Hal ini akan berpengaruh terhadap polutan yang terbawa dari penggunaan lahan menuju ke badan air. Faktor topografi seperti kemiringan lereng dan ketinggian menjadi faktor penjas potensial yang akan menjadi jalur pengangkutan polutan masuk ke badan air (Hou, Liang, Zhang, & Hinkelmann, 2015; Pratt & Chang, 2012; Shibata, Sugihara, Mvondo-Ze, Araki, & Funakawa, 2018; Sun, Guo, Liu, & Wang, 2014; Xu et al., 2019).

Kemiringan yang lebih curam akan mempercepat limpasan permukaan dibandingkan dengan kemiringan agak landai, sehingga persentase kemiringan yang lebih besar akan berkontribusi terhadap kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk.

Tabel 6. Luasan tiap kelas kemiringan lereng di DAS Cimanuk.

Kelas Lereng (%)	Keterangan	Luas (Km ²)	%
<7	Agak Landai	2012,89	53,62
7-15	Landai	794,63	21,17
15-30	Agak Curam	611,28	16,28
30-70	Curam	311,26	8,29
>70	Terjal	23,86	0,64
Total		3753,9	100

Rata-Rata Curah Hujan Tahunan

Kondisi curah hujan di DAS Cimanuk dapat ditunjukkan dengan rata-rata curah hujan tahunan yang diambil dari beberapa stasiun hujan di wilayah penelitian. Data curah hujan rata-rata tahunan akan digunakan sebagai salah satu parameter untuk menentukan tingkat kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk. DAS Cimanuk hanya memiliki beberapa stasiun hujan yang masih berfungsi. Oleh sebab itu, data tersebut belum bisa digunakan untuk membuat peta distribusi curah hujan di DAS Cimanuk. Stasiun hujan terdekat yang berada di sekitar wilayah DAS Cimanuk digunakan untuk membuat peta distribusi curah hujan rata-rata tahunan menggunakan salah satu metode interpolasi yang tersedia di ArcGIS yaitu IDW dengan menggunakan data 29 stasiun.

Semua metode interpolasi memiliki keunggulan masing-masing tergantung karakteristik wilayah. Akan tetapi, metode IDW hasilnya lebih baik daripada metode *Spline* dan *Kriging* (Yang et al., 2015). Oleh sebab itu, metode IDW digunakan dalam penelitian ini untuk menginterpolasi rata-rata curah hujan tahunan dengan data dari tahun 2011-2017. Ketersediaan dan kelengkapan data hanya tersedia dalam rentang waktu tujuh tahun, sehingga data tersebut digunakan untuk menginterpolasi rata-rata curah hujan tahunan di DAS Cimanuk.

Berdasarkan hasil interpolasi menggunakan metode IDW, rata-rata curah hujan tahunan yang berada di wilayah penelitian hampir sebagian besar berkisar antara 2000-2500 mm/tahun yang tersebar di wilayah DAS Cimanuk bagian hulu dan tengah, sedangkan untuk wilayah hilirnya memiliki curah hujan kurang dari 2000 mm/tahun. Curah hujan dengan kisaran 2500-3000 mm/tahun juga ditemukan di beberapa wilayah di bagian tengah dan hulu DAS Cimanuk. Hal ini tentu akan menjadi faktor yang mempengaruhi laju limpasan permukaan sehingga mengakibatkan potensi kerentanan yang tinggi untuk wilayah tersebut.

DAS Cimanuk memiliki curah hujan yang tinggi. Curah hujan rata-rata tahunan yang tinggi ini akan semakin berpeluang untuk mengangkut polutan dari penggunaan lahan yang terdapat di DAS Cimanuk dalam bentuk air limpasan yang kemudian akan memasuki badan air. Air limpasan tersebut dapat mengangkut bahan organik, anorganik, nutrisi dan sedimen halus masuk ke dalam badan air (Wu, Peng, Qiao, & Ma, 2018). Hal ini akan menyebabkan penurunan terhadap kualitas air permukaan.

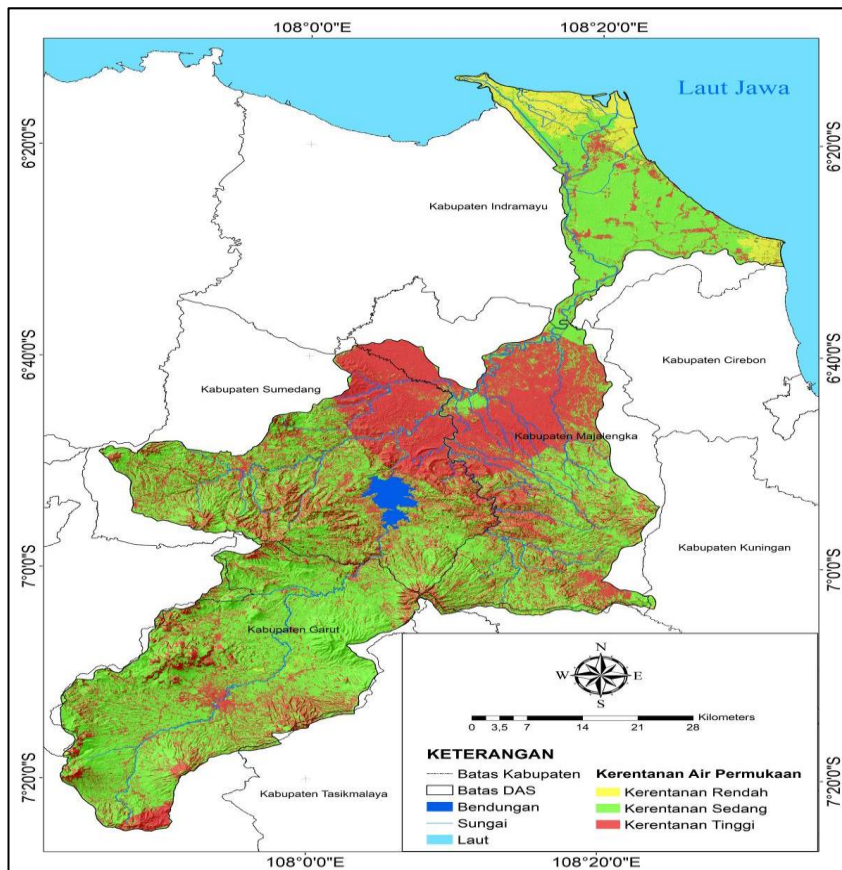
Perbedaan musim seperti kemarau dan hujan juga akan mempengaruhi kerentanan air permukaan terhadap pencemaran. Curah hujan yang tinggi pada saat musim hujan akan mengangkut lebih banyak polutan masuk ke badan air dibandingkan dengan musim kemarau.

Kerentanan Air Permukaan Terhadap Pencemaran

Kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk didapatkan dari hasil analisis *overlay* beberapa parameter seperti, penggunaan lahan, kemiringan lereng dan rata-rata curah hujan tahunan. Hasil yang didapatkan diklasifikasikan berdasarkan nilai indeks kerentanan yaitu, kerentanan rendah (0-18), kerentanan sedang (18-36) dan kerentanan tinggi (36-54).

Berdasarkan hasil analisis, DAS Cimanuk memiliki tingkat kerentanan yang bervariasi. Area dengan kerentanan sedang mendominasi di wilayah penelitian sebesar 2223,83 Km² (59,24%), kerentanan tinggi 1390,27 Km² (37,04%), dan kerentanan rendah 139,76 Km² (3,72%). Hasil tersebut telah menunjukkan bahwa air permukaan yang ada di DAS Cimanuk berpotensi rentan terhadap pencemaran. Kerentanan ini diakibatkan oleh penggunaan lahan dan curah hujan yang tinggi. Hal ini diasumsikan bahwa penggunaan lahan permukiman dan pertanian berkontribusi terhadap pencemaran.

Informasi kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk merupakan kebaruan dalam penelitian ini. Penelitian sebelumnya belum ada yang pernah mengkaji tentang kerentanan air permukaan terhadap pencemaran. Oleh karena itu, informasi dasar yang diperoleh dalam penelitian ini dapat digunakan untuk dasar pemantauan kualitas air di lapangan yang lebih efektif dan efisien. Distribusi spasial kerentanan air permukaan terhadap pencemaran disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, tiga parameter digunakan untuk memperkirakan kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk, Jawa Barat. Kerentanan air permukaan adalah potensi tercemarnya lingkungan perairan yang berasal dari faktor alami dan antropogenik. Parameter-parameter yang digunakan meliputi penggunaan lahan, kemiringan lereng dan rata-rata curah hujan tahunan. Hasil penelitian menghasilkan tiga kategori kerentanan yaitu, rendah (0-18), sedang (18-36) dan tinggi (36-54). Daerah yang memiliki kerentanan tinggi memiliki luas 1390,27 Km² (37,04%), kerentanan sedang seluas 2223,83 Km² (59,24%) dan kerentanan rendah 139,76 Km² (3,72%). Lebih dari 50% DAS Cimanuk termasuk dalam kategori kerentanan sedang. Berdasarkan analisis, faktor yang paling berpengaruh terhadap tingkat kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di DAS Cimanuk adalah lahan pertanian dan permukiman serta kondisi rata-rata curah hujan tahunan yang cukup tinggi berkisar 2000-2500 mm/tahun. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar penentuan titik pemantauan kualitas air di lapangan.

Penelitian ini hanya terbatas menggunakan tiga parameter. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan parameter bencana alam seperti banjir dan longsor. Penambahan parameter tersebut akan lebih memperjelas kerentanan tersebut ketika terjadinya bencana alam. Selain itu, ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kerentanan air permukaan terhadap pencemaran, seperti sebaran populasi penduduk dan jenis tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada BBWS Cimanuk-Cisanggarung yang telah membantu dalam menyediakan data sekunder.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-adamat, R. (2017). Modelling Surface Water Susceptibility to Pollution Using GIS. *Journal of Geographic Information System*, 9(3), 293–308. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.93018>
- Anderson, J., Hardy, E., Roach, J., & Witmer, R. (1967). A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. *Geological Survey Professional Paper 964*, 28.
- Arriagada, L., Rojas, O., Luis, J., Munizaga, J., Rojas, C., Farias, L., & Vega, C. (2019). A new method to evaluate the vulnerability of watersheds facing several stressors : A case study in mediterranean Chile. *Science of the Total Environment*, 651, 1517–1533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.237>
- Choudhary, K., Singh, M., & Kupriyanov, A. (2018). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences Spatial modelling for natural and environmental vulnerability through remote sensing and GIS in Astrakhan , Russia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21(2), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.05.003>
- Congalton, R. G. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing Of Environment*, 46(October 1990), 35–46. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Diamantino, C., Henriques, M. J., Oliveira, M. M., Paulo, J., & Ferreira, L. (2007). Methodologies for pollution risk assessment of water resources systems. In *Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability (Proceedings of the Fourth InterCeltic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources)* (pp. 298–306). Retrieved from <http://www.aprh.pt/celtico/PAPERS/28.PDF>
- 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*. Raleigh, North Carolina: USGS.
- European Space Agency. (2018). Sentinel scientific hub. Retrieved Oktober, 10, 2018, from <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- Hou, J., Liang, Q., Zhang, H., & Hinkelmann, R. (2015). An efficient unstructured MUSCL scheme for solving the 2D shallow water equations. *Environmental Modelling and Software*, 66, 131–152. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.007>
- Jensen, J. . (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 4nd Edition*. E.Lake Ave: Pearson Education, Inc.
- Landis, J. R., Arbor, A., & Koch, G. G. (1977). A One- Way Components of Variance Data Model for Categorical. *Biometrics*, 33(4), 671–679. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2529465>
- Ngoye, E., & Machiwa, J. F. (2004). The influence of land-use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 1161–1166. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.09.002>
- Pacheco, F. A. L., & Sanches Fernandes, L. F. (2016). Environmental land use conflicts in catchments: A major cause of amplified nitrate in river water. *Science of the Total Environment*, 548–549, 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.155>
- Pratt, B., & Chang, H. (2012). Effects of land cover , topography , and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales. *Journal of Hazardous Materials*, 209–210, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.068>
- Richardson, C. P., & Amankwatia, K. (2019). Assessing Watershed Vulnerability in Bernalillo County, New Mexico Using GIS-Based Fuzzy Inference, 11(02), 99–121. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.112007>
- Sentinel-2 Imagery: Agriculture with DRA. Retrieved Oktober, 10, 2018 from <https://sentinel.arcgis.com/arcgis/rest/services/Sentinel2/ImageServer>
- Schroeder, T. A., Cohen, W. B., Song, C., Canty, M. J., & Yang, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment*, 103, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.03.008>

- Shibata, M., Sugihara, S., Mvondo-Ze, A. D., Araki, S., & Funakawa, S. (2018). Effect of original vegetation on nutrient loss patterns from Oxisol cropland in forests and adjacent savannas of Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 257(December 2017), 132–143. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.031>
- Sulaksana, N., Sukiyah, E., Sjafrudin, A., & Haryanto, E. T. (2013). Karakteristik Geomorfologi Das Cimanuk Bagian Hulu Dan Implikasinya Terhadap Intensitas Erosi Serta Pendangkalan Waduk Jatigede. *Bionatura-Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati Dan Fisik*, 15(2), 100–106.
- Sun, Y., Guo, Q., Liu, J., & Wang, R. (2014). Scale effects on spatially varying relationships between urban landscape patterns and water quality. *Environmental Management*, 54(2), 272–287. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0287-x>
- Tu, J. (2011). Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. *Applied Geography*, 31(1), 376–392. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.08.001>
- USGS. Elevation Dataset in Grid Format. Retrieved Oktober, 10, 2018 from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Widyastuti, M., & Suprayogi, S. (2006). Contamination Vulnerability Analysis of Watershed For Water Quality Monitoring (Study in Gajahwong Watershed Yogyakarta Province). *Forum Geografi*, 20(1), 47–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.23917/forgeo.v20i1.1803>
- 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>
- Wu, L., Peng, M., Qiao, S., & Ma, X. yi. (2018). Effects of rainfall intensity and slope gradient on runoff and sediment yield characteristics of bare loess soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3480–3487. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0713-8>
- Xu, G., Li, P., Lu, K., Tantai, Z., Zhang, J., Ren, Z., & Wang, X. (2019). Seasonal changes in water quality and its main influencing factors in the Dan River basin. *Catena*, 173(April 2018), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.014>
- Yang, X., Xie, X., Liu, D. L., Ji, F., & Wang, L. (2015). Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment over Greater Sydney Region. *Advances in Meteorology*, 2015, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2015/563629>
- Xu, G., Li, P., Lu, K., Tantai, Z., Zhang, J., Ren, Z., & Wang, X. (2019). Seasonal Changes in Water Quality and Its Main Influencing Factors in The Dan River Basin. *Catena*, 173, 131–140.
- Yang, X., Xie, X., Liu, D. L., Ji, F., & Wang, L. (2015). Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment Over Greater Sydney Region. *Advances in Meteorology*, 2015, 1–12.