

**ZONASI KERENTANAN AIRTANAH BEBAS
terhadap PENCEMARAN dengan METODE APLIS
di KECAMATAN WONOSARI KABUPATEN GUNUNGKIDUL**

Asih Purnami Widiastuti
asihpurnami.widiastuti@yahoo.co.id

Widyastuti
m.widyastuti@geo.ugm.ac.id

Abstract

The aims of this research are (1) to understand the score and distribution of each parameter of groundwater vulnerability to the contamination by using APLIS method, such as A (Altitude), P (Slope), L (Litology), I (Infiltration Zone), and S (Soil) in the research area, (2) to understand the zoning of groundwater vulnerability level to the contamination in the research area. The calculation of the multiplication's outcome of the APLIS parameters resulted a score as the index of groundwater vulnerability to the contamination. The final product of this research is the map of groundwater vulnerability zone in Wonosari district. The level of groundwater vulnerability in the research area covered the low and medium rank. Every parameter in APLIS has each contribution in the groundwater vulnerability. The parameters which highly influence the groundwater vulnerability are infiltration zone and soils.

Keywords: groundwater vulnerability, contamination, APLIS

Abstrak

Penelitian ini bertujuan : (1) mengetahui nilai dan distribusi masing – masing parameter kerentanan airtanah terhadap pencemaran dengan metode APLIS, yaitu A (*Altitude*), P (*Slope*), L (*Litology*), I (*Infiltration Zone*), dan S (*Soils*) di daerah penelitian, (2) mengetahui zonasi tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di daerah penelitian. Metode yang digunakan adalah penilaian dan pembobotan parameter APLIS, meliputi variabel ketinggian tempat (A), kemiringan lereng (P), litologi (L), zona infiltrasi (I), dan kondisi tanah (S). Penjumlahan hasil kali parameter APLIS menghasilkan satu nilai sebagai indeks kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Hasil akhir dari penelitian ini berupa peta zonasi tingkat kerentanan airtanah di Kecamatan Wonosari. Tingkat kerentanan airtanah di daerah penelitian meliputi tingkat rendah hingga sedang. Setiap parameter APLIS memiliki kontribusi masing – masing terhadap tingkat kerentanan airtanah. Parameter yang memiliki kontribusi tinggi terhadap tingkat kerentanan adalah zona infiltrasi dan kondisi tanah.

Kata kunci : kerentanan airtanah, pencemaran, APLIS

PENDAHULUAN

Air merupakan sumberdaya alam yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup dan lingkungan. Makhluk hidup, termasuk manusia, memanfaatkan air untuk memenuhi kebutuhan sehari – hari dari berbagai sumber seperti sumur, danau, dan sungai. Sebagian besar masyarakat khususnya di Indonesia menggunakan airtanah sebagai sumber air yang utama. Airtanah relatif memiliki kualitas yang lebih baik dibanding air permukaan dan tidak mudah tercemar sehingga lebih layak digunakan dibanding air permukaan (air danau, air sungai, dan sebagainya). Namun airtanah memiliki kelemahan yaitu jika terjadi pencemaran di dalam airtanah tersebut maka akan sulit dilakukan pemulihan kualitasnya. Kualitas airtanah dipengaruhi oleh ada atau tidaknya zat pencemar yang masuk ke airtanah dan kondisi fisik daerah tersebut. Hal ini disebabkan airtanah terdapat pada lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah, sehingga mempengaruhi tingkat kerentanan airtanah terhadap suatu pencemaran.

Kerentanan airtanah terhadap pencemaran terdiri dari dua macam yaitu kerentanan intrinsik dan kerentanan spesifik. Kerentanan airtanah secara intrinsik dipengaruhi oleh kondisi fisik daerahnya saja, sedangkan kerentanan airtanah secara spesifik dipengaruhi oleh kondisi non fisik seperti aktivitas manusia sebagai sumber pencemaran. Berbagai macam aktivitas dari manusia yang dapat menyebabkan pencemaran misalnya penggunaan lahan seperti permukiman, pertanian, bangunan, dan sebagainya).

Suatu pemodelan untuk pengukuran / estimasi tingkat kerentanan

airtanah bebas terhadap pencemaran penting dilakukan terkait dengan kegiatan perlindungan airtanah dari pencemaran.

Kecamatan Wonosari adalah bagian dari Basin (cekungan) Wonosari sehingga merupakan daerah berkumpulnya airtanah dari daerah sekitarnya dan mengisi cadangan airtanah. Pemanfaatan airtanah oleh penduduk dapat dilihat dari banyaknya sumur gali dan sumur bor yang dibuat. Kecamatan Wonosari yang merupakan pusat aktivitas penduduk di Kabupaten Gunungkidul, penggunaan lahannya semakin berkembang seiring jumlah penduduk yang semakin banyak. Perubahan penggunaan lahan tersebut menyebabkan pencemaran airtanah semakin meningkat sehingga perlu dilakukan perlindungan terhadap airtanah. Perlindungan airtanah dimaksudkan untuk melindungi airtanah dari pencemaran untuk kepentingan manusia di masa sekarang dan di masa mendatang mengingat pemulihan airtanah tersebut sulit dilakukan dan membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal perlindungan terhadap airtanah.

Maksud dari penelitian ini adalah memperkirakan kerentanan airtanah bebas terhadap pencemaran di daerah penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai dan distribusi masing – masing parameter kerentanan airtanah bebas terhadap pencemaran dengan metode APLIS, yaitu A (*Altitude*), P (*Slope*), L (*Litology*), I (*Infiltration zone*), dan S (*Soils*) di daerah penelitian; dan untuk mengetahui zonasi tingkat kerentanan airtanah bebas terhadap pencemaran di daerah penelitian.

Konsep kerentanan airtanah didasarkan pada asumsi bahwa kondisi fisik lingkungan memiliki tingkat perlindungan airtanah terhadap pencemaran (Vrba dan Zaporozec, 1994). Dalam hal ini, kerentanan yang dimaksud adalah sistem airtanah yang mampu melindungi airtanah dari pencemaran baik alami (*intrinsic*) maupun karena aktivitas manusia (*spesific*). Menurut Margat (1987; dalam Vrba dan Zaporozec, 1994), kerentanan airtanah dipengaruhi oleh faktor hidrogeologi yang pokok yaitu kedalaman muka airtanah, penyerapan cadangan permukaan, hubungan antara tanah dan air permukaan, dan rata – rata kecepatan aliran airtanah. Interpretasi kondisi hidrogeologi dalam hal kerentanan bersifat kualitatif dan tidak memasukkan komponen perpindahan polutan dari permukaan tanah ke airtanah. Sedangkan menurut Johnston (1988, dalam Vrba dan Zaporozec, 1994), kerentanan suatu akuifer terhadap pencemaran dari sumber pencemaran dikontrol oleh sistem aliran airtanah, kerangka hidrogeologi, dan faktor iklim.

Tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran pada media porus di suatu daerah diukur menggunakan metode seperti GOD, DRASTIC, dan lain – lain. Namun pada akuifer karbonat (material penyusunnya adalah batu gamping), metode – metode tersebut kurang dapat diterapkan. Hal ini disebabkan daerah karst yang memiliki kondisi geomorfologi dan sistem hidrologi yang berbeda. Metode APLIS adalah metode yang digunakan untuk mengukur imbuhan airtanah di daerah cekungan karst (Andreo, 2008). Metode ini menggunakan variabel – variabel yang memiliki kesamaan dengan metode pengukuran tingkat kerentanan yang

digunakan pada mediaporus. Adanya kesamaan variabel – variabel yang digunakan tersebut, maka metode APLIS dicobakan untuk mengukur nilai kerentanan airtanah terhadap pencemaran secara intrinsik sebagai asumsi tingkat perlindungan fisik akuifer terhadap pencemaran. Model kerentanan alami / intrinsik dengan metode APLIS menggunakan variabel – variabel fisik yang mampu menggambarkan kondisi airtanah akuifer.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei, yaitu pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengambilan sampel tanah di lapangan. Pengambilan sampel dilakukan dengan *purposive sampling method*. Pengambilan sampel bertujuan untuk memperoleh data tekstur tanah pada penentuan zona infiltrasi. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan menggunakan data – data yang telah ada atau telah dipublikasikan.

Peta ketinggian dan kemiringan dihasilkan dari peta Digital Rupa Bumi Indonesia lembar Wonosari, Karangduwet, dan Karangmojo skala 1:25.000 terbitan BAKOSURTANAL. Peta litologi dihasilkan dari peta Geologi lembar Yogyakarta skala 1:100.000 dan peta Digital Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 terbitan BAKOSURTANAL. Data zona infiltrasi diperoleh dari peta Tanah terbitan PUSLITANAK Bandung tahun 1994 skala 1:50.000 dan survei lapangan, sedangkan peta tanah diperoleh dari peta Tanah terbitan PUSLITANAK Bandung tahun 1994 skala 1:50.000 yang diubah ke dalam klasifikasi FAO.

Metode analisis yang digunakan adalah APLIS. Metode ini menggunakan lima variabel berdasarkan karakteristik geomorfologi dan hidrogeologi suatu wilayah. APLIS merupakan singkatan dari lima variabel yang digunakan dalam bahasa Spanyol, yaitu *altitud* (ketinggian), *pendiete* (kemiringan lereng), *litologia* (litologi), *infiltracion preferencial* (zona infiltrasi), dan *suelo* (tanah). masing-masing variabel dikelsakan dan diberi skor sesuai pengaruhnya terhadap tingkat kerentanan airtanah, sehingga tiap variabel tersebut memiliki nilai dan bobot sesuai dengan pengaruhnya terhadap kerentanan. Skor masing - masing variabel mempunyai interval 1 – 10, di mana nilai 1 mengindikasikan pengaruh yang kecil terhadap tingkat kerentanan, nilai 10 mempunyai pengaruh paling besar. Klasifikasi dan penentuan skor pada masing-masing variabel menurut Andreo,dkk (2008) adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi dan Skor Variabel Ketinggian (*Altitude*)

Ketinggian	Skor
≤ 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

Sumber : Andreo, dkk., 2004

Tabel 2. Klasifikasi dan Skor Variabel Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng		Skor
Persen (%)	Derajat (°)	
≤ 3%	≤ 1,35°	10

Lanjutan Tabel 2. Klasifikasi dan Skor Variabel Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng		Skor
Persen (%)	Derajat (°)	
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° (imbuan minimal dan tidak berubah)	1

Sumber : Andreo, dkk., 2004

Tabel 3. Klasifikasi dan Skor Variabel Litologi

Litologi / Batuan	Skor
Batugamping dan dolomit terkarstifikasi	9 – 10
Marmer dengan rekahan, gamping dan dolomite terkarstifikasi sedang	7 - 8
Batugamping dan dolomit bercelah	5 – 6
Pasir dan kerikil koluvial	4
Napal, breksi dan konglomerat	3
Batuan plutonik dan metamorf	2
Skis, slate, dan lempung	1

Sumber : Andreo, dkk, 2004

Tabel 4. Klasifikasi dan Skor Variabel Zona Infiltrasi

Tipe Tanah	Skor
Zona infiltrasi utama	10
Pasiran (<i>sands</i>)	9
Pasir debu, pasir berlempung (<i>silty sands, loamy sands</i>)	8
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

Lanjutan Tabel 4. Klasifikasi dan Skor Variabel Zona Infiltrasi

Tipe Tanah	Skor
Debu (<i>silt</i>)	4
Lempung pasir (<i>sandy clay</i>)	3
Lempung debu (<i>silty clay</i>)	2
Lempung (<i>clays</i>)	1

Sumber : Zunker, 1930, dalam Jamulya, 1993 dengan modifikasi

Tabel 5. Klasifikasi dan Skor Variabel Tanah

Tanah (S)	skor
<i>Lithosols</i>	10
<i>Albic Arenosols</i> dan <i>Calcic Xerosols</i>	9
<i>Rendzina</i> , <i>Calcareous Regosols</i> , dan <i>Fluvisols</i>	8
<i>Eutric</i> dan <i>Distric Regosols</i> , dan <i>Solonchaks</i>	7
<i>Calcic Cambisols</i>	6
<i>Eutric Cambisols</i>	5
<i>Eutric Histosols</i> , <i>Orthic</i> , dan <i>Calcic Luvisols</i>	4
<i>Chromic Luvisols</i>	3
<i>Planosols</i>	2
<i>Chromic Vertisols</i>	1

Sumber : Andreo, dkk., 2004

Kelima variabel APLIS yang telah memiliki nilai dan bobot masing – masing kemudian dilakukan tumpang susun (*overlay*) menggunakan persamaan :

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

Keterangan :

- V = Kerentanan (%)
- A = Ketinggian
- P = Kemiringan
- L = Litologi
- I = Zona Infiltrasi
- S = Tanah

Pada penghitungan nilai imbuhan, simbol imbuhan pada persamaan yang digunakan adalah R (*Recharge*), pada pengukuran nilai kerentanan ini diganti dengan huruf V yang menunjukkan kerentanan (*Vulnerability*). Nilai V merupakan penjumlahan skor variabel APLIS yang dibagi 0,9. Nilai 0,9 yang digunakan adalah asumsi bahwa persentase dari rata – rata hujan tahunan yang berpeluang menjadi imbuhan airtanah berkisar 8,8 % sampai 88,8 % (porositas sekunder di daerah karst) (Andreo, dkk., 2004). Hal ini berpengaruh pada tingkat kerentanan airtanah.

Tumpang susun kelima variabel menggunakan sistem informasi geografis, kemudian diklasifikasikan menurut klasifikasi tingkat kerentanan airtanah yang dibuat oleh Andreo, dkk (2004).

Tabel 6. Klasifikasi Tingkat Kerentanan

Nilai V (%)	Kelas
≤ 20	Sangat Rendah
20 – 40	Rendah
40 – 60	Sedang
60 – 80	Tinggi
80 – 100	Sangat Tinggi

Sumber : Andreo, dkk., 2004

Analisis data menggunakan metode deskriptif dan spasial. Metode deskriptif menggambarkan secara singkat mengenai kondisi daerah penelitian sesuai dengan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran, zonasi tingkat kerentanan, dan variabel – variabel yang mempengaruhi pada setiap tingkat kerentanan. Analisis data metode spasial menggambarkan persebaran tingkat kerentanan airtanah intrinsik di daerah penelitian berdasarkan peta tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian memiliki ketinggian antara 87,50 sampai 262,50 mdpal. Wilayah terendah terletak di Desa Wunung bagian barat dan wilayah tertinggi di Desa Mulo bagian selatan. Topografi daerah penelitian datar hingga berombak, merupakan bagian dari dataran tinggi (*plato*) selatan pulau Jawa berupa dataran nyaris (*penepelan*) yang mengalami pengangkatan dan perlipatan pada kala Pleistosen tengah yaitu sekitar 1 hingga 1.8 juta tahun yang lalu (Pannekoek, 1989). Berdasarkan klasifikasi APLIS, seluruh daerah penelitian masuk ke dalam kelas skor 1, yaitu ≤ 300 mdpal.

Kemiringan lereng daerah penelitian berkisar antara 0 hingga 21%, didominasi oleh kemiringan lereng 0-3%. Lereng dengan kelas kemiringan 3-8%, 8-16%, dan 16-21% terdapat di daerah bagian utara dan selatan. Kemiringan lereng 8-16% terdapat di bagian utara berbatasan dengan sungai Oyo, sedangkan daerah bagian selatan kemiringan lerengnya lebih bervariasi karena berbatasan dengan perbukitan gunungsewu. Daerah dengan tingkat kemiringan rendah menyebabkan air memiliki kesempatan untuk meresap ke dalam tanah, sedangkan pada daerah dengan tingkat kemiringan lebih tinggi air cenderung langsung mengalir ke tempat yang lebih rendah.

Formasi geologi di daerah penelitian meliputi formasi Wonosari (Tmwl), formasi Kepek (TmPk), dan formasi Oyo (Tmo). Daerah penelitian didominasi oleh material batugamping, meskipun terdapat material penyusun lainnya seperti napal, tuff, lempung, batupasir, dan breksi. Batugamping bersifat sulit untuk meluluskan air,

namun juga memiliki sifat yang mudah lapuk sehingga terdapat banyak retakan yang dapat menyebabkan nilai porositasnya meningkat. Hal ini menyebabkan batugamping dapat menyimpan dan melalukan air dalam jumlah yang banyak. Kenampakan eksokarst maupun endokarst menunjukkan bahwa di daerah daerah penelitian belum mengalami proses karstifikasi, namun di beberapa tempat telah menunjukkan adanya gejala karstifikasi. Gejala karstifikasi ditunjukkan dengan adanya ciri bentuklahan karst yang mulai terbentuk yaitu sifat aliran permukaan yang masuk ke dalam dan diikuti perkembangan *lapies* yang sangat halus (White, 1988; dalam Febriarta, 2011). Pembatasan daerah yang mengalami gejala karstifikasi dan yang belum mengalami gejala karstifikasi dilakukan berdasarkan kenampakan ciri bentuklahan yang mulai terbentuk, yaitu aliran sungai permukaan yang tiba – tiba hilang atau tertelan. Daerah yang tidak terdapat banyak sungai permukaan menunjukkan bahwa daerah tersebut mengalami gejala karstifikasi sehingga masuk ke dalam klasifikasi batugamping terkarstifikasi sedang.

Zona infiltrasi diklasifikasikan berdasarkan zona infiltrasi utama dan zona infiltrasi lain. Zona infiltrasi utama adalah zona penyerapan air secara dominan yang terdapat di kawasan karst, sedangkan zona infiltrasi lain adalah zona penyerapan air yang tidak berlangsung secara dominan yang diklasifikasikan berdasarkan permeabilitas tanah yang ditentukan menurut tekstur tanah. Daerah penelitian memiliki satu zona infiltrasi utama, yaitu ponor yang terdapat di Desa Mulo yang bernama Ngingrong, sedangkan untuk

zona infiltrasi lain meliputi tekstur tanah geluh (*loam*), lempung debuan (*Silty clay*), geluh debuan (*silty loam*), dan geluh lempung debuan (*silty clay loam*).

Klasifikasi tanah dalam metode APLIS menggunakan klasifikasi berdasarkan *Food and Agriculture Organization* (FAO). Tanah di daerah penelitian terdiri dari *Lithosols*, *Dystric Regosols*, *Rendzina*, *Eutric Cambisols*, *Calcic Cambisols*, dan *Cromic Vertisols*. Tanah *Lithosols* dan *Distric Regosols* terdapat di bagian selatan daerah penelitian, sedangkan *Rendzina*, *Calcic Cambisols*, *Eutric Cambisols*, dan *Cromic Vertisols* tersebar merata dari bagian utara hingga selatan daerah penelitian.

Hasil olah data tumpangsusun menunjukkan bahwa tingkat kerentanan di daerah penelitian berkisar antara 20-60 %. Berdasarkan klasifikasi tingkat kerentanan airtanah menurut Andreodkk (2008), daerah penelitian memiliki tingkat kerentanan rendah hingga sedang. Distribusi tingkat kerentanan airtanah rendah lebih banyak terdapat di daerah bagian utara. Daerah ini merupakan daerah dengan litologi berupa batugamping bercelah, zona infiltrasinya adalah zona infiltrasi lain yang meliputi tekstur tanah geluh lempung debuan dan lempung debuan, dan pada tanah *Cromic Vertisols*, *Eutric Cambisols*, *Rendzina*, dan *Calcic Cambisols*. Tingkat kerentanan airtanah sedang mendominasi hampir seluruh bagian daerah penelitian. Daerah dengan tingkat kerentanan airtanah sedang berada pada litologi batugamping yang bercelah dan batugamping terkarstifikasi. Variabel zona infiltrasinya meliputi zona infiltrasi utama dan zona infiltrasi lain dengan tekstur tanah geluh lempung debuan, lempung debuan, geluh, dan geluh

debuhan, serta jenis tanahnya meliputi *Cromic Vertisols*, *Litosols*, *Rendzina*, *Distric Regosols*, *Calcic Cambisols*, dan *Eutric Cambisols*.

Tabel 1. Sebaran Kelas Kerentanan Airtanah (V) dan Luas Area

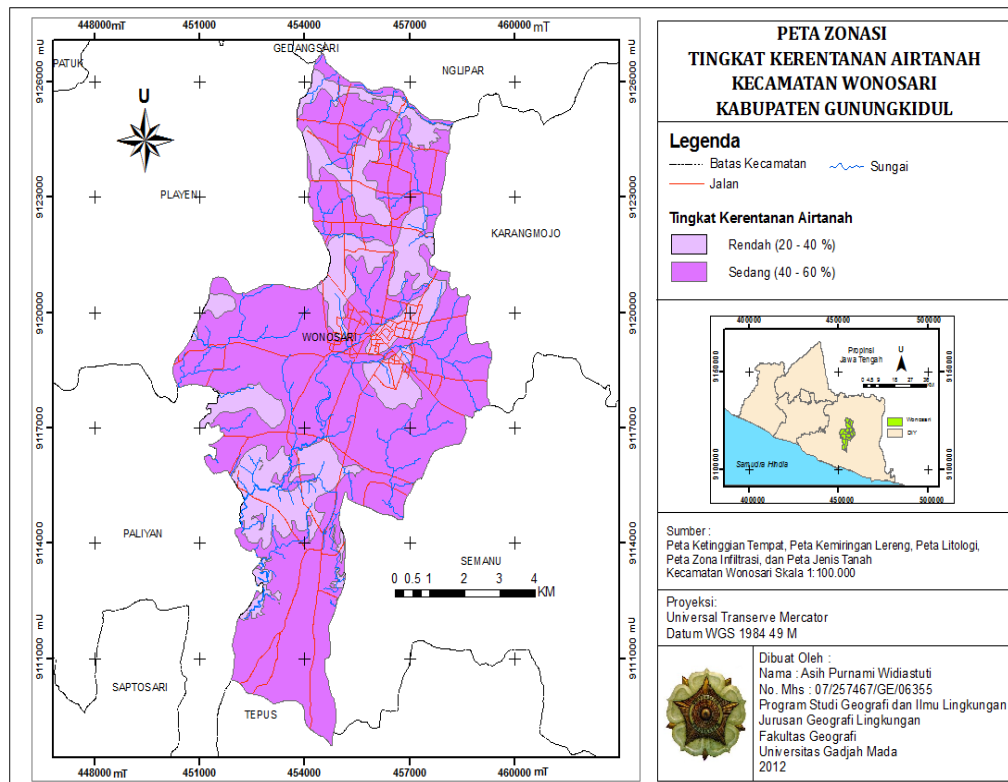
No.	V (%)	Kelas V	Luas (km ²)	Sebaran (Desa)
1.	20-40	Rendah	19,3	Gari, Karangtengah, Piyaman, Kepek, Wonosari, Selang, Pulutan, Siraman, Baleharjo, Karangrejek, Wareng, Duwet, Wunung, Mulo
2.	40-60	Sedang	55,6	Gari, Karangtengah, Piyaman, Kepek, Wonosari, Selang, Pulutan, Siraman, Baleharjo, Karangrejek, Wareng, Duwet, Wunung, Mulo
JUMLAH			74,9	

Sumber : Hasil Analisis, 2012

Kontribusi masing-masing variabel APLIS terhadap tingkat kerentanan airtanah berbeda-beda. Variabel yang memiliki kontribusi rendah adalah variabel ketinggian tempat, variabel yang memiliki kontribusi sedang meliputi zona infiltrasi dan jenis tanah, sedangkan variabel yang memiliki kontribusi tinggi adalah kemiringan lereng dan litologi.

Daerah penelitian oleh kelas kemiringan 0 – 3 % dengan skor 10. Hal ini menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki topografi yang landai, sehingga air mengalami infiltrasi lebih banyak daripada aliran permukaan (*runoff*). Semakin banyak air yang terinfiltrasi, maka semakin besar peluang polutan untuk masuk ke dalam airtanah, peluang untuk tercemar menjadi semakin tinggi. Batugamping merupakan batuan

yang mendominasi daerah penelitian meskipun terdapat material penyusun lainnya seperti tuff, napal, lempung, batupasir, dan breksi. Batugamping memiliki porositas sekunder menyebabkan air mudah masuk ke dalam tanah melalui celah – celah batuan tersebut.



Gambar 1. Peta Zonasi Tingkat Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Daerah Penelitian

KESIMPULAN

Nilai dan distribusi masing – masing variabel kerentanan airtanah terhadap pencemaran di daerah penelitian berbeda – beda. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi

geomorfologi, geologi, dan kondisi tanah.

Zonasi kerentanan airtanah terhadap pencemaran di daerah penelitian dengan metode APLIS terbagi menjadi dua nilai kerentanan, yaitu rendah (21–40%)

dan sedang (41-60). Nilai kerentanan airtanah rendah meliputi daerah penelitian dengan luas sebesar 25,82 % dari luas total, mendominasi daerah penelitian bagian utara dan sebagian tersebar di bagian selatan daerah penelitian. Nilai kerentanan airtanah sedang adalah tingkat kerentanan airtanah yang paling mendominasi daerah penelitian (74,18 % dari luas total) yang tersebar merata di daerah penelitian. Variabel yang berpengaruh dalam zonasi tingkat kerentanan airtanah adalah zona infiltrasi dan kondisi tanah.

terhadap Pencemaran (Studi Kasus: Kecamatan Pengasih Kabupaten Kulonprogo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta). *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Vrba, J. dan Zoporozec, A., 1994. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. Hannover : International Association of Hydrogeologist.

DAFTAR PUSTAKA

Andreo B., Vias, J., Durán, J.J., Jiménez, P., López-Geta, J. A., Carrasco, F. (2008). Methodology for Groundwater Recharge Assessment in Carbonate Aquifer: Application to Pilot Sites in Southern Spain. *Hydrogeologi Journal*, 2008(16), 911-925.

Febriarta, E. 2011. Sistem Drainase Karst Basin Wonosari. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Jamulya (1993). Pengantar Geografi Tanah. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Pannekoek, A.J. 1989. *Outline of The Geomorphology of Java, Garis Besar Geomorfologi Pulau Jawa*, Alih Bahasa Budio Basri. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Tivianton, T.A. 2008. Evaluasi Model Kerentanan Airtanah Bebas