

ZONASI KERENTANAN AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE COP DAN APLIS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI GREMENG, DESA UMBULREJO, PONJONG, GUNUNGKIDUL
(*Zonation of ground water vulnerability using COP and APLIS methods in Gremeng Watershed, Umbulrejo Village, Ponjong, Gunungkidul*)

Ekha Yogafanny¹, Titi Tiara Anastasia¹, dan Vindy Fadia Utama¹

¹Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl.SWK Lingkar Timur No. 104, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
Email: ekha.yogafanny@upnyk.ac.id

Diterima: 6 Agustus 2020; Direvisi : 26 Oktober 2020; Disetujui : 6 November 2020

ABSTRACT

Umbulrejo Village, Ponjong, Gunungkidul has karst and non-karst landforms with several water sources including springs, rivers, and wells that can be used to meet daily water needs. The existence of ponor and diaklas in karst landforms in this village can be a gateway for pollutants from the surface to groundwater. This causes the water sources in the karst landforms to be susceptible to pollution. This study aims to determine the zonation of groundwater vulnerability by using two methods, namely the COP (Concentration of Flow, Overlaying Layers, Precipitation) and APLIS (Altitude, Slope, Lithology, Infiltration, Soil) methods, and to analyze the quality of water sources in each of the vulnerable zones of groundwater. Zoning of groundwater vulnerability using the COP method in the study area resulted in 4 classes of vulnerability, which were low, medium, high and very high, whereas using the APLIS method produced low and medium classes. The areas classified as moderate, high, and very high vulnerable zone of groundwater lied on limestone or karst landform. The water turbidity, TSS, TDS, DO, and hardness met the water quality standard, while COD did not meet the standard. The high concentration of COD indicated contamination of groundwater by human activities, especially in the karst landforms. The hardness parameter has a representative value to the zonation level of groundwater vulnerability. The higher the level of groundwater vulnerability was the higher concentration of groundwater hardness. Hardness is caused by natural solutional processes of limestone in the research area.

Keywords: *groundwater vulnerability; COP; APLIS*

ABSTRAK

Desa Umbulrejo, Ponjong, Gunungkidul memiliki bentuk lahan karst dan non-karst dengan beberapa sumber air diantaranya mata air, sungai, dan sumur yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik warga. Adanya ponor dan diaklas (rekahan) pada bentuk lahan karst di desa ini dapat menjadi pintu masuk polutan dari permukaan menuju air bawah permukaan. Hal ini menyebabkan sumber air pada bentuk lahan karst rentan terhadap pencemaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zonasi tingkat kerentanan air tanah dengan menggunakan dua metode penilaian yaitu metode COP (*Concentration of Flow, Overlaying Layers, Precipitation*) dan APLIS (*Altitude, Slope, Lithology, Infiltration, Soil*) serta untuk menganalisis kualitas sumber air pada tiap zonasi kerentanan yang dihasilkan dari kedua metode tersebut. Zonasi kerentanan air tanah dengan metode COP di daerah

penelitian menghasilkan 4 kelas kerentanan yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi sedangkan dengan metode APLIS, zonasi kerentanan menghasilkan kelas rendah dan sedang. Daerah dengan zona kerentanan air tanah kelas sedang, tinggi dan sangat tinggi terletak pada bentuk lahan batugamping. Berdasarkan hasil laboratorium kualitas air, parameter kekeruhan, TSS, TDS, DO, dan kesadahan sesuai baku mutu, sedangkan COD tidak sesuai dengan baku mutu. Tingginya konsentrasi COD menunjukkan adanya pencemaran air tanah oleh aktivitas manusia terutama yang berada di daerah pada bentuk lahan karst. Parameter kesadahan memiliki nilai yang representatif terhadap tingkat zonasi kerentanan air tanah. Semakin tinggi tingkat kerentanan air tanah, ditunjukkan pula dengan semakin tingginya konsentrasi kesadahan air tanahnya. Kesadahan disebabkan oleh proses alami pelarutan batu gamping yang ada di daerah penelitian.

Kata kunci: Kerentanan air tanah; COP; APLIS

I. PENDAHULUAN

Desa Umbulrejo, Ponjong, Gunungkidul adalah salah satu desa yang cukup menarik untuk diteliti, sebab desa ini memiliki variasi bentuk lahan berupa karst dan non-karst. Kawasan karst di daerah penelitian ini, memiliki sistem akuifer air tanah yang cukup potensial. Menurut Basha & Zoghbi (2018), akuifer karst merupakan sumber air utama di banyak negara di dunia yang mana merupakan hal yang sangat penting di suatu daerah yang memiliki sumber daya air terbatas selama periode tertentu. Hal tersebut dapat memberi peluang untuk menjadikan akuifer karst sebagai sumber penyedia kebutuhan air terutama bagi masyarakat. Selain kuantitas air sungai bawah tanah yang melimpah di kawasan karst, variasi bentuk lahan yang ada di daerah penelitian ini dapat mempengaruhi kualitas air tanah, baik secara alami ataupun karena aktifitas manusia. Keterdapatannya sumber air di daerah tersebut dimanfaatkan oleh masyarakat dalam berbagai bidang yang diantaranya adalah bidang domestik seperti kebutuhan air minum, mandi cuci kakus (MCK), mencuci, bidang irigasi untuk

mengairi area persawahan, dan juga digunakan untuk beberapa industri skala kecil. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan jika ditinjau dari pentingnya sumber air di daerah penelitian, diantaranya adalah mengetahui tingkat kerentanan terhadap masuknya zat pencemar ke dalam air tanah yang menjadi sumber air masyarakat di daerah tersebut. Karakteristik khusus yang dimiliki oleh sistem akuifer karst dapat menghasilkan tingkat kerentanan yang cenderung tinggi, baik dari segi kuantitas maupun kualitas airnya. Sistem akuifer karst sangat rentan jika dibandingkan dengan sistem akuifer non-karst. Hal tersebut dikarenakan potensi zat kontaminan yang berasal dari permukaan dapat masuk dengan mudah ke dalam air tanah yang berada di sistem akuifer karst tersebut. Mudah-mudahan zat pencemar masuk ke dalam sistem akuifer karst disebabkan oleh permeabilitas akuifer karst yang cenderung tinggi yang disebabkan oleh adanya porositas sekunder berupa rekahan/ diaklas (Leibundgut, 1998). Di beberapa daerah dengan bentuk lahan karst, lapisan penutup berupa tanah relatif tipis atau bahkan hampir tidak ada.

Akibat dari hal tersebut, perombakan kontaminan oleh mikroorganisme dan oleh proses fisik dan kimia, yang biasanya terjadi secara efektif di dalam zona tanah menjadi sangat lemah di daerah karst ini (Leibundgut, 1998). Sistem aliran air tanah ditentukan oleh pengaturan hidrogeologis seperti jenis formasi, kedalaman air tanah, umur air tanah, pengendalian pengangkutan kontaminan yang progresif, dan penentuan kerentanan air tanah intrinsik (Machiwal, Jha, Singh, & Mohan, 2018).

Terdapat macam-macam metode yang dapat digunakan untuk mengetahui dan memberikan penilaian terhadap tingkat kerentanan air tanah. Beberapa metode yang telah diadaptasi menurut Attoui, Kherci, & Bousnoubra (2012) antara lain adalah DRASTIC, VLDA, COP, GOD, SINTAGS, dan APLIS.

Metode-metode ini disajikan dalam bentuk sistem numerik yang didasari oleh beberapa faktor yang mempengaruhi sistem hidrogeologi pada masing-masing daerah penelitian. Dengan kata lain, metode yang digunakan tetap membutuhkan penyesuaian terhadap kondisi hidrogeologi daerah yang akan dikaji serta ketersediaan data yang dimiliki oleh peneliti. Penilaian kerentanan air tanah adalah komponen penting dari perlindungan dan pengelolaan air tanah. Penilaian semacam itu adalah cara sederhana untuk mengevaluasi risiko kontaminasi akuifer (Abdullah, Ali, Al-Anshari, & Knutsson, 2020). Penilaian kerentanan air tanah umumnya tidak dapat dilakukan di lapangan, tetapi didasarkan pada evaluasi dan analisis data lapangan (Oke & Fourie, 2017). Menurut

Daly *et.al* (2002) COST Action 620 yang dimulai pada tahun 1997 mengusulkan adanya metodologi yang objektif untuk melakukan penilaian dan pemetaan terkait dengan kerentanan intrinsik dan spesifik di lingkungan karst dengan mempertimbangkan potensi resiko dari suatu daerah yang diteliti. Metode yang diusulkan tersebut ialah metode COP dan APLIS, sehingga pemilihan metode tersebut dilakukan guna mendapatkan metode yang sesuai untuk diterapkan pada daerah kajian yang memiliki bentuk lahan karst dan non-karst.

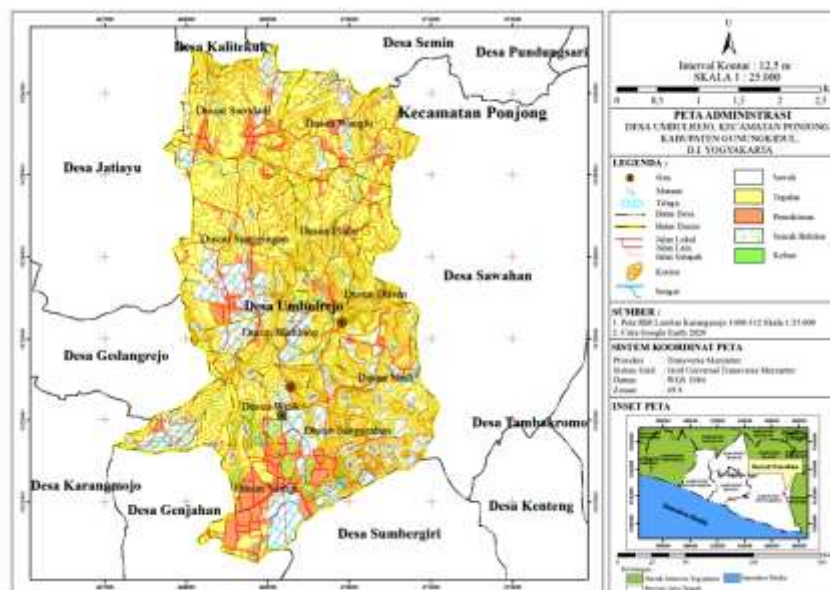
Berdasarkan pembahasan khususnya mengenai sumber air yang ada di daerah penelitian, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut : (1) Mengetahui zonasi tingkat kerentanan air tanah karst dengan menggunakan dua metode penilaian yaitu metode COP dan APLIS, dan (2) Mengetahui dan menganalisis kualitas sumber air baku pada tiap zonasi kerentanan yang dihasilkan dari kedua metode tersebut. Aplikasi metode COP dan APLIS biasa digunakan dalam penentuan zonasi kerentanan air tanah pada suatu wilayah yang terdiri dari bentuk lahan karst dan non-karst. Desa Umbulrejo, Ponjong, Gunung Kidul adalah lokasi penelitian yang belum pernah dikaji sebelumnya dan menarik karena terdapat bentuk lahan karst dan non-karst. Perbedaan variable yang digunakan pada metode COP dan APLIS akan dianalisis pada skala dan lokasi penelitian yang sama. Selain itu, kualitas air pada masing-masing zonasi kerentanan yang terbentuk dari kedua metode tersebut akan dibandingkan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Lokasi penelitian berada di DAS Gremeng Desa Umbulrejo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Desa Umbulrejo sendiri terdiri dari 10 dusun yaitu Dusun Plalar, Blimbing, Sladi, Dlisen, Sunggingan, Surodadi, Wanglu, Umbulrejo, Sanggrahan, dan Wirik. Luas daerah penelitian adalah 1.449,1667 ha dan secara geografis terletak pada koordinat 467000 – 471000 mT dan 9120500 – 9126500 mU. Peta administrasi dan peta penggunaan lahan daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, yang mana menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang paling mendominasi adalah tegalan dan area persawahan. Letak pemukiman penduduk cukup tersebar ke seluruh area daerah penelitian.

Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai Juli 2020 yang merupakan fase transisi dari musim hujan ke kemarau. Secara fisiografis, daerah Kabupaten Gunungkidul dibagi menjadi tiga sub-zona, yaitu kawasan Baturagung di zona Utara, kawasan Ledok Wonosari di zona Tengah, dan kawasan karst Gunungsewu di zona Selatan (Sudarmadji, Suprayogi, Widyastuti, & Harini, 2011). Secara regional daerah penelitian masuk ke dalam Peta Geologi Lembar Surakarta 1408-3 & Giritontro 1407-6 Skala 1:100.000 dan masuk ke dalam sub-zona Gunungsewu. Wilayah penelitian terdiri dari Formasi Wonosari dengan satuan batuan berupa batugamping non-klastik seperti batugamping kristalin, batugamping *foraminifera*, dan batugamping terumbu dengan sisipan berupa batuan yang memiliki sifat non-impermeabel; Formasi Semilir dengan satuan batuan breksi, konglomerat, dan batu pasir tufan.



Gambar (Figure) 1. Peta administrasi daerah penelitian (*Administration maps of study area*)
 Sumber (Source): Peta Rupa Bumi Indonesia (*Map of Rupa Bumi Indonesia*)

B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan beberapa data hasil kerja lapangan yang membutuhkan beberapa peralatan seperti GPS, kompas geologi, *roll meter*, palu geologi, dan kamera. Perangkat keras seperti komputer juga digunakan untuk menunjang *software ArcGIS* sebagai pengolah data dalam pembuatan peta kerentanan.

C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *purposive sampling* untuk menentukan kualitas air tanah berdasarkan zonasi peta kerentanan yang dilakukan pengujian berupa uji laboratorium oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta. Beberapa metode untuk memperkirakan kerentanan sumber air seperti mata air dan sumur atau sumber daya air tanah lainnya di kawasan karst telah diusulkan dan diuji pada berbagai wilayah di dunia (Moreno-Gómez, Martínez-Salvador, Moulahoum, Liedl, Stefan, & Pacheco, 2019). Dua metode yang berbeda diaplikasikan untuk membuat peta kerentanan air tanah karst menggunakan aplikasi SIG (Sistem Informasi Geografi) berupa *ArcGis* untuk menggambarkan gambaran spasial dengan jelas yang tersajikan dalam bentuk peta kerentanan air tanah karst. Pemilihan metode COP dan APLIS didasarkan pada keterdapatannya variasi variabel pada masing-masing metode yang sesuai untuk di terapkan di lokasi penelitian. Kesamaan dan perbedaan variabel dari masing-masing metode dapat dijadikan sebagai

bahan analisis untuk mengetahui tingkat efektivitas dari masing-masing metode. Bentuk lahan karst dan non-karst yang terdapat pada lokasi penelitian juga didukung oleh kelengkapan karakteristik dari variabel di masing-masing metode sehingga dapat dilakukan perbandingan bagaimana tingkat kerentanan di dua jenis bentuk lahan tersebut hanya dengan menggunakan satu jenis metode.

Metode pertama yang digunakan ialah metode COP. Metode tersebut merupakan metode yang dikembangkan untuk menganalisis kerentanan intrinsik pada akuifer karst (akuifer karbonat). Kerentanan intrinsik (*intrinsic vulnerability*) merupakan kerentanan yang didasari oleh karakteristik hidrogeologi suatu wilayah, tetapi tidak bergantung pada pencemar alami maupun pencemar buatan. Metode COP merupakan akronim *Concentration of flow (C)*, *Overlaying layers (O)*, dan *Precipitation (P)* yang juga merupakan tiga faktor penentu tingkat kerentanan air tanah (Daly *et.al*, 2002). Terdapat dua kondisi yang diperlukan untuk menilai kerentanan intrinsik pada suatu daerah penelitian dengan menggunakan metode COP: pertama, bahwa kontaminan tergantung pada karakteristik air yang bergerak melalui akuifer dan kedua bahwa kontaminan dapat menyusup dari permukaan yang dibawa oleh agen curah hujan (Zwahlen, 2003). Hasil dari nilai kerentanan menggunakan metode ini memiliki 5 klasifikasi kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

Faktor O memperhitungkan perlindungan pada akuifer dengan lapisan di atas zona jenuh. Pengukuran faktor O,

terdapat dua sub-faktor yaitu tanah (O_s) dan lapisan litologi batuan yang berada di atas akuifer (O_L). Faktor C mewakili nilai pengurangan akan perlindungan terhadap akuifer oleh lapisan atasnya, ketika air terkonsentrasi masuk ke dalam akuifer melalui ponor (*swallow hole*) atau ketika air masuk secara autogenik (masuk melalui rekahan-rekahan atau aliran difus). Dalam evaluasi dari faktor C diperlukan penilaian terhadap 3 sub-faktor untuk aliran melalui ponor yaitu tingkat vegetasi serta kemiringan lereng (sv), jarak ke ponor (dh), dan jarak ke sungai tenggelam (ds) dan 2 sub-faktor untuk aliran secara autogenik yaitu tingkat vegetasi serta kemiringan lereng (sv) dan keberadaan fitur di permukaan (sf). Faktor P mewakili pengaruh dari tingkat curah hujan dalam laju infiltrasi dan kemampuan untuk membawa kontaminan menuju ke dalam air tanah. Terdapat 2 sub-faktor P yaitu kuantitas presipitasi (P_Q) dan nilai distribusi temporal hujan (P_t) yang diukur pada saat bulan basah (Nanou & Zagana, 2018). Nilai skor pada masing-masing

variabel maupun sub-variabel pada metode ini dapat dilihat pada Gambar 2, 3, 4, dan Gambar 5. Total nilai yang didapat didapatkan berdasarkan hasil perkalian ketiga variabel yang dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$\text{Indeks COP} = C \cdot O \cdot P \dots \dots \dots (1)$$

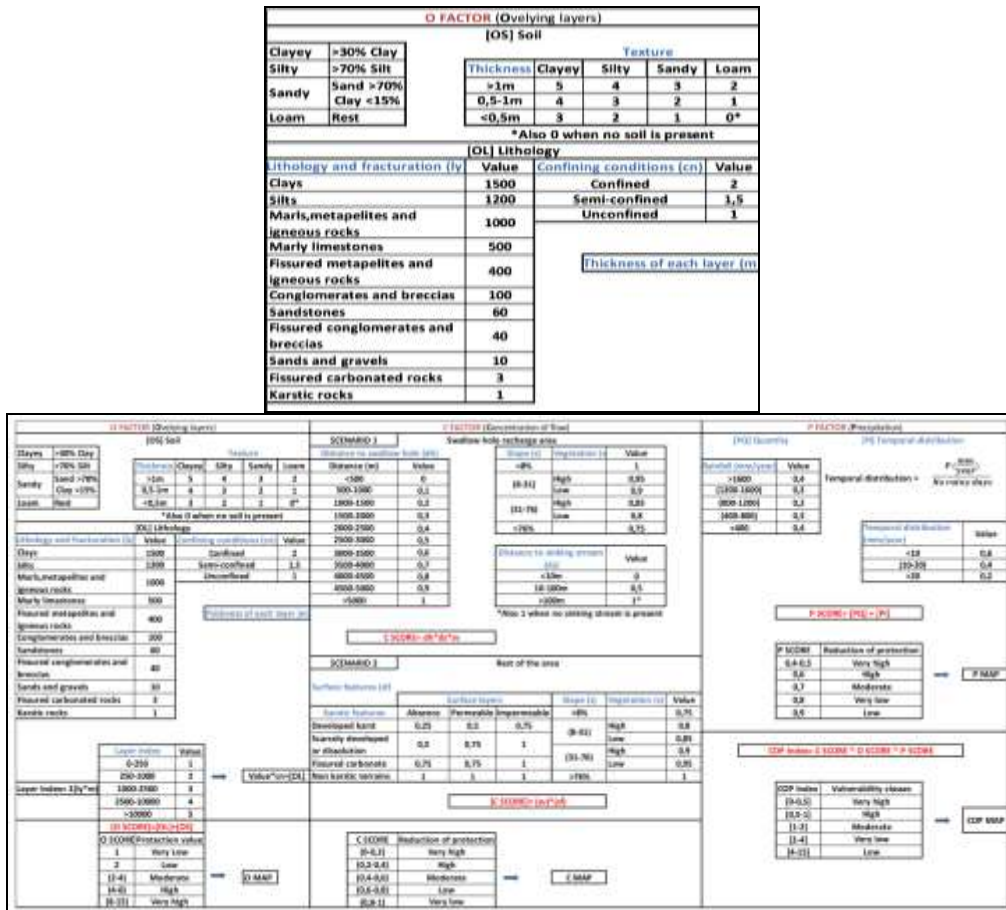
Dimana :

C = total faktor C ($sv \cdot dh \cdot ds$) / ($sv \cdot sf$)

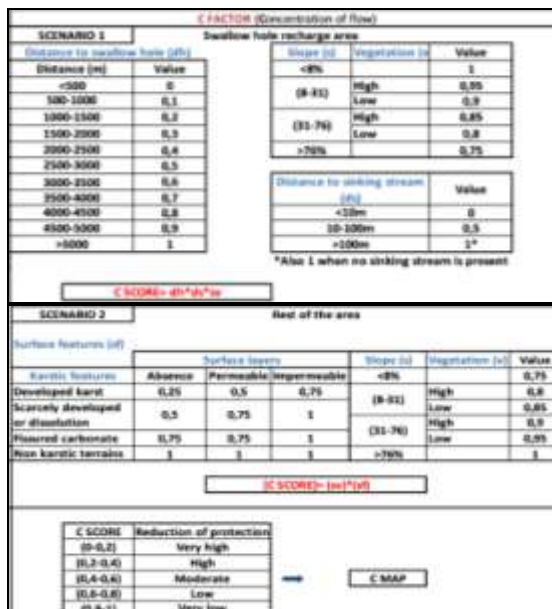
O = total faktor O ($O_L + O_s$)

P = total faktor P ($P_Q + P_t$)

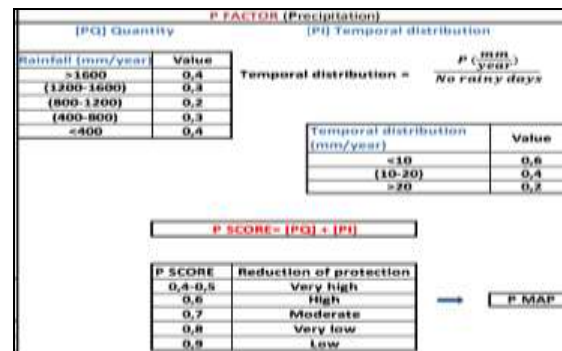
Menurut Machiwal *et al* (2018), metode COP dapat diterapkan pada kondisi suatu daerah yang memiliki kondisi iklim yang berbeda dan dapat diterapkan pula untuk sistem akuifer karbonat yang memiliki sistem aliran difus maupun kondukt. Metode ini juga dapat diterapkan pada skala lokal (tingkat akuifer atau cekungan) serta skala regional. Fleksibilitas dari metode ini menjadikan metode COP lebih praktis untuk pengembangan strategi yang sesuai dalam menentukan sistem perlindungan air tanah yang tepat.



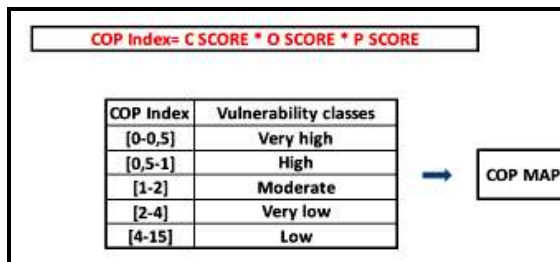
Gambar (Figure) 2. Diagram metode COP menunjukkan diferensiasi faktor O (COP method diagram shows the differentiation of factor O)
Sumber (Source): Nanou & Zagana (2018)



Gambar (Figure) 3. Diagram metode COP menunjukkan diferensiasi faktor C (COP method diagram shows the differentiation of factor C)
Sumber (Source): Nanou & Zagana (2018)



Gambar (Figure) 4. Diagram metode COP menunjukkan diferensiasi faktor P (COP method diagram shows the differentiation of factor P)
Sumber (Source): Nanou & Zagana (2018)



Gambar (Figure) 5. Diagram metode COP menunjukkan nilai indeks COP (COP method diagram shows the score of COP index)

Sumber (Source): Nanou & Zagana (2018)

Metode kedua yang digunakan ialah metode APLIS yang merupakan metodologi parametrik yang memperhitungkan 5 variabel utama dengan didasarkan pada analisis SIG. Variabel-variabel tersebut ialah *Altitude (A)*, *slope (P)*, *Lithology (L)*, *Infiltration (I)*, dan *Soil (S)* (Farfán, Corvea, & Bustamante, 2010). Metode ini memiliki variabel-variabel yang sama dengan pengukuran tingkat kerentanan pada media porus. Variabel tersebut akan digunakan untuk menghitung total nilai kerentanan dengan menggunakan Persamaan 2.

$$V = (A+P+3L+I+S)/0,9 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- V = nilai kerentanan (*vulnerability*)
- A = skor ketinggian (*altitude*)
- P = skor kemiringan lereng (*slope*)
- L = skor litologi (*Lithology*)
- I = skor infiltrasi (*Infiltration*)
- S = skor jenis tanah (*Soil*)

Oleh adanya kesamaan tersebut, metode APLIS digunakan untuk mengukur nilai kerentanan air tanah terhadap pencemaran intrinsik sebagai asumsi untuk tingkat perlindungan fisik pada akuifer terhadap adanya pencemaran. Pada masing-masing variabel diberi skor terhadap tingkat pengaruhnya terhadap pencemaran air tanah. Skor dari masing-masing variabel (Tabel 1) memiliki rentang nilai sebesar 1 – 10, dimana untuk nilai 1 memberikan pengaruh yang kecil terhadap tingkat kerentanan, sedangkan untuk nilai 10 memberikan pengaruh yang lebih besar (Widiastuti, 2012). Hasil dari nilai kerentanan menggunakan metode ini memiliki 5 klasifikasi kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi (Tabel 2).

Tabel (Table) 1. Skoring pada metode APLIS (Scoring on the APLIS method)

Variabel (Variable)	Klasifikasi (Classification)	Skor (Score)
Ketinggian (Altitude)	≤ 300 mdpal	1
	300 – 600 mdpal	2
	600 – 900 mdpal	3
	900 – 1200 mdpal	4
	1200 – 1500 mdpal	5
	1500 – 1800 mdpal	6
	1800 – 2100 mdpal	7
	2100 – 2400 mdpal	8
	2400 – 2700 mdpal	9
	> 2700 mdpal	10
Kemiringan Lereng (Slope)	≤ 3% (≤ 1,35°)	10
	3 – 8 % (1,35 – 3,6°)	9
	8 – 16 % (3,6 - 7,2°)	8
	16 – 21 % (7,2 - 9,45°)	7
	21 – 31 % (9,45 - 13,95°)	5
	31 – 46 % (13,95 - 20,7°)	4
	46 – 76 % (20,7 - 34,2°)	3
	76– 100 % (34,2 - 45°)	2
	> 100 % (>45° (imbunan minimal dan tidak berubah)(<i>minimum recharge and not change</i>))	1
	Litologi (Lithology)	Batugamping dan dolomit terkarstifikasi (<i>Limestone and karstified dolomite</i>)
Marmer dengan rekahan,gamping dan dolomit terkarstifikasi sedang (<i>Marble with fractures, limestone and dolomite is moderately karstified</i>)		7-8
Batugamping dan dolomit bercelah (<i>Limestone and cracked dolomite</i>)		5-6
Pasir dan kerikil koluval (<i>Coluvial sand and gravel</i>)		4
Napal, breksi dan konglomerat (<i>Marl, breccia and conglomerates</i>)		3
Batuan plutonik dan metamorf (<i>Plutonic and metamorphic rocks</i>)		2
Skis, slate, dan lempung (<i>Skis, slate, and clay</i>)		1
Zona infiltrasi utama (<i>Main infiltration zone</i>)		10
Pasiran (<i>sands</i>)		9
Pasir debu, pasir berlempung (<i>silty sands, loamy sands</i>)		8
Infiltrasi (Infiltration)	Geluh berpasir, geluh (<i>sandy loam, loams</i>)	7
	Geluh debu (<i>silty loam</i>)	6
	Geluh lempung, geluh lempung debu (<i>clay loam, silty clay loam</i>)	5
	Debu (<i>silt</i>)	4
	Lempung pasiran (<i>sandy clay</i>)	3
	Lempung debu (<i>silty clay</i>)	2
	Lempung (<i>clay</i>)	1
	<i>Lithosols</i>	10
	<i>Albic arenosols</i> dan <i>Calcic xerosols</i>	9
	<i>Rendzina, Calcareous regosols, dan Fluvisols</i>	8
<i>Eutric dan Distric regosols, dan Solonchaks</i>	7	
Tanah (Soil)	<i>Calcic cambisols</i>	6
	<i>Eutric cambisols</i>	5
	<i>Eutric histosols, Orthic, dan Calcic luvisols</i>	4
	<i>Chromic luvisols</i>	3
	<i>Planosols</i>	2
	<i>Chromic Vertisols</i>	1

Sumber (Source) : Andreo, Vías, Durán, Jiménez, López-Geta, & Carrasco (2008)

Tabel (Table) 2. Klasifikasi kelas kerentanan metode APLIS (*Vulnerability classes of APLIS method*)

Nilai Kerentanan (<i>Vulnerability Score</i>)	Kelas kerentanan (<i>Vulnerability classes</i>)
≤20	Sangat rendah (<i>Very Low</i>)
20 – 40	Rendah (<i>Low</i>)
40 – 60	Sedang (<i>Moderate</i>)
60 – 80	Tinggi (<i>High</i>)
80 – 100	Sangat Tinggi (<i>Very High</i>)

Sumber (Source): Andreo *et.al* (2008)

Pembagian pada hasil penjumlahan skor kerentanan dengan bilangan 0,9, dikarenakan 0,9 merupakan nilai untuk mengansumsikan bahwa besar nilai curah hujan rata-rata yang terjadi setiap tahunnya memiliki nilai mulai dari 8,8% sampai 88,8%. Perhitungan terhadap nilai curah hujan juga dibutuhkan guna untuk agen imbuhan pada air tanah (Andreo *et.al.*, 2008). Studi yang dilakukan oleh Amil, Avci, Çil, Muhammetoğlu, & Özyurt (2020), menunjukkan bahwa kinerja simulasi metode kerentanan sangat terkait dengan definisi parameter yang ditetapkan, rentang skor dan bobot pada masing-masing metode. Parameter serupa dengan rentang skor variabel yang berbeda dapat membuat peta kerentanan yang sangat berbeda pula.

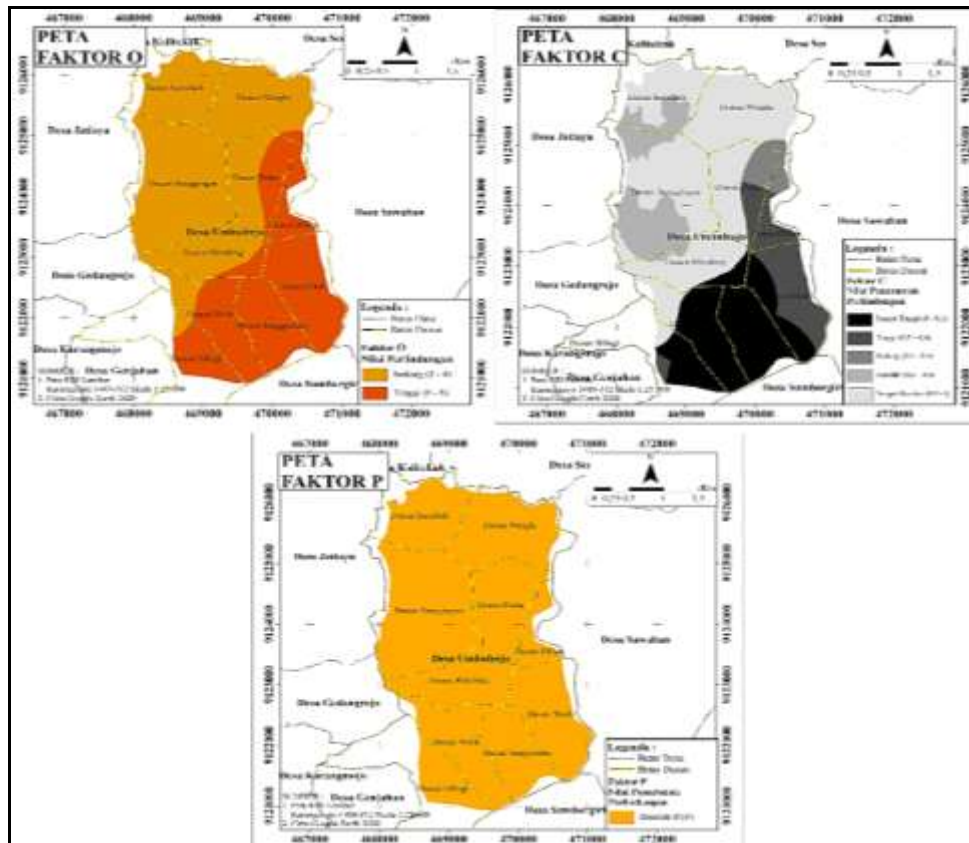
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Zonasi Tingkat Kerentanan Air Tanah

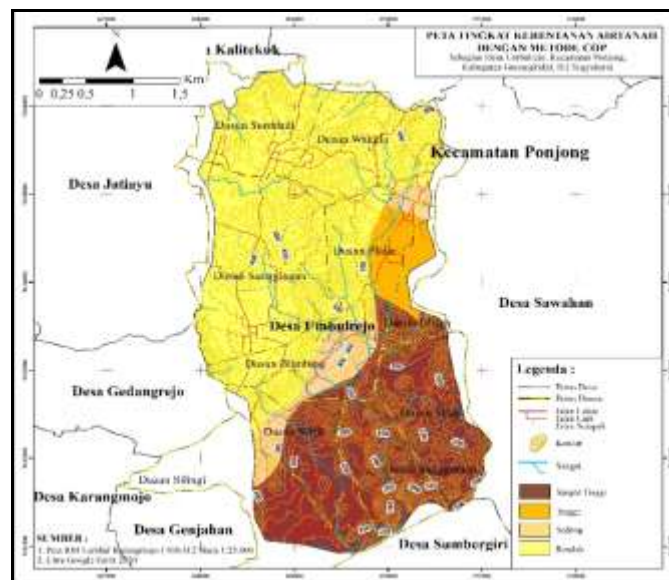
Semua faktor pada masing-masing metode dianalisis dan digabungkan menggunakan metode tumpang-susun atau *overlay* dengan teknik GIS dan didapatkan hasil penilaian terhadap nilai dari kerentanan itu sendiri. Hasil dari kerentanan berdasarkan metode COP, menggambarkan bahwa terdapat 4

klasifikasi total nilai indeks kerentanan yaitu Rendah (2-4), Sedang (1-2), Tinggi (0,5-1), dan Sangat Tinggi (0-0,5) yang disajikan pada Gambar 6 dan 7. Area dari zona kerentanan dengan klasifikasi kelas Rendah memiliki persentase luas sebesar 57,93%, kelas Sedang sebesar 5,76%, kelas Tinggi sebesar 5,12% dan kelas Sangat Tinggi sebesar 36,01% dari keseluruhan area. Kelebihan metode COP ini adalah memiliki pilihan dan penilaian variabel yang lebih kompleks dan memperhitungkan daerah karst dan non-karst yang masing-masing memiliki perhitungannya sendiri, sedangkan kekurangan metode COP adalah sistem skoring pada jarak ke ponor yang memiliki rentang nilai cukup besar jika diterapkan pada daerah yang sempit, sehingga metode ini tidak akan efektif.

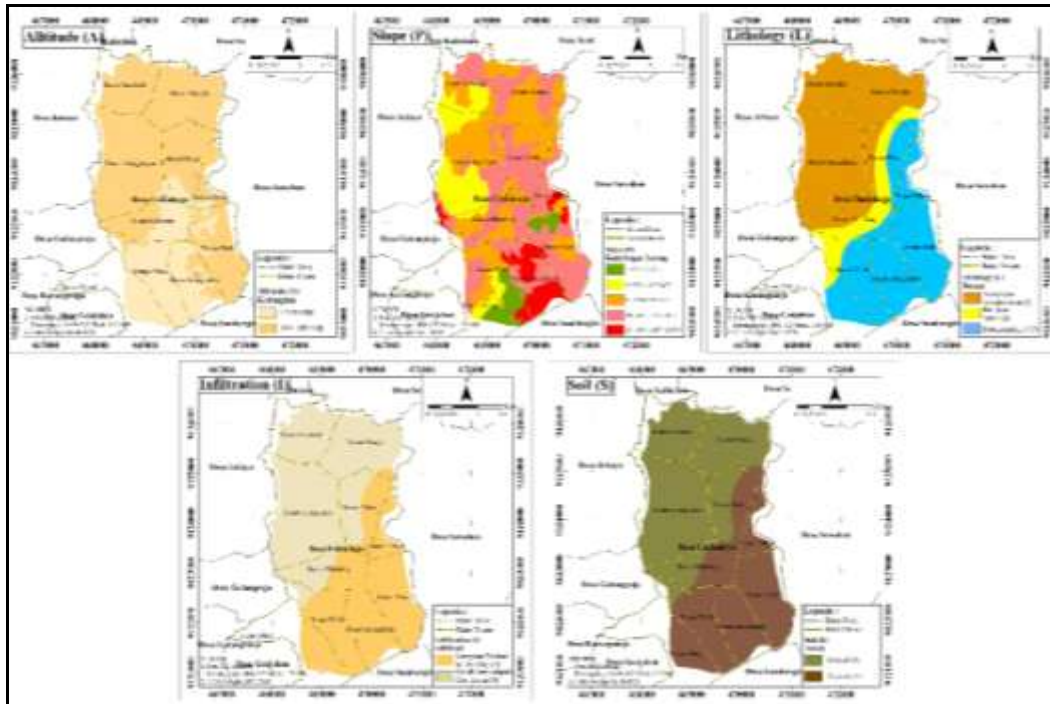
Hasil dari kerentanan berdasarkan metode APLIS, menggambarkan bahwa terdapat 2 klasifikasi total nilai indeks kerentanan yaitu Rendah (20-40) dan Sedang (40-60) yang disajikan pada Gambar 8 dan 9. Area dari zona kerentanan dengan klasifikasi kelas Rendah cenderung lebih mendominasi dan tersebar di bagian utara dan barat daya daerah penelitian yang memiliki presentase luas sebesar 54,01%. Zonasi kerentanan kelas Sedang cenderung tersebar di bagian timur dan tenggara daerah penelitian dengan persentase luas sebesar 45,99%. Kelebihan metode APLIS adalah memiliki perhitungan infiltrasi dengan mempertimbangkan tekstur dan jenis tanah dan dapat pula digunakan untuk perhitungan di berbagai jenis bentuk lahan dengan jenis batuan tertentu



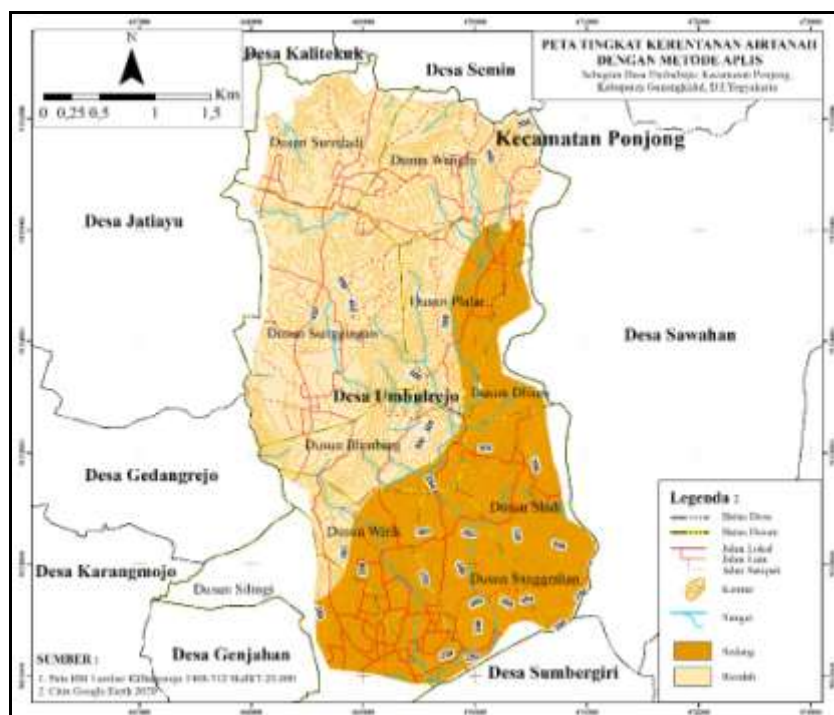
Gambar (Figure) 6. Peta variabel pada metode COP (Variable maps on COP method)
 Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020



Gambar (Figure) 7. Peta kerentanan air tanah metode COP di DAS Gremeng Desa Umbulrejo, Ponjong, Gunungkidul (Groundwater vulnerability map using COP method in Gremeng Watershed of Umbulrejo Village, Ponjong District, Gunungkidul Regency)
 Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020



Gambar (Figure) 8. Peta variabel pada metode APLIS (Variable maps on APLIS method)
 Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020



Gambar (Figure) 9. Peta kerentanan air tanah metode APLIS di DAS Gremeng Desa Umbulejo, Ponjong, Gunungkidul (Groundwater vulnerability map using APLIS method in Gremeng Watershed of Umbulejo Village, Ponjong District, Gunungkidul Regency)
 Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020

karena metode ini memperhitungkan jenis aliran melalui media porus, sedangkan kekurangan metode APLIS adalah perhitungan terhadap skoring pada masing-masing variabel yang terbilang cukup sederhana dan tidak memperhitungkan tebal lapisan batuan maupun tanah. Sebaran kelas kerentanan air tanah karst menggunakan Metode COP dan APLIS di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tingkat kerentanan air tanah juga erat hubungannya dengan konservasi daerah tangkapan air atau daerah imbuhan. Penentuan arahan konservasi daerah

imbuhan dapat pula didasarkan pada indikasi kerentanan terhadap pencemaran yang berada di daerah tersebut. Jenis penggunaan lahan di suatu daerah dapat menjadi salah satu faktor penentu besar kecilnya tingkat kerentanan yang mana jenis penggunaan lahan tersebut dikaji dalam penentuan arahan konservasi pada daerah imbuhan. Oleh karena itu, penentuan tingkat kerentanan pada suatu daerah sangat penting untuk dijadikan dasar dalam melakukan tindakan preventif untuk menjaga kualitas air tanah di suatu daerah.

Tabel (Table) 3. Sebaran kelas kerentanan air tanah karst menggunakan metode COP dan APLIS di daerah penelitian (*Distribution of karst groundwater vulnerability classes using the COP and APLIS methods in the study area*)

Metode (Method)	Skor Kerentanan (Vulnerability Score)	Kelas Kerentanan (Vulnerability Classes)	Luas Daerah (Area) (ha)	Persen dari Total Luas Daerah (Percent of Total Area) (%)	Sebaran Dusun (Hamlet Distribution)
COP	2 – 4	Rendah (Low)	839,49	57,93	Surodadi, Wanglu, Sunggingan, Plalar
	1 – 2	Sedang (Moderate)	83,54	5,76	Plalar, Blimbing, Wirik
	0,5 – 1	Tinggi (High)	74,21	5,12	Plalar, Dlisen, Silingi
	0 – 0,5	Sangat Tinggi (Very High)	521,84	36,01	Silingi, Wirik, Blimbing, Sanggrahan, Sladi, Dlisen
APLIS	20 – 40	Rendah (Low)	782,66	54,01	Surodadi, Wanglu, Sunggingan, Plalar, Blimbing, Wirik, Silingi
	40 - 60	Sedang (Moderate)	666,51	45,99	Plalar, Dlisen, Blimbing, Wirik, Sladi, Sanggrahan, Silingi

Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020

B. Analisis Kualitas Air Tanah

Masing-masing dari peta kerentanan air tanah dilakukan pengambilan sampel pada beberapa sumber air seperti sumur gali dan mata air. Titik sampel dipilih berdasarkan zonasi dari setiap nilai kerentanan pada masing-masing metode. Sampel air yang telah di ambil pada masing-masing titik dilakukan pengujian

kualitas yang disesuaikan dengan standar baku mutu kualitas air kelas I. Beberapa parameter yang digunakan dalam uji kualitas air adalah: Kekerusuhan (NTU), TDS (mg/L), COD (mg/L), DO (mg/L), dan Kesadahan/CaCO₃ (mg/L). Konsentrasi parameter kualitas air yang diuji pada masing-masing titik sampel dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel (Table) 4. Konsentrasi parameter fisika kualitas air tanah pada masing-masing zonasi kerentanan (Concentration of groundwater quality physical parameters in each vulnerability zone)

Metode (Method)	Kelas kerentanan (Vulnerability classes)	Parameter fisika kualitas air (Physical parameters of water quality)					
		Kekerusuhan (Turbidity) (NTU)		TDS (mg/L)		TSS (mg/L)	
		Nilai (Value)	BM*	Nilai (Value)	BM*	Nilai (Value)	BM*
COP	Rendah (Low)	0,26		139,8		2	
	Sedang (Moderate)	1,19		369,5		2	
	Tinggi (High)	0		356		1,5	
	Sangat tinggi (Very high)	0,83	25	265,5	1000	2,5	50
APLIS	Rendah (Low)	0,07		161,5		1,4	
	Sedang (Moderate)	0,63		191,5		2,6	

Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020

Keterangan (Remark) : *BM = Baku Mutu (Quality Standards)

Tabel (Table) 5. Konsentrasi parameter kimia kualitas air tanah pada masing-masing zonasi kerentanan (Concentration of groundwater quality chemical parameters in each vulnerability zone)

Metode (Method)	Kelas Kerentanan (Vulnerability Classes)	Parameter Kimia Kualitas Air (Chemical Parameters of Water Quality)					
		COD (mg/L)		DO (mg/L)		Kesadahan (Hardness) (mg/L)	
		Nilai (Value)	BM*	Nilai (Value)	BM*	Nilai (Value)	BM*
COP	Rendah (Low)	9,46		6,86		76,04	
	Sedang (Moderate)	7,05		6,9		117,91	
	Tinggi (High)	13,55	10	7,3	Min.	130,69	500
	Sangat Tinggi (Very High)	7,25		7,2	6	143,72	
APLIS	Rendah (Low)	8,25		6,4		96,20	
	Sedang (Moderate)	10,4		7,5		117,54	

Sumber (Source): Analisis data (Data analyses), 2020

Keterangan (Remark): *BM = Baku Mutu (Quality Standards)

■ = Nilai melebihi baku mutu (Value exceeds the quality standards)

Berdasarkan hasil uji kualitas air, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa parameter kualitas air yang sesuai dengan baku mutu diantaranya adalah Kekeruhan, DO, TDS, TSS, dan kesadahan. Hanya terdapat satu parameter kualitas air yang tidak sesuai dengan baku mutu yaitu COD. Berdasarkan konsentrasi kualitas air tersebut dapat pula disimpulkan bahwa terdapat beberapa parameter yang nilainya tidak berbanding lurus dengan zona tingkat kerentanan diantaranya adalah DO, kekeruhan, TDS, dan TSS. Parameter kekeruhan dan TSS pada semua sampel uji adalah sangat baik, hal itu dapat disebabkan oleh waktu pengambilan sampel yang dilakukan pada musim kemarau sehingga tidak terdapat adanya proses transport sedimen dari permukaan tanah menuju air bawah permukaan. Parameter kualitas air yang secara tidak langsung berbanding lurus dengan hasil zonasi kerentanan adalah kesadahan. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya konsentrasi kesadahan seiring dengan semakin tingginya tingkat kerentanan suatu area. Tingginya tingkat kerentanan di daerah penelitian ini disebabkan oleh jenis batuan penyusun daerah tersebut yaitu batuan karbonat, dimana pada model COP dan APLIS, batuan karbonat ini memiliki bobot yang besar dalam penentuan tingkat kerentanan.

Penelitian dari Vías, Andreo, Ravbar, & Hötzl (2006), mengatakan bahwa akuifer Sierra de Líbar memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi daripada akuifer lainnya terutama karena tingkat karstifikasinya yang tinggi dan hal tersebut mengurangi fungsi perlindungan dari

lapisan pelindung atasnya (tanah). Juga efek vertikal dari lapisan yang lebih protektif dari ponor dan fitur karst terkait dapat mengurangi fungsi perlindungan keseluruhan dari zona tak jenuh. Oleh karena itu, hasil yang didapatkan untuk metode COP lebih bervariasi daripada metode APLIS. Opsi yang diberikan pada metode COP lebih banyak dari pada metode APLIS khususnya pada aliran air permukaan yang akan masuk ke dalam sistem air tanah karst, sehingga membuat metode COP lebih efektif dan bisa diterapkan untuk berbagai kondisi khususnya di daerah karst dan non-karst terutama pada musim hujan, sedangkan untuk musim kemarau belum bisa memberikan hasil yang representatif pada setiap zonasi kerentanan karena terbatasnya aliran air yang masuk ke dalam air tanah. Disisi lain, Metode APLIS cukup memberikan gambaran bahwa daerah yang masuk ke dalam zonasi kerentanan lebih tinggi akan cenderung memiliki nilai kualitas air yang rendah.

Menurut Jenifer & Jha (2018), perlu ditekankan bahwa kerentanan yang lebih tinggi tidak selalu menunjukkan risiko pencemaran air tanah yang lebih tinggi pula, tetapi lebih tepatnya merupakan lokasi terjadinya bahaya yang menentukan risiko aktual pencemaran air tanah di wilayah mana pun. Berdasarkan penelitian dari Kumar, Bansod, Debnath, Thakur, & Ghanshyam (2015), tidak ada model penilaian kerentanan yang cukup kuat yang dapat memenuhi kebutuhan semua jenis lingkungan geologi. Setiap wilayah studi memiliki karakteristiknya sendiri. Jadi, setiap peneliti harus memasukkan faktor modifikasi dalam

studinya untuk membuat model itu bekerja untuk bidang studinya. Pemilihan model untuk area tertentu tergantung pada banyak faktor seperti skala pemetaan, ketersediaan data, pengaturan hidrogeologis dan tujuan analisis kerentanan.

Zonasi kerentanan air tanah ini dapat menjadi masukan dalam kebijakan dan peraturan terkait pengamanan sumber air baku (air tanah dan air permukaan) di daerah karst khususnya dalam penentuan mitigasi bencana yang disebabkan oleh tercemarnya aliran air tanah di suatu daerah. Hadžić, Lazović, & Mulaomerović-Šeta (2015) juga mengatakan bahwa proses dalam memperkirakan kerentanan air tanah merupakan proses yang dinamis dan jika ditetapkan oleh peraturan hukum di masing-masing negara, hal tersebut dapat menjadi alat terbaik untuk mencegah pencemaran air tanah. Menurut hasil penelitian dari Collignon & Bensaoula (2016) bahwa peta kerentanan dapat membantu otoritas lokal suatu wilayah untuk mengatur tindakan antropis yang memadai dan untuk menetapkan perencanaan penggunaan lahan yang rasional di suatu wilayah. Peta kerentanan air tanah ini dapat menjadi acuan khususnya dalam merancang pembangunan berkelanjutan yang meminimalisir terjadinya potensi tercemarnya air tanah khususnya oleh aktivitas manusia.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa kedua metode memberikan kelebihan dan kekurangan masing-masing

namun metode COP ini lebih cocok jika diterapkan di lokasi penelitian karena sistematika perhitungan nilai dari masing-masing variabel yang memiliki klasifikasi terpisah sehingga data yang dihasilkan cenderung lebih variatif. Metode COP merupakan metode yang lebih efektif untuk diterapkan khususnya pada kawasan bentuk lahan karst dalam penentuan tingkat kerentanan air tanah suatu daerah dan juga dalam melakukan studi terkait dengan pengelolaan sumber air berupa air tanah yang dilakukan khususnya oleh pemerintah daerah Gunungkidul. Jika ditinjau dari hasil penelitian yang diperoleh, pengujian terhadap parameter kualitas air berdasarkan zonasi kerentanan dengan metode COP dan metode APLIS perlu dilakukan pula pada musim hujan sehingga hasilnya dapat menunjang analisis efektifitas penggunaan metode COP dan APLIS pada area penelitian terutama yang terdiri dari bentuk lahan karst dan non-karst. Pengambilan sampel yang dilakukan di dua musim akan memberikan data yang lebih valid untuk mengkorelasikan data kualitas air tanah dengan zonasi tingkat kerentanan suatu daerah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai sepenuhnya oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta melalui skema Penelitian Dasar Tahun 2020. Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu jalannya penelitian ini,

khususnya Jurusan Teknik Lingkungan
UPN "Veteran" Yogyakarta.

7198–7215. <https://doi.org/10.1029/2018WR023331>

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, T.O., Ali, S.S., Al-Ansari, N.A., & Knutsson, S. (2020). Assessment of groundwater vulnerability to pollution using two different vulnerability models in Halabja-Saidsadiq Basin, Iraq. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100276>
- Amil, A., Avcı, P., Çil, A., Muhammetoğlu, A., & Özyurt, N.N. (2020). Significance of validation for karst aquifers' vulnerability assessments: Antalya Travertine Plateau (Turkey) application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 228, 103557. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.103557>
- Andreo, B., Vías, J., Durán, J. J., Jiménez, P., López-Geta, J. A., & Carrasco, F. (2008). Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: Application to pilot sites in southern Spain. *Hydrogeology Journal*, 16(5), 911–925. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0274-5>
- Attoui, B., Kherci, N., & Bousnoubra, H. (2012). State of vulnerability to pollution of the big reservoirs of ground water in the region of Annaba-Bouteldja (Ne Algeria). *Geographia Technica* (2), 1–13.
- Basha, H. A., & Zoghbi, C. A. (2018). Simplified physically based models for pressurized flow in karst systems. *Water Resources Research*, 54(10), 7198–7215. <https://doi.org/10.1029/2018WR023331>
- Collignon, B., & Bensaoula, F. (2016). First application of the COP method to vulnerability mapping in the Meffrouch Catchment (NW Algeria). Première application de la méthode COP pour la cartographie de la vulnérabilité du bassin du Meffrouch (Algérie). *Larhyss Journal*. (26), 45–59.
- Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Popescu, I. C., & Zwahlen, F. (2002). Main concepts of the "European approach" to karst-groundwater-vulnerability assessment and mapping. *Hydrogeology Journal*, 10(2), 340–345. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0185-1>
- Farfán, H., Corvea, J. L., & De Bustamante, I. (2010). Sensitivity analysis of APLIS method to compute spatial variability of karst aquifers recharge at the national park of viñales (Cuba). *Environmental Earth Sciences*, 19–24. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12486-0_3
- Hadžić, E., Lazović, N., & Mulaomerović-Šeta, A. (2015). The importance of groundwater vulnerability maps in the protection of groundwater sources. Key study: Sarajevsko Polje. *Procedia Environmental Sciences*, 25, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.04.015>
- Jenifer, M. A., & Jha, M. K. (2018). Comprehensive risk assessment of groundwater contamination in a weathered hard-rock aquifer system of India. *Journal of Cleaner*

- Production*, 201, 853–868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.005>
- Kumar, P., Bansod, B. K. S., Debnath, S. K., Thakur, P. K., & Ghanshyam, C. (2015). Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation. *In Environmental Impact Assessment Review*, (51), 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.02.001>
- Leibundgut, C. (1998). Vulnerability of karst aquifers. *Karst Hydrology (Proceedings of Workshop W2 held at Rabat, Morocco, April-May 1997)*. IAHS Publication (247), 45–60.
- Machiwal, D., Jha, M. K., Singh, V. P., & Mohan, C. (2018). Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews* (185), 901–927. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.009>
- Moreno-Gómez, M., Martínez-Salvador, C., Moulahoum, A., Liedl, R., Stefan, S., & Pacheco, P. (2019). First Steps into an Integrated Karst Aquifer Vulnerability Approach (IKAV). Intrinsic Groundwater vulnerability analysis of the Yucatan Karst, Mexico. *Water*, 11(8), 1610. <https://doi.org/10.3390/w11081610>
- Nanou, E., & Zagana, E. (2018). Groundwater vulnerability to pollution map for karst aquifer protection (Ziria Karst system, Southern Greece). *Geosciences*, 8(4), 125. <https://doi.org/10.3390/geosciences8040125>
- Oke, S. A., & Fourie, F. (2017). Guidelines to groundwater vulnerability mapping for Sub-Saharan Africa. *Groundwater for Sustainable Development*, 5, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.06.007>
- Sudarmadji, S., Suprayogi, S., Widyastuti, M., & Harini, R. (2011). Konservasi mata air berbasis masyarakat di unit fisiografi Pegunungan Baturagung, Ledok Wonosari dan Perbukitan Karst Gunung Sewu, Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Teknosains*, 1(1), 42-53. <https://doi.org/10.22146/teknosains.3990>
- Vías, J., Andreo, B., Ravbar, N., & Hötzl, H. (2010). Mapping the vulnerability of groundwater to the contamination of four carbonate aquifers in Europe. *Journal of Environmental Management*, 91(7), 1500–1510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.025>
- Widiastuti, A.P. (2012). Zonasi Kerentanan air tanah bebas terhadap pencemaran dengan metode APLIS di Kecamatan Wonosari Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(2), 38–46.
- Zwahlen, F. (2003). *COST action 620: Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) Aquifers final report*. Luxembourg.