

ZONASI KERENTANAN AIR TANAH PADA BENTANG ALAM KARST DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS SEBAGAI DASAR PENYUSUNAN TATA RUANG

(Groundwater Vulnerability Zone Determination On Karst Landscape By Using Geographic Information System As A Basis For Land Use Planning)

Agus Wuryanta

Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai
JL.A.Yani, Pabelan PO.BOX 295 Kartasura-Surakarta Telp.(0271)716709, Fax. (0271)716959
E-mail: guswurbayat@gmail.com

ABSTRAK

Bentang alam karst memiliki karakter morfologi, geologi, hidrogeologi dan lingkungan hayati yang berbeda dibandingkan dengan bentang alam lainnya. Kondisi lahan di atas permukaan tanah pada bentang alam karst pada umumnya kering dan kritis, sedangkan di bawah permukaan tanah terdapat potensi sumberdaya air yang sangat berlimpah. Lokasi kajian terletak di Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Alang, Kabupaten Wonogiri. Tujuan kajian adalah menentukan zona kerentanan air tanah dengan menggunakan metode APLIS (*Altitude, Slope, Litology, Infiltration and Soils*). Parameter yang digunakan adalah ketinggian, kelerengan, batuan, zona infiltrasi dan jenis tanah. Kelas kelerengan dan ketinggian diperoleh dari analisis peta kontur skala 1: 25.000, jenis tanah diperoleh dari peta tanah sedangkan jenis batuan dan infiltrasi diperoleh dari peta geologi. Masing – masing parameter dilakukan overlay dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil kajian menunjukkan, terdapat 4 tingkat kerentanan air tanah di sub DAS Alang yaitu sangat rendah, rendah, tinggi dan sangat tinggi. Tingkat kerentanan air tanah tinggi (zona perlindungan air tanah) menempati areal paling luas yaitu 15.541,79 ha (91,75 % dari total luas sub DAS Alang). Pada wilayah ini, kegiatan yang tidak boleh dilakukan adalah penambangan dan industri karena dapat mencemari air tanah. Sedangkan tingkat kerentanan sangat rendah, rendah dan sangat tinggi berturut – turut menempati areal seluas 10,34 ha, 1.382,35 ha dan 3,64 ha. Penerapan metode APLIS dengan perangkat lunak SIG dapat digunakan untuk menentukan zona tingkat kerentanan air tanah. Disamping itu distribusi spasial zona kerentanan air tanah dapat dimanfaatkan sebagai salah satu pertimbangan didalam penyusunan tata ruang kawasan bentang alam karst.

Kata kunci: bentang alam karst, air tanah, sub DAS Alang dan SIG

ABSTRACT

The karst landscape has different morphological, geological, hydrogeological and biological characteristics compared to other landscapes. Land conditions above the soil surface in the karst landscape are generally dry and critical, while below the soil surface there is an abundant potential of water resources. The study is located in Alang Sub Watershed, Wonogiri Regency. The purpose was to determine the groundwater vulnerability zone using the APLIS method (Altitude, Slope, Litology, Infiltration and Soils). The parameters used are altitude, slope, rock, infiltration zone and soil type. The slope and altitude classes were analysed from contour map scale of 1: 25,000, soil types were analysed from soil maps whereas rock types and infiltration were obtained from geological maps. Each parameter is overlaid using Geographic Information System (GIS) software. The result shows there are four levels of groundwater vulnerability in Alang sub watershed i.e. very low, low, high and very high. High level of groundwater vulnerability (groundwater protection zone) occupies the most extensive area of 15,541.79 ha (91.75% of total Alang sub watershed). In this area, activities that should not be done are mining and industry because it can pollute groundwater. While the level of groundwater vulnerability is very low, low and very high respectively occupy an area of 10.34 ha, 1,382.35 ha and 3.64 ha. APLIS method by using GIS software can be applied to determine groundwater vulnerability zones. In addition, the spatial distribution of groundwater vulnerability zones can be utilized as one of the considerations in spatial landuse planning of karst landscape.

Keywords: karst landscape, ground water, Alang sub watershed and GIS

PENDAHULUAN

Bentang alam karst terbentuk oleh proses pelarutan air pada bebatuan karbonat, dolomite dan limestone. Proses pelarutan tersebut memerlukan waktu yang sangat lama yaitu ribuan sampai jutaan tahun. Bentang alam karst memiliki morfologi yang unik yaitu endokarst dan eksokarst dengan ekosistem yang sangat spesifik. Keunikan bentang alam karst terletak pada karakter morfologi, geologi, hidrogeologi dan lingkungan hayati yang sangat berbeda dibandingkan dengan bentang alam lainnya (Kusumayudha BS., 2004). Kondisi di atas permukaan tanah pada bentang alam karst pada umumnya kering dan kritis, sedangkan di bawah permukaan tanah terdapat potensi sumberdaya air yang sangat berlimpah. Karst merupakan wilayah dengan hidrologi unik dan terbentuk dari kombinasi antara tingginya pelarutan batuan dengan porositas yang berkembang baik (Cahyadi, Ayuningtyas, & Prabawa, 2013)

Perserikatan Bangsa – Bangsa (PBB) memperkirakan persediaan air tanah dari bentang alam karst dapat memenuhi sekitar 25 % penduduk dunia (Adji, Haryono, & Woro, 1999). Bentang alam karst yang terbentuk dari batuan karbonat memiliki sumber daya air tanah yang sangat besar yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Bakalowicz, 2005). Namun demikian sumber daya air tanah tersebut sangat mudah mengalami pencemaran. Hal tersebut disebabkan karena sifat batuan karbonat yang sangat mudah meloloskan air (porous), disamping itu lorong – lorong hasil proses pelarutan (solusional) yang dihasilkan pada batuan gamping yang terkartifikasi dengan baik menyebabkan permeabilitasnya tinggi (Malawani, Cahyadi dan Hartoyo.,2014). Disamping itu, aktivitas penambangan pada bukit-bukit karst dapat menghilangkan zona lapisan penangkap air. Hilangnya zona tersebut mematikan resapan air ke dalam sungai-sungai bawah tanah yang berakibat pada mengeringnya sungai-sungai bawah tanah, matinya mata air dan berpotensi mengakibatkan banjir pada musim hujan.

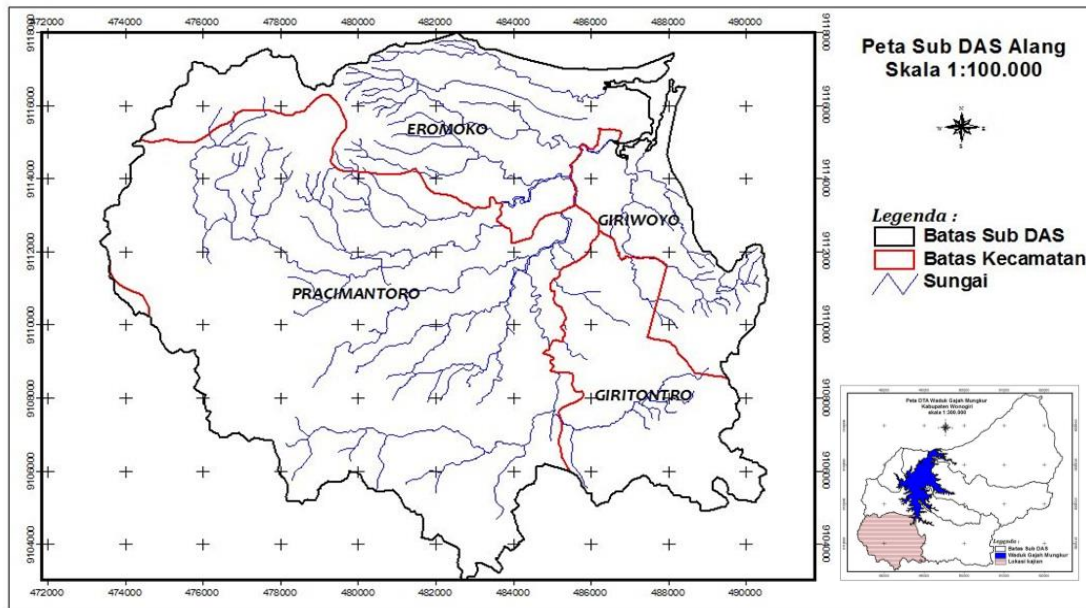
Beberapa aktivitas manusia seperti penambangan, industri, pertanian dan pemukiman dapat mengancam kelestarian bentang alam karst dan sumber daya air tanah di kawasan tersebut. Penggunaan pupuk kimia dan pestisida berbahaya pada lahan pertanian di kawasan karst berpengaruh negatif terhadap kualitas air tanah. Hal ini disebabkan penggunaan zat-zat kimia berbahaya tersebut dapat langsung terbawa air hujan masuk ke dalam gua atau luweng yang ada di kawasan karst (Jauhari, 2016).

Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1456 K/20/MEM/2000, tentang pengelolaan kawasan kars menegaskan bahwa pemanfaatan dan perlindungan merupakan usaha atau kegiatan yang mempertimbangkan daya dukung fungsi lingkungan yang merupakan hubungan timbal balik yang dinamis antara manusia dengan alam (Republik Indonesia. 2000). Salah satu upaya untuk melindungi kawasan bentang alam karst terutama sumber daya air tanahnya yaitu dengan metode APLIS (*Altitude, Slope, Litology, Infiltration and Soils*). Metode tersebut berbasis spasial yaitu dengan melakukan overlay beberapa parameter dengan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG). Tujuan kajian adalah menentukan zona kerentanan air tanah pada kawasan bentang alam karst dengan menggunakan metode APLIS.

METODE

Lokasi Kajian

Lokasi kajian berada di sub DAS Alang merupakan salah satu Sub DAS di Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri dan merupakan bagian dari bentang alam karst Gunung Sewu yang telah ditetapkan sebagai *geopark* dunia oleh UNESCO. Secara geografis Sub DAS Alang terletak pada koordinat 110,73° BT sampai dengan 110,93° BT dan 8,09° LS sampai dengan 8,22° LS. Secara administrative, wilayah Sub DAS Alang meliputi 4 (empat) kecamatan yaitu Kecamatan Eromoko, Pracimantoro, Giriwoyo dan Giritontro. Luas Sub DAS alang sebesar 16.938,12 ha. Peta lokasi kajian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Kajian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk melakukan kajian adalah: peta RBI digital 1:25.000, peta geologi, peta jenis tanah skala 1:50.000, peta penutupan/penggunaan lahan skala 1:25.000 tahun 2005. Alat yang digunakan untuk mendukung kegiatan kajian, antara lain: global positioning system (GPS), alat tulis kantor, perangkat computer, perangkat lunak untuk analisa SIG, yaitu ArcGIS versi 10.2.

Analisis data

Masing – masing parameter dilakukan klasifikasi dan diberi skor (nilai) sesuai dengan klasifikasi (Andreo et al., 2008). Klasifikasi parameter dan skor masing – masing parameter disajikan pada **Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.**

Tabel 1. Klasifikasi dan skor elevasi.

Kelas elevasi(mdpal)	skor
≤ 300	1
300 – 600	2
600 – 900	3
900 – 1200	4
1200 – 1500	5
1500 – 1800	6
1800 – 2100	7
2100 – 2400	8
2400 – 2700	9
>2700	10

Tabel 2. Klasifikasi dan skor kelerengan.

Kelas kelerengan (%)	Skor
≤ 3	10
3 – 8	9
8 – 16	8
16 – 21	7
21 – 31	5
31 – 46	4
46 – 76	3
76 – 100	2
>100	1

Tabel 3. Klasifikasi dan skor zona infiltrasi.

Zona Infiltrasi	Skor
Many infiltration landforms	10
Scarce infiltration landforms	1

Tabel 4. Klasifikasi dan skor litologi.

Kelas batuan (litologi)	skor
Batu gamping dan dolomit terkarstifikasi baik	10 atau 9
Batu gamping dan dolomit dengan rekahan, terkarstifikasi sedang	8 atau 7
Batu gamping dan dolomit bercelah	6 atau 5
Pasir dan kerikil kolumial	4
Napal, breksi dan konglomerat	3
Batuan plutonik dan metamorf	2
Shales, silts, clays	1

Tabel 5. Klasifikasi dan skor jenis tanah.

Kelas Jenis Tanah	skor
Leptosols	10
Arenosols and xerosols	9
Calcareous regosols and fluvisol	8
Euthric regosols and solonchaks	7
Cambisols	6
Euthric cambisols	5
Histosols and luvisols	4
Chromic luvisols	3
Planosols	2
Vertisols	1

Masing – masing parameter dilakukan overlay dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), sedangkan untuk mendapatkan zonasi tingkat kerentanan air tanah digunakan **Persamaan (1)**:

$$R = A+P+3L+2I+S)/0,9.....(1)$$

dimana:

- A: parameter ketinggian
- P: parameter kelerengan
- L: parameter litologi
- I: parameter infiltrasi
- S: parameter tanah

Hasil *overlay* parameter – parameter tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan zonasi tingkat kerentanan air tanah pada bentang alam karst. Semakin tinggi nilai R, berarti tingkat kerentanannya semakin tinggi, begitu juga sebaliknya. Nilai R dan tingkat kerentanan air tanah disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai dan tingkat kerentanan air tanah

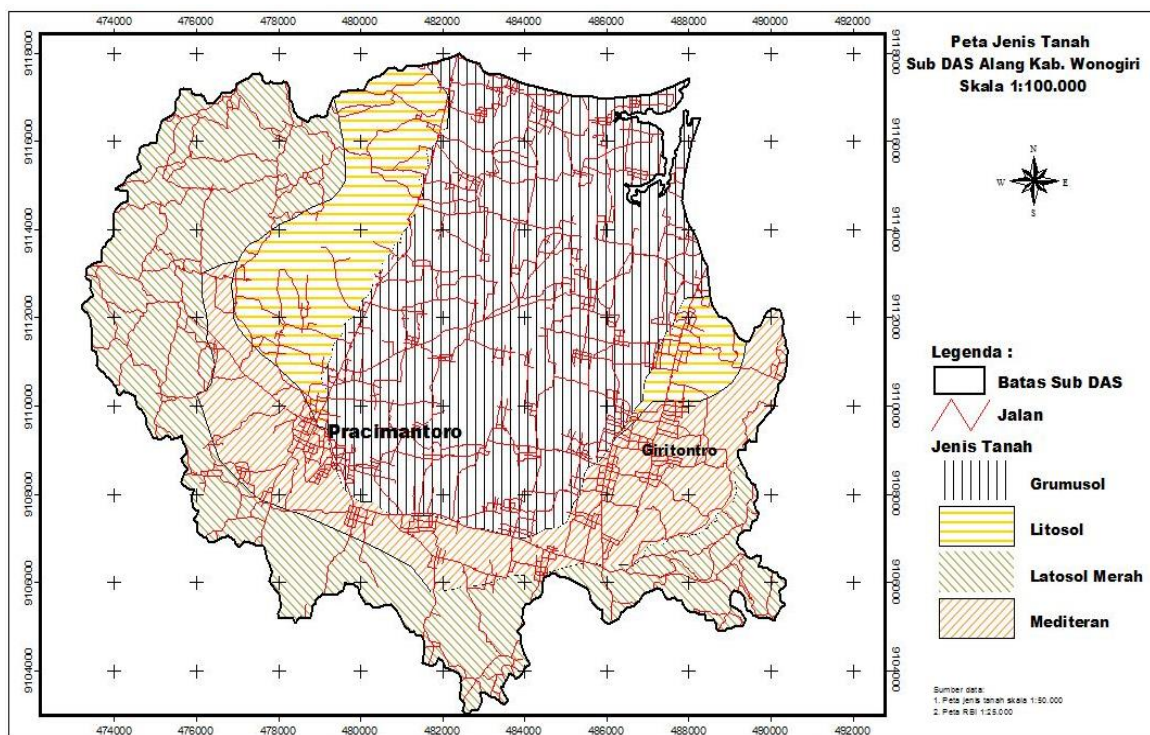
Nilai R (%)	Tingkat kerentanan
≤ 20	Sangat rendah
>20 – 40	Rendah
>40 – 60	Sedang
>60 – 80	Tinggi
>80	Sangat tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis Tanah

Jenis tanah di Sub DAS Alang dikelaskan menjadi empat jenis tanah yaitu Grumusol, latosol merah, litosol dan mediteran. Selanjutnya jenis tanah diberi skor (nilai) sesuai dengan **Tabel 5**.

Peta distribusi jenis tanah di Sub DAS Alang disajikan pada **Gambar 2**. sedangkan jenis tanah, skor beserta luasannya disajikan pada **Tabel 7**.



Gambar 2. Jenis tanah.

Tabel 7. Luas dan skor untuk parameter jenis tanah.

No.	Jenis tanah	Skor	Luas (Ha)	Prosentase Luas
1	Grumusol	10	6.743,53	39,81 %
2	Litosol	10	2.243,70	13,24 %
3	Latosol merah	6	4.906,15	28,96 %
4	Mediteran	5	3.044,73	17,97 %
Total			16.938,12	100,00

Kelerengan dan Elevasi

Kelerengan diperoleh dari hasil analisis peta kontur skala 1:25.000. Kelas kelerengan disajikan pada **Tabel 8**. Kelas kelerengan $\leq 3\%$ menempati areal paling luas di Sub DAS Alang yaitu 10.134,44 ha atau 59,83 % dari luas total Sub DAS Alang. Hal tersebut menunjukkan bahwa di lokasi kajian didominasi oleh topografi datar. Elevasi dilokasi kajian dianalisis dari peta kontur skala 1:25.000 dengan interval kontur 12,5 meter. Hasil analisis menunjukkan, elevasi yang paling tinggi yaitu 637,5 mdpal (meter di atas permukaan air laut), sedangkan paling rendah yaitu 137,5 mdpal. Berdasarkan pada **Tabel 1**, maka kelas elevasi dibagi menjadi 3 kelas yaitu ≤ 300 mdpal (12.273,18 ha), 300 – 600 mdpal (3.350,52 ha) dan 600 – 900 mdpal (1.314,29 ha).

Tabel 8. Luas dan skor untuk parameter kelerengan.

No.	Kelas lereng	Skor	Luas	Persentase
1	$\leq 3\%$	10	10,134.44	59.83
2	3 - 8%	9	1,642.74	9.70
3	8 - 16%	8	1,798.84	10.62
4	16 - 21%	7	1,896.27	11.20
5	21 - 31%	5	1,096.14	6.47
6	31 - 46%	4	258.56	1.53
7	46 - 76%	3	68.94	0.41

No.	Kelas lereng	Skor	Luas	Persentase
8	76 - 100%	2	42.08	0.25
9	>100%	1	0.10	0.00
Jumlah			16,938.12	100.00

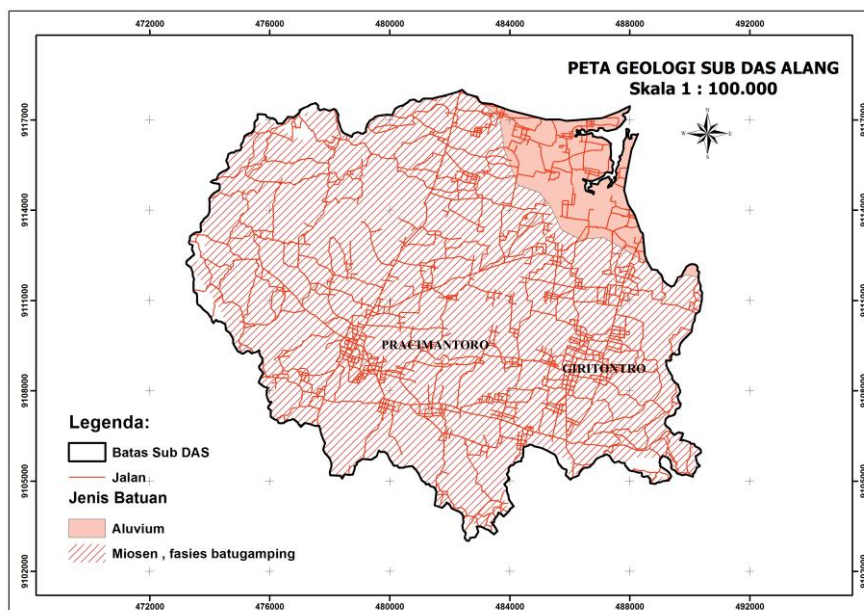
Zona infiltrasi dan litologi

Infiltrasi dan litologi merupakan parameter penting didalam menentukan zona kerentanan air tanah pada bentang alam karst. Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor:3045 K/40/MEM/2014, bentang alam karst di lokasi kajian dibentuk oleh batu gamping terumbu formasi Wonosari, di bagian permukaan (eksokarst) dijumpai bukit – bukit kerucut, dolina, telaga dan mata air permanen, sedangkan di bagian bawah permukaan (endokarst) terdapat goa berair yang disertai adanya speleoterm. Goa tersebut terhubung dengan aliran sungai bawah tanah (Republik Indonesia.2014). Secara geologis, wilayah Sub DAS Alang didominasi oleh batugamping Miocene Formasi Wonosari, yang terdiri dari batu kapur terumbu karang masif di selatan dan kapur kapur yang berbunga di bagian utara. Secara geologis, wilayah studi didominasi oleh batugamping Miocene Formasi Wonosari, yang terdiri dari batu kapur terumbu karang massif (Haryono & Day, 2004).

Berdasarkan peta geologi, di Sub DAS Alang terdapat 2 jenis batuan yaitu batu gamping dan batuan sedimen (aluvium). Menurut Kusumayudha (2005), batu gamping memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) lebih dari 90 %. Batuan tersebut memiliki sifat mudah bereaksi dan mudah meloloskan air (porositasnya tinggi). Oleh karena itu, di dalam metode APLIS, batu gamping dan zona infiltrasi memiliki skor paling tinggi yaitu 10 sebagaimana disajikan pada **Tabel 9**. Berdasarkan **Tabel 9**, batu gamping menempati areal paling luas di Sub DAS Alang yaitu 15.545,43 ha, sedangkan batuan sedimen (aluvium) hanya menempati areal seluas 1.392,69 ha. Menurut Ahr, (2008), batu gamping memiliki jumlah pori – pori primer yang jauh lebih banyak dibandingkan batu pasir. Distribusi spasial jenis batuan disajikan pada **Gambar 3**.

Tabel 9. Luas dan skor untuk parameter litologi dan zona infiltrasi

Litologi	Zona Infiltrasi	Skor litologi	Skor zona infiltrasi	Luas (ha)
Aluvium	Scarce infintration landform	1	1	1,392.69
Miosen , fasies batugamping	Many infiltration landform	10	10	15,545.43
Total luas				16,938.12



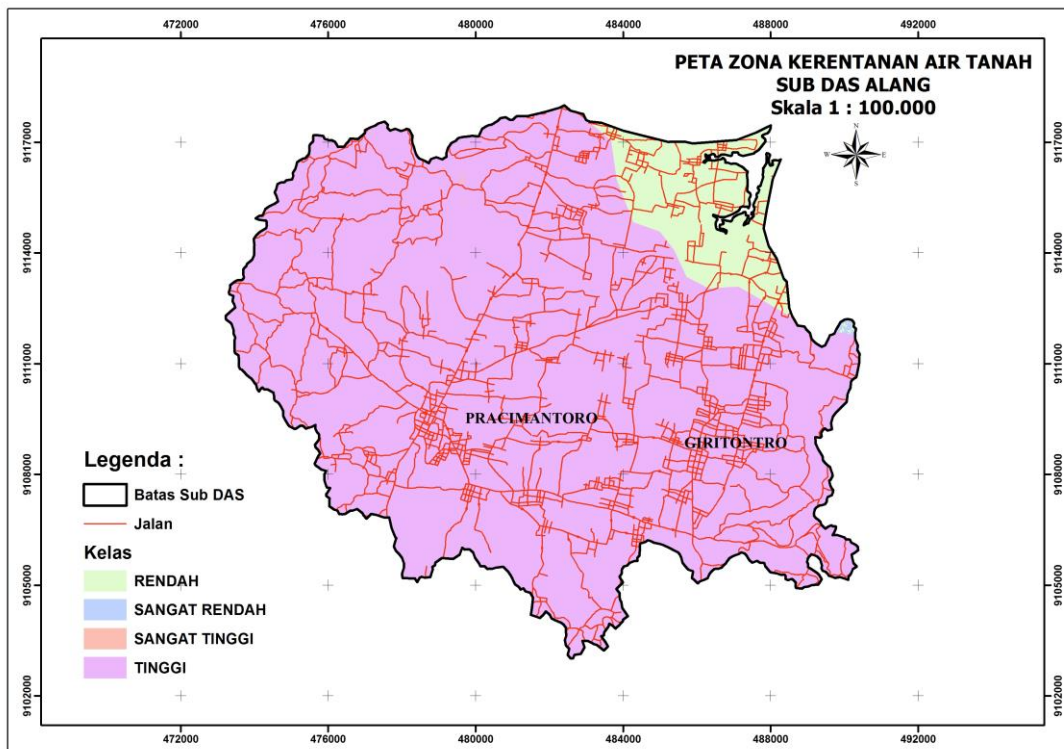
Gambar 3. Peta geologi.

Zonasi Kerentanan Air Tanah

Zonasi kerentanan air tanah diperoleh dengan menerapkan metode APLIS, yaitu melakukan *overlay* antara parameter elevasi, kelerengan, litologi, zona infiltrasi dan jenis tanah. Sedangkan skor kerentanan air tanah ditentukan dengan menggunakan persamaan pada Persamaan 1. Dari Persamaan 1 dapat diketahui bahwa parameter litologi dan zona infiltrasi memiliki bobot yang lebih tinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa parameter litologi dan zona infiltrasi sangat dominan didalam menentukan zona kerentanan air tanah (Duran et al. 2004). Hasil analisis kerentanan air tanah menunjukkan, terdapat 4 tingkat kerentanan air tanah di sub DAS Alang yaitu sangat rendah, rendah, tinggi dan sangat tinggi. Tingkat kerentanan air tanah tinggi menempati areal paling luas yaitu 15.541,79 ha (91,75 % dari total luas sub DAS Alang), yang berarti bahwa pada wilayah tersebut seharusnya ditetapkan sebagai zona perlindungan air tanah. Pada zona kerentanan air tanah tinggi dan sangat tinggi, bentang alam dan ekosistem yang ada di dalamnya harus tetap dipertahankan keasliannya (Adji et al., 1999). Kegiatan yang dapat mengakibatkan pencemaran air tanah seperti penambangan, pemukiman dan industri tidak diperbolehkan di zona tersebut. Sedangkan tingkat kerentanan sangat rendah dan rendah dan sangat tinggi berturut – turut menempati areal seluas 10,34 ha, 1.382,35 ha dan 3,64 ha. Pada zona tingkat kerentanan air tanah rendah dan sangat rendah dapat dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya seperti pertambangan, pertanian, perikanan, pemukiman dan industri. Luas dan kelas kerentanan air tanah disajikan pada **Tabel 10**. Sedangkan distribusi spasial kerentanan air tanah disajikan pada **Gambar 4**.

Tabel 10. Luas kerentanan air tanah.

No.	Skor	Kelas	Luas (Ha)
1	> 20 - 40	Rendah	1.382,35
2	< 20	Sangat rendah	10,34
3	> 80	Sangat tinggi	3,64
4	> 60 - 80	Tinggi	15.541,78
Total			16.938,12



Gambar 4. Peta kerentanan air tanah.

KESIMPULAN

Sub DAS Alang memiliki luas 16.938,12 ha, berdasarkan hasil analisis dengan metode APLIS, kerentanan air tanah di Sub DAS Alang dibagi menjadi 4 kelas yaitu sangat rendah, rendah, tinggi dan sangat tinggi. Hampir seluruh wilayah sub DAS Alang memiliki tingkat kerentanan air tanah tinggi hal tersebut berarti bahwa di wilayah tersebut perlu dijadikan sebagai zona perlindungan air tanah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Dr. Nur Sumedi, S.Pi,MP sebagai Kepala Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS (BPPTPDAS) Solo yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., Haryono, E., & Woro, S. (1999). *Kawasan Karst Dan Prospek Pengembangannya*. Book, 1(November 26-27), 10.
- Ahr, Wayne M. (2008). *Geology of carbonate reservoirs : the identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks*. A John Willey & sons, INC., Texas A&M University.
- 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>
- Bakalowicz, M. (2005). *Karst groundwater: A challenge for new resources*. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 148–160. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0402-9>
- Cahyadi, A., Ayuningtyas, E. A., & Prabawa, B. A. (2013). *Urgensi Pengelolaan Sanitasi Dalam Upaya Konservasi Sumberdaya Air Di Kawasan Karst Gunung Sewu Kabupaten Gunungkidul*. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(1), 23–32.
- Duran, Z., Doğru, A.G. & G. Toz, 2004: *Web-based mul- timedia GIS for historical sites*. - In: Altan, O. (ed.) *Geo-Imagery Bridging Continents*, Proceedings of the XXth ISPRS Congress, 12th –23rd July 2004, Istanbul, Turkey. ISPRS, Technical Commission V, 434–438, Turkey
- Jauhari. A. 2016. *Kita Hidup Dimana? (Mengenal Lingkungan Karst Gunung Sewu sebagai Tempat Hidup Kita)*. Seminar Karst Gunung Sewu. Uninersitas Muhammadiyah Surakarta, 6 April 2016.
- Kusumayudha, B.S.,2004. *Mengenal Hidrogeologi Karst*. Pusat Sudi Karst. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Malawani, N.M., Cahyadi, A. Dan Hartoyo, A.F., 2014. *Analisis Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran sebagai Salah Satu Dasar Zonasi Kawasan Karst*. Seri Bunga Rampai Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia. Deepublish. Yogyakarta
- Republik Indonesia, 2014. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor:3045 K/40/MEM/2014, tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst Gunung Sewu*. Jakarta, Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia, 2000. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor: 1456 K/20/MEM/2000 Tentang Pedoman Pengelolaan Kawasan Kars*. Jakarta, Sekretariat Negara.