

Kajian Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemar Di Daerah Aliran Sungai Serang

Ardian Abdillah
: ardianabdillah@gmail.com
Tjahyo Nugroho Adji**
adjie@ugm.ac.id

Abstract

Serang Watershed has heterogeneous characteristics, so the vulnerability to pollutants in it varies. This study aims to determine intrinsic and specific groundwater vulnerability levels to pollution. The research methods used are DRASTIC method (intrinsic vulnerability) and Susceptibility Index (specific vulnerability). Validation is done by comparing the level of vulnerability with the results of groundwater quality testing (nitrate). Intrinsic and specific groundwater vulnerability has five classes of vulnerability: very low, low, medium, high, and very high. Intrinsic groundwater vulnerability has the width of each class respectively, very low 4185 Ha, low 7114 Ha, medium 4227 Ha, high 5251 Ha, and very high 914 Ha. Specific groundwater vulnerability has the width of each class respectively, very low 4388 Ha, low 4892 Ha, medium 3634 Ha, high 4686 ha, and very high 4091 Ha. The validation results show that the DRASTIC method have 47 % accuracy and SI method have 60 % accuracy.

Keywords : Serang watershed, Groundwater vulnerability, DRASTIC, SI

Abstrak

DAS Serang memiliki karakteristik yang heterogen, sehingga tingkat kerentanan wilayah terhadap pencemarnya juga beragam. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik terhadap pencemaran. Metode penelitian yang digunakan adalah metode DRASTIC (kerentanan intrinsik) dan Susceptibility Index (kerentanan spesifik). Validasi dilakukan dengan membandingkan tingkat kerentanan dengan hasil pengujian kualitas airtanah (nitrat). Kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik memiliki lima kelas kerentanan, yaitu : sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kerentanan airtanah intrinsik memiliki luasan tiap kelas kerentanan berturut – turut, sangat rendah 4185 Ha, rendah 7114 Ha, sedang 4227 Ha, tinggi 5251 Ha, dan sangat tinggi 914 Ha. Kerentanan airtanah spesifik memiliki luasan tiap kelas kerentanan berturut – turut, sangat rendah 4388 Ha, rendah 4892 Ha, sedang 3634 Ha, tinggi 4686 Ha, dan sangat tinggi 4091 Ha. Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil metode DRASTIC memiliki tingkat akurasi 47 % dan metode SI 60 %.

Kata Kunci : DAS Serang, Kerentanan Intrinsik, Kerentanan Spesifik, DRASTIC, Susceptibility Index

PENDAHULUAN

Pembangunan yang dilakukan seringkali tidak memperhatikan aspek ekologis dan kelestarian lingkungan. Artinya, pembangunan terus saja dilakukan untuk mendapatkan keuntungan secara ekonomis tanpa memikirkan dampak kerusakan terhadap lingkungan yang timbul dikemudian hari. Kegiatan pembangunan yang tidak disertai dengan upaya pengelolaan dan pelestarian menyebabkan munculnya berbagai permasalahan kerusakan lingkungan khususnya pencemaran airtanah. Terjadinya pencemaran airtanah diakibatkan oleh kegiatan – kegiatan yang menghasilkan zat pencemar atau limbah sehingga mempengaruhi kualitas airtanah. Pencemaran airtanah akan berdampak pada ketersediaan air bersih yang terus menurun tiap tahunnya. Air bersih merupakan salah satu kebutuhan pokok makhluk hidup yang ada di bumi khususnya manusia. Kebutuhan akan air bersih akan terus meningkat seiring meningkatnya jumlah penduduk serta intensitas pembangunan yang terus dilakukan, sedangkan ketersediaannya semakin menurun. Pencemaran airtanah yang tidak terkontrol dapat menjadikan sumberdaya airtanah tidak dapat berfungsi lagi sebagai pemenuh kehidupan masyarakat, baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya.

Daerah Aliran Sungai Serang memiliki karakteristik yang heterogen ditinjau dari unsur – unsur fisik seperti geologi, geomorfologi, tanah, bentuklahan, dan penggunaan lahan. Keberagaman karakteristik tersebut berhubungan erat dengan keberagaman kemampuan tiap unsur fisik dalam menahan pencemaran airtanah yang terjadi. Selain itu, intensitas pembangunan dan aktivitas manusia menyesuaikan pada kondisi dan karakteristik wilayah tersebut, sehingga menyebabkan adanya perbedaan pula pada tingkatan sumber pencemar, beban pencemar, dan tingkat paparan pencemar sehingga sangat berpengaruh pada

perbedaan tingkat kerentanan wilayah terhadap pencemar yang sangat beragam. Sebagaimana dijelaskan pada Peraturan Daerah Kabupaten Kulonprogo No. 16 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah tahun 2005 – 2025, kegiatan – kegiatan yang saat ini masih dilakukan dan bersifat merusak sumberdaya airtanah meliputi :

1. Kegiatan pertanian yang menggunakan pupuk dan pestisida anorganik secara berlebihan;
2. Kegiatan penambangan emas di Kecamatan Kokap dan penambangan pasir di pantai selatan yang tidak ramah lingkungan;
3. Kegiatan industri yang terus menerus membuang limbah tanpa adanya pengolahan air limbah terlebih dahulu; dan
4. Kegiatan penangkapan ikan dengan menggunakan racun.

Jika kegiatan – kegiatan tersebut terus dilakukan secara berlebihan tanpa adanya kontrol dari pemerintah dan masyarakat, maka akan menyebabkan kerusakan sumberdaya airtanah yang tidak dapat dihindari.

Penelitian yang berjudul Kajian Kerentanan Airtanah terhadap Pencemar di DAS Serang sebagai salah satu sarana mitigasi untuk mengetahui daerah mana saja di DAS Serang yang airtanahnya rentan terhadap pencemaran, sehingga dapat dirumuskan solusi untuk melindungi, melestarikan, dan menjaga kondisi airtanah dari pencemaran yang akan terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik terhadap pencemaran di DAS Serang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan dan digunakan oleh pemerintah untuk membentuk kebijakan dan langkah konservasi serta pengelolaan airtanah yang baik dan terpadu.

METODE PENELITIAN

Kajian kerentanan airtanah dilakukan dengan menggunakan metode *DRASTIC* dan metode *Susceptibility Index* (SI), sehingga data dan parameter yang digunakan masing – masing secara berurutan dijabarkan pada Tabel 1 untuk parameter *DRASTIC* dan Tabel 2 untuk parameter *Susceptibility Index* (SI).

Tabel 1 Parameter *DRASTIC*

Parameter	Akronim	Bobot
Kedalaman muka airtanah	D	5
Imbuan airtanah	R	4
Media akuifer	A	3
Tanah	S	2
Kemiringan lereng	T	1
Dampak zona tak jenuh	I	5
Konduktivitas hidraulik	C	3

Sumber : Aller et al. (1987)

Tabel 2 Parameter *Susceptibility Index* (SI)

Parameter	Akronim	Bobot
Kedalaman muka airtanah	D	0.186
Imbuan airtanah	R	0.212
Media akuifer	A	0.259
Kemiringan lereng	T	0.121
Penggunaan lahan	LU	0.222

Sumber : Ribeiro (2000) dalam Bartzas, *et al.* (2015)

Data kedalaman muka airtanah didapatkan dengan pengukuran di lapangan Data tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1 untuk memperoleh nilai tiap unit analisis satuan pemetaan lahan. Rentang dan nilai (*rating*) pada tiap kedalaman muka airtanah dirinci pada Tabel 3 untuk *DRASTIC* dan Tabel 4 untuk SI.

Tabel 3 Rentang dan *rating* kedalaman muka airtanah (*DRASTIC*)

Kedalaman Airtanah (m)	
Rentang	Rating
0-1,5	10
1,5-3	9
3-9	7

9-50	5
15-75	3
22-30	2
>30	1

Sumber : Aller et al. (1987)

Tabel 4 Rentang dan *rating* kedalaman muka airtanah (SI)

Kedalaman Muka Airtanah (m)	
Rentang	Nilai
< 1,5	100
1,5 – 4,6	90
4,6 – 9,1	70
9,1 – 15,2	50
15,2 – 22,9	30
22,9 – 30,5	20
> 30,5	10

Sumber : Ribeiro (2000) dalam Bartzas, *et al.* (2015)

Imbuan airtanah didapatkan dengan mengolah data curah hujan rerata tahunan yang didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Analisis imbuan airtanah (*DRASTIC*) dilakukan berdasarkan dua tahap yaitu analisis hujan wilayah dan klasifikasi imbuan airtanah. Analisis imbuan airtanah (SI) dilakukan dengan analisis koefisien imbuan airtanah terlebih dahulu Tabel 6. Analisis tersebut dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1. Analisis hujan wilayah dihitung tiap unit analisis satuan pemetaan lahan. Hujan wilayah diklasifikasikan dan diberi nilai sesuai pada Tabel 5 untuk *DRASTIC* dan Tabel 7 untuk SI.

Tabel 5 Rentang dan *rating* imbuan airtanah (*DRASTIC*)

Curah hujan (mm)	
Rentang	Rating
0-1500	2
1500-2000	4
2000-2500	6
2500-3000	8
>3000	10

Sumber : Aller et al. (1987)

Tabel 6 Koefisien imbuhan airtanah berdasarkan perlapisan batuan (SI)

Unit Litologi	Koefisien (%)
Batuan kedap air	10-20
Alluvial dan endapan piroklastik	60
Lava	80
Batu pasir – lempung – endapan lempung dan gamping	20
Batu gamping	90
Piroklastik	40

Sumber : Dragoni dan Sukhija (2008)

Tabel 7 Rentang dan *rating* imbuhan airtanah (SI)

Imbuhan Airtanah (mm)	
Rentang	Nilai
<51	10
51 – 102	30
102 – 178	60
178 – 254	80
>254	90

Sumber : Ribeiro (2000) dalam Bartzas, *et al.* (2015)

Analisis media akuifer didapatkan melalui dua tahapan, yaitu analisis hasil pengukuran geolistrik dan analisis jenis material akuifer. Analisis hasil pengukuran geolistrik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak IP2WIN. Rentang dan nilai (*rating*) pada tiap jenis material penyusun akuifer dirinci pada Tabel 8 untuk DRASTIC dan Tabel 9 untuk SI. Analisis media akuifer dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1.

Tabel 8 Rentang dan *rating* media akuifer (DRASTIC)

Media Akuifer		
Media Akuifer	Rentang	<i>Rating</i>
Shale masif	1-3	2
Metamorf/Beku	2-5	3
Lapukan metamorf/beku	3-5	4
Batupasir, batugamping dan shale	5-9	6
Batupasir masif	4-9	6

Batugamping masif	4-9	6
Pasir dan kerikil	4-9	8
Basal	2-10	9
Batugamping karst	9-10	10

Sumber : Aller *et al.* (1987)

Tabel 9 Rentang dan *rating* media akuifer (SI)

Media akuifer	Nilai
Shale masif	20
Batuan metamorf/beku	30
Batuan metamorf/beku lapuk	40
Endapan glasial	50
Lapisan batu pasir, batu gamping, lapisan shale	60
Batu pasir masif	60
Batu gamping masif	80
Pasir dan kerikil	80
Basal	90
Batu gamping karst	100

Sumber : Ribeiro (2000) dalam Bartzas, *et al.* (2015)

Data tekstur tanah didapatkan melalui hasil uji laboratorium. Analisis hasil uji laboratorium diolah dengan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1. Klasifikasi tanah yang digunakan merujuk pada Tabel 10.

Tabel 10 Rentang dan *rating* tanah

Media Tanah	
Media Akuifer	<i>Rating</i>
Kerikil	10
Pasir	9
Gambut	8
Agregat Lempung	7
Geluh berpasir	6
Geluh	5
Geluh berdebu	4
Geluh berlempung	3
Muck	2
Lempung Non-Agregat	1

Sumber : Aller *et al.* (1987)

Data kemiringan lereng didapatkan melalui pemrosesan data elevasi yang didapatkan dari Peta Rupabumi Indonesia. Analisis kemiringan lereng diolah dengan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1. Klasifikasi kemiringan lereng yang

digunakan merujuk pada Tabel 11 untuk DRASTIC dan Tabel 12 untuk SI.

Tabel 11 Rentang dan *rating* kemiringan lereng (DRASTIC)

Kemiringan Lereng (%)	
Rentang	Rating
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Sumber : Aller et al. (1987)

Tabel 12 Rentang dan *rating* kemiringan lereng (SI)

Kemiringan Lereng (%)	
Rentang	Nilai
<2	100
2 – 6	90
6 – 12	50
12 – 18	30
>18	10

Sumber : Ribeiro (2000) dalam Bartzas, *et al.* (2015)

Zona tak jenuh dan konduktivitas hidraulik didapatkan melalui interpretasi hasil geolistrik dan log bor. Rentang dan nilai (*rating*) pada tiap media zona tak jenuh dirinci pada Tabel 13 dan konduktivitas hidraulik pada Tabel 14. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1

Tabel 13 Rentang dan *rating* zona tak jenuh

Media Zona Tak Jenuh		
Media	Rentang	Rating
Lempung / Debu	1-2	1
Shale	2-5	3
Batugamping	2-7	6
Batupasir	4-8	6
Perlapisan batugamping, batupasir dan shale	4-8	6
Pasir dan kerikil dengan kandungan debu dan lempung	4-8	6
Metamorf/beku	2-8	4

Pasir dan kerikil	6-9	8
Basalt	2-10	9
Batugamping karst	8-10	10

Sumber : Aller et al. (1987)

Tabel 14 Rentang dan *rating* konduktivitas hidraulik

Konduktivitas Hidraulik (m/hari)	
Rentang	Rating
0 – 0,86	1
0,86 – 2,59	2
2,59 – 6,05	4
6,05 – 8,64	6
8,64 – 17,18	8
>17,18	10

Sumber : Aller et al. (1987)

Data penggunaan lahan didapatkan melalui proses interpretasi dan digitasi terhadap Citra Google Earth tahun 2016. Nilai (*rating*) pada tiap penggunaan lahan dirinci pada Tabel 15. Analisis konduktivitas hidraulik dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc GIS 10.1.

Tabel 15 Rentang dan *rating* penggunaan lahan

Penggunaan lahan	Nilai
Area pertanian	
Tanaman semusim, sawah	90
Tanaman permanen	70
Area pertanian heterogen	50
Padang penggembalaan dan area agroforestri	50
Area buatan	
Industri penghasil limbah, area pembuangan sampah	100
Arae tambang, galangan kapal, penambangan terbuka	80
Area perkotaan, bandara, pelabuhan, stasiun kereta api, area aktivitas industri dan comersial, ruang terbuka hijau	75
Area semi urban	70
Area alami	
Ekosistem perairan (rawa, laguna, zona pasang surut)	50
Hutan dan zona semi alami	0
Badan perairan	0

Sumber : Ribeiro (2000) dalam Bartzas, *et al.* (2015)

Analisis kerentanan airtanah didapatkan melalui hasil *overlay* seluruh parameter tiap metode (DRASTIC dan SI). Indeks DRASTIC untuk suatu area dihitung dengan formula operasi :

$$\text{Indeks DRASTIC} = DwDr + RwRr + AwAr + SwSr + TwTr + IwIr + CwCr$$

Indeks SI dihitung dengan formula :

$$\text{Susceptibility Index (SI)} = DwDr + RwRr + AwAr + TwTr + LUwLUr$$

Dimana w = bobot dan r = *rating*. Semakin tinggi indeks kerentanan, semakin tinggi potensi airtanah untuk terkontaminasi. Klasifikasi tingkat kerentanan terhadap pencemar dilakukan sesuai dengan metode statistika dalam bentuk tabel frekuensi distribusi. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Rentang} = X_{\text{maximum}} - X_{\text{minimum}}$$

$$\text{Interval Kelas} = \text{Rentang} / \text{Jumlah Kelas}$$

Analisis kerentanan ini menggunakan 5 kelas kerentanan yaitu : sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Secara rinci klasifikasi kelas kerentanan berdasarkan rumus yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 16 untuk DRASTIC dan Tabel 17 untuk SI.

Tabel 16 Klasifikasi kerentanan airtanah metode DRASTIC

Kelas Kerentanan	Sangat Rendah	Rendah
Index	< 119	119 – 137
Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
137– 155	155 – 173	>173

Tabel 17 Klasifikasi kerentanan airtanah metode SI

Kelas Kerentanan	Sangat Rendah	Rendah
Index	< 47.96	47.96 – 57.08
Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
57.08 – 66.19	66.19 – 75.31	> 75.31

Analisis kualitas airtanah dilakukan sebagai sarana validasi. Ada dua tahapan yang dilakukan dalam analisis kualitas

airtanah, yaitu : pengambilan sampel airtanah di lapangan dan analisis laboratorium. Kadar pencemar yang diuji dalam analisis kualitas airtanah adalah kandungan nitrat (NO_3^-). Hasil uji laboratorium kandungan nitrat dibandingkan dengan klasifikasi kadar nitrat (Tabel 18). Kualitas airtanah berdasarkan kadar nitrat dipetakan dengan bantuan perangkat lunak Arc GIS 10.1

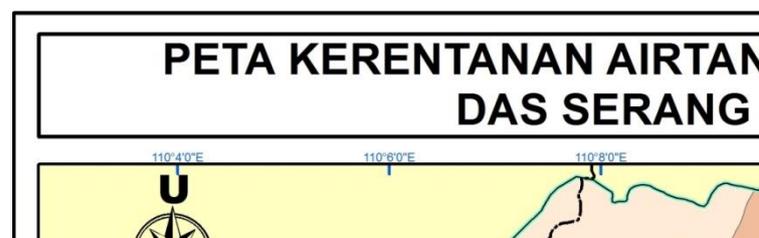
Tabel 18 Klasifikasi kadar nitrat

Kelas	Sangat Rendah	Rendah
Kadar Nitrat (mg/L)	< 5	< 5
Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
5 – 10	> 10	> 10

Sumber : Riyanto (2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan peta kerentanan metode *DRASTIC* yang dihasilkan (Gambar 1), menunjukkan bahwa DAS Serang memiliki 5 tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemar (sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi). Terlihat pada Tabel 19 bahwa tingkat kerentanan sangat rendah seluas 4185 Ha tersebar di tiga kecamatan, yaitu : Kecamatan Kokap, Kecamatan Nanggulan, dan Kecamatan Girimulyo. Ada satu kesamaan dari ketiga lokasi tersebut, kesamaan itu adalah letaknya yang berada di wilayah puncak perbukitan. Wilayah puncak perbukitan yang memiliki ketinggian elevasi yang tinggi dan masih asri (minim dari segala aktivitas dan campur tangan manusia) sangat berpengaruh terhadap tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemar. Berdasarkan Tabel 20, kedalaman muka airtanah di daerah tersebut tergolong sangat dalam



(rata – rata berkisar 9 – 20 m) sehingga tingkat paparan terhadap pencemarnya pun semakin rendah. Selain itu, kemiringan lerengnya yang tergolong curam (rata – rata berkisar >18 %) juga mempengaruhi tingkat kerentanan airtanahnya. Kemiringan yang curam tersebut membuat air semakin sulit meresap ke dalam tanah, air akan lebih mudah menjadi aliran permukaan (*overland flow*). Ketika air membawa zat pencemar di dalamnya, maka zat pencemar tersebut cenderung akan ikut terbawa aliran air permukaan menuju daerah yang lebih datar dan landai sehingga akuifer di daerah dengan kemiringan curam tersebut akan sulit terkontaminasi oleh suatu zat pencemar.

Tabel 19 Luas (Ha) tiap kelas kerentanan airtanah (DRASTIC)

Tingkat Kerentanan	Luas (Ha)	Kecamatan
Sangat Rendah	4185	Kokap, Nanggulan, Girimulyo
Rendah	7114	Kokap, Nanggulan, Girimulyo
Sedang	4227	Kokap, Temon, Wates, Pengasih
Tinggi	5251	Temon, Wates, Panjatan, Pengasih
Sangat Tinggi	914	Temon, Wates, Panjatan

Tabel 20 Karakteristik tiap kelas kerentanan airtanah (DRASTIC)

Tingkat Kerentanan	Parameter		
	D (m)	R (mm)	A
Sangat Rendah	3 – 9	1900 – 2300	Batu gamping, batu pasir, andesit
Rendah	1,5 – 3	1900 – 2100	Batu gamping, batu pasir, andesit
Sedang	1,5 – 3	1513 – 2100	Batu gamping, batu pasir, pasir, kerikil
Tinggi	0 – 1,5	1513 – 2100	Pasir, kerikil
Sangat Tinggi	1,5 – 3	1513 – 2100	Pasir, kerikil

Parameter			
S	T (%)	I	C (m /hari)
Geluh, geluh berlempung, geluh berpasir	> 18	Batu gamping, batu pasir, andesit	0 - 0,86
Geluh, geluh berlempung, geluh berpasir	12 - 18, >18	Batu gamping, batu pasir, andesit	0,86 - 2,59
Geluh, geluh berlempung, geluh berpasir	2 - 6, 6 - 12	Batu gamping, batu pasir, aluvium, lempung	0,86 - 2,59
Lempung	< 2	Aluvium, lempung	2,59 - 6,05
Pasir	< 2	Pasir, kerikil	6,05 - 8,64

Tingkat kerentanan rendah seluas 7114 Ha tersebar pada tiga kecamatan yang sama, yaitu : Kecamatan Kokap, Kecamatan Nanggulan, dan Kecamatan Girimulyo. Daerah dengan tingkat kerentanan rendah berada mengelilingi di sekitar daerah dengan tingkat kerentanan sangat rendah. Tingkat kerentanan rendah di Kecamatan Kokap jika dibandingkan dengan tingkat kerentanan sangat rendah, disebabkan oleh faktor kedalaman muka airtanah yang dangkal (rata – rata berkisar 0 – 1,5 m). Tingkat kerentanan rendah di Kecamatan Nanggulan disebabkan oleh faktor kemiringan lereng yang lebih landai (rata – rata berkisar 0 – 12%) dan faktor curah hujan yang lebih kecil (rata – rata berkisar 1700 – 2100 mm). Tingkat kerentanan rendah di Kecamatan Girimulyo disebabkan oleh faktor media akuifer, zona tak jenuh, dan konduktivitas hidrauliknya.

Tingkat kerentanan sedang seluas 4227 Ha tersebar pada empat kecamatan, yaitu : Kecamatan Kokap, Kecamatan Temon, Kecamatan Wates, dan Kecamatan Pengasih. Tingkat kerentanan sedang di Kecamatan Kokap berada di bagian selatan yang berbatasan langsung dengan

Kecamatan Temon. Tingkat kerentanan sedang di Kecamatan Temon berada di bagian utara yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Kokap. Tingkat kerentanan sedang di Kecamatan Pengasih berada di bagian tengah dan selatan yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Wates. Tingkat kerentanan sedang di Kecamatan Wates berada di bagian utara yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Pengasih. Daerah dengan tingkat kerentanan sedang tersebut dipengaruhi oleh faktor curah hujan yang cukup rendah hingga sedang (berkisar 1700 – 2100 mm), faktor konduktivitas hidraulik yang cukup lambat dan sedang (berkisar 0,86 – 2,59 m/hari), dan faktor kedalaman muka airtanah yang cukup dangkal (berkisar 0 – 3 m).

Tingkat kerentanan tinggi seluas 5251 Ha tersebar pada empat kecamatan, yaitu : Kecamatan Panjatan, Kecamatan Temon, Kecamatan Wates, dan Kecamatan Pengasih. Tingkat kerentanan tinggi berada sedikit di bagian selatan Kecamatan Pengasih dan banyak berada di Kecamatan Wates, Temon, dan Panjatan. Tingkat kerentanan tinggi sangat dipengaruhi oleh faktor kedalaman muka airtanah yang dangkal (berkisar 0 – 1,5m), faktor kemiringan lereng yang landai (berkisar <2%), faktor tekstur tanah geluh berpasir, serta jenis material dari akuifer (pasir dan kerikil) dan zona tak jenuh (aluvium). Sebenarnya, analisis kerentanan dengan metode *DRASTIC* tidak memperhatikan secara langsung keterlibatan aktivitas manusia yang berpengaruh besar pada tingkat kerentanan terhadap pencemar, tetapi hanya dari parameter / faktor pengaruh fisik saja. Akan tetapi, berdasarkan dari peta kerentanan yang dihasilkan tersebut (Gambar 1), menunjukkan bahwa daerah dengan tingkat kerentanan tinggi sangat berasosiasi dan berhubungan dengan lokasi permukiman, aktivitas manusia, dan kepadatan penduduknya. Kecamatan Wates yang merupakan ibukota kecamatan

dari Kabupaten Kulonprogo tentu memiliki jumlah penduduk yang lebih banyak daripada Kecamatan lainnya serta aktivitas manusianya yang tentu sangat aktif. Kecamatan di sekitarnya yaitu Kecamatan Temon dan Kecamatan Panjatan tentu ikut terkena dampak dari padatnya penduduk dan aktifnya aktivitas manusia yang terjadi di Kecamatan Wates. Keberadaan manusia tentu tidak lepas dari limbah dan zat pencemar airtanah yang dihasilkannya, sehingga hal inilah yang menyebabkan ketiga kecamatan tersebut tergolong ke dalam tingkat kerentanan yang tinggi.

Tingkat kerentanan sangat tinggi seluas 914 Ha tersebar pada tiga kecamatan, yaitu : Kecamatan Temon, Kecamatan Wates, dan Kecamatan Panjatan. Ketiga kecamatan tersebut tepatnya berada di wilayah pesisir bagian selatan ketiga kecamatan tersebut. Faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kerentanan sangat tinggi di ketiga kecamatan tersebut antara lain faktor kemiringan lereng yang datar (berkisar <2%), tekstur tanah berupa pasir, material penyusun akuifer dan zona tidak jenuh berupa pasir dan kerikil, serta konduktivitas hidrauliknya yang tergolong cepat (berkisar 6,05 – 8,64 m/hari). Wilayah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi di ketiga kecamatan ini berada di pesisir dan pantai yang merupakan daerah pariwisata sehingga aktivitas manusia dan limbah yang dihasilkan di dalamnya sangat tinggi. Selain itu, lokasi dari bandara yang dibangun juga berada di daerah dengan tingkat kerentanan yang tergolong sangat tinggi, artinya lokasi tersebut sangat mudah sekali terjadi pencemaran. Jika proses pengelolaan limbahnya tidak dilakukan dengan baik, maka akan sangat berdampak buruk pada lingkungan, sektor pariwisata, dan paling penting berdampak kepada kesehatan masyarakat yang berada di sekitar bandara. Oleh karena itu, perlu adanya tindakan mitigasi agar pencemaran yang akan terjadi dapat diminimalisir.

Berdasarkan peta kerentanan metode *SI* yang dihasilkan (Gambar 2), menunjukkan bahwa DAS Serang memiliki 5 tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemar (sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi). Berdasarkan Tabel 21, kerentanan sangat rendah metode *SI* seluas 4388 Ha tersebar dominan hanya di dua kecamatan, yaitu : Kecamatan Kokap dan Kecamatan Nanggulan. Keduanya sama - sama terletak di wilayah puncak perbukitan. Wilayah puncak perbukitan yang memiliki karakteristik kedalaman muka airtanah yang dalam, kemiringan lereng yang terjal, dan penggunaan lahan masih berupa hutan dan zona semi alami membuat lokasi tersebut masih asri dan minim dari segala aktivitas dan campur tangan manusia sehingga sangat berpengaruh terhadap tingkat kerentanan airtanahnya yang sangat rendah. Airtanah di tingkat kerentanan ini memiliki kedalaman yang beragam rata - rata berkisar 1,5 – 15,2 m dengan imbuan rata - rata antara 250 – 512 mm / tahun. Selain itu, kemiringan lerengnya yang tergolong curam (rata - rata berkisar >18 %) sehingga mempengaruhi tingkat kerentanan airtanahnya yang sangat rendah.

Tabel 21 Luas (Ha) tiap kelas kerentanan airtanah (SI)

Tingkat Kerentanan	Luas (Ha)	Kecamatan
Sangat Rendah	4388	Kokap, Girimulyo
Rendah	4892	Kokap, Girimulyo, Pengasih
Sedang	3634	Kokap, Pengasih, Nanggulan
Tinggi	4686	Temon, Wates, Panjatan, Pengasih
Sangat Tinggi	4091	Temon, Wates, Panjatan

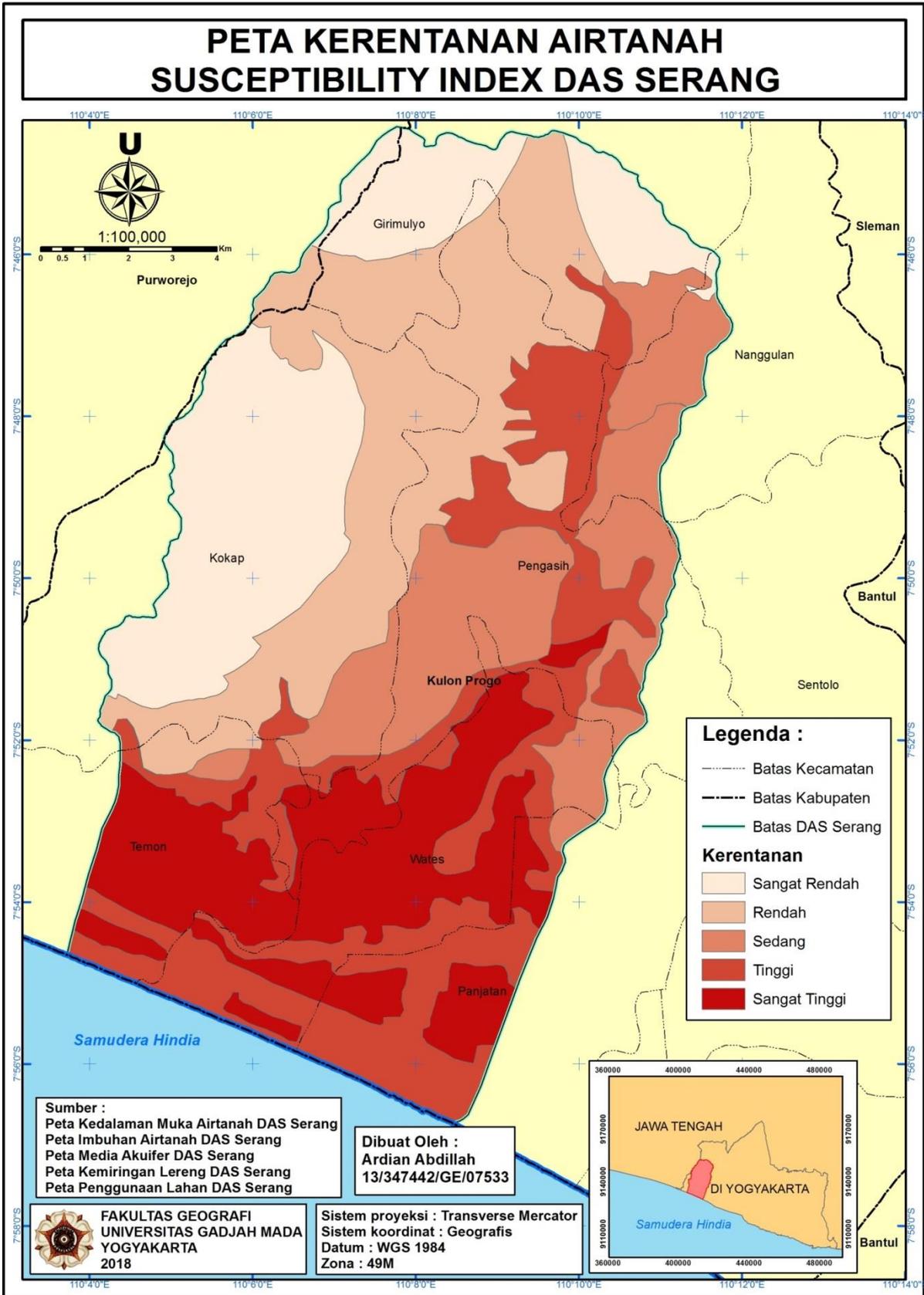
Tabel 22 Karakteristik tiap kelas kerentanan airtanah (SI)

Tingkat Kerentanan	Parameter	
	D (m)	R (mm)

Sangat Rendah	1,5 – 15,2	250 - 512
Rendah	1,5 – 9,1	400 - 512
Sedang	0 – 4,6	400 - 500
Tinggi	0 – 1,5	1200 - 1500
Sangat Tinggi	0 - 1,5	1200 - 1537

Parameter		
A	T (%)	LU
Batu gamping, batu pasir, andesit	> 18	Hutan, zona semi alami
Batu gamping, batu pasir	12 – 18, >18	Hutan, zona semi alami
Batu gamping, batu pasir	2 – 12	Hutan, zona semi alami, semi urban, sawah
Pasir, kerikil	< 2	Sawah, urban, semi urban, pertanian heterogen

Tingkat kerentanan rendah seluas 4892 Ha tersebar pada tiga kecamatan, yaitu : Kecamatan Kokap, Kecamatan Pengasih, dan Kecamatan Girimulyo. Daerah dengan tingkat kerentanan rendah keberadaannya mengelilingi di sekitar daerah dengan tingkat kerentanan sangat rendah. Tingkat kerentanan rendah dipengaruhi oleh faktor yang sama seperti pada kerentanan sangat rendah, yaitu : kemiringan lerengnya yang curam dan penggunaan lahannya berupa hutan dan zona semi alami. Akan tetapi, ada satu faktor yang membedakan, faktor tersebut adalah kedalaman muka airtanah pada tingkat kerentanan rendah lebih dangkal dibandingkan dengan tingkat kerentanan sangat rendah dengan nilai kedalaman yang berkisar 1,5 – 9,1 m. Perbedaan nilai kedalaman muka airtanah tersebut mempengaruhi hasil perhitungan pada analisis kerentanan airtanah metode *SI* yang dilakukan. Daerah dengan tingkat kerentanan sangat rendah dan tingkat kerentanan rendah merupakan daerah yang memiliki kondisi masyarakat dan kondisi lingkungan yang baik dan jauh dari kemungkinan terjadinya pencemaran airtanah.



Gambar 2 Peta Kerentanan Airtanah Spesifik DAS Serang

Tingkat kerentanan sedang seluas 3634 Ha paling banyak tersebar pada Kecamatan Nanggulan dan Kecamatan Pengasih. Tingkat kerentanan sedang juga tersebar di beberapa tempat pada Kecamatan Kokap bagian selatan, Kecamatan Girimulyo bagian timur, serta Kecamatan Wates bagian timur laut. Jika dibandingkan dengan tingkat kerentanan sangat rendah dan rendah, tingkat kerentanan sedang sangat dipengaruhi oleh parameter kedalaman muka airtanah yang dangkal hingga sedang (berkisar 0 – 4,6 m), parameter media akuifer berupa batu pasir dan batu gamping, serta parameter kemiringan lereng yang cukup landai (berkisar 2 – 12%). Biasanya, daerah dengan tingkat kerentanan sedang paling banyak ditemukan di daerah peralihan antara daerah urban (perkotaan) dan daerah rural (pedesaan). Artinya, pengaruh aktivitas manusia sudah mulai terlihat di daerah tersebut terutama yang paling jelas terlihat dalam bentuk penggunaan lahan berupa persawahan dan permukiman (semi urban). Terutama dengan meningkatnya jumlah penduduk dari tahun ke tahun, berpengaruh pada perubahan penggunaan lahan yang kian marak terjadi. Oleh karena itu, harus ada pengawasan agar perubahan penggunaan lahan dapat terkontrol, jika tidak, maka dapat dimungkinkan wilayah dengan tingkat kerentanan sedang dapat berubah menjadi tingkat kerentanan tinggi atau bahkan sangat tinggi beberapa tahun kemudian.

Tingkat kerentanan tinggi (4686 Ha) dan tingkat kerentanan sangat tinggi (4091 Ha) tersebar paling banyak pada tiga kecamatan yang sama, yaitu : Kecamatan Panjatan, Kecamatan Temon, dan Kecamatan Wates. Daerah dengan tingkat kerentanan tersebut dapat pula ditemukan sedikit di Kecamatan Pengasih di bagian tengah dan selatan. Tingkat kerentanan tinggi dan sangat tinggi sangat dipengaruhi oleh faktor kedalaman muka airtanah yang dangkal (berkisar 0 – 1,5m), faktor imbuhan airtanah yang besar (berkisar

1200 – 1537 mm), faktor kemiringan lereng yang landai (berkisar <2%), jenis material dari akuifer berupa pasir dan kerikil, serta jenis penggunaan lahan penghasil limbah (seperti persawahan, pertanian campuran, dan permukiman).

Berbeda dengan metode *DRASTIC*, Analisis kerentanan dengan metode *SI* sangat memperhatikan keterlibatan aktivitas manusia yang berpengaruh besar pada tingkat kerentanan terhadap pencemar, yaitu berupa parameter penggunaan lahan. Berdasarkan dari peta kerentanan yang dihasilkan (Gambar 2), menunjukkan bahwa daerah dengan tingkat kerentanan tinggi dan sangat tinggi berada di daerah dengan penggunaan lahan penghasil nitrat, seperti : persawahan, pertanian campuran, dan permukiman. Kecamatan Wates yang merupakan ibukota kecamatan dari Kabupaten Kulonprogo tentu memiliki jumlah penduduk yang tinggi serta aktivitas manusianya yang tentu sangat aktif. Kecamatan disekitarnya yaitu Kecamatan Temon dan Kecamatan Panjatan memiliki sektor pariwisata di pesisir berupa pantai yang tentu tidak bisa lepas juga dari tingginya aktivitas manusia. Keberadaan manusia tentu tidak lepas dari berbagai bentuk limbah dan zat pencemar yang dihasilkannya (cair, padat, maupun gas), sehingga hal inilah yang menyebabkan ketiga kecamatan tersebut tergolong ke dalam tingkat kerentanan yang tinggi dan sangat tinggi.

Daerah dengan tingkat kerentanan tinggi dan tingkat kerentanan sangat tinggi merupakan daerah yang memiliki kondisi masyarakat dan lingkungan yang sangat dekat dari kemungkinan terjadinya pencemaran airtanah. Artinya, daerah tersebut sangat rentan terhadap pencemaran airtanah yang mungkin terjadi. Terlebih, jika daerah tersebut memiliki kapasitas fisik, sosial, maupun lingkungan yang buruk akan sangat dikhawatirkan tidak sanggup menekan pencemaran

airtanah yang akan terjadi. Wilayah yang masuk ke dalam tingkat kerentanan tinggi dan sangat tinggi ini harus selalu diawasi dan dibina. Proses pengelolaan dan pengolahan limbah yang baik dan benar harus ditanamkan di masyarakat agar masyarakat paham dalam pentingnya menjaga lingkungan sejak dini.

Jumlah sampel uji nitrat yang digunakan adalah 15 sampel uji. Semuanya diuji melalui pengujian laboratorium BBTKLPP (Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit) Yogyakarta dengan menggunakan metode *APHA 2012, Section 4500 NO₃-B*. Klasifikasi kadar nitrat di DAS Serang dapat dikelompokkan menjadi lima kelas, antara lain : sangat tinggi (>10 mg/L), tinggi (>10 mg/L), sedang (5 – 10 mg/L), rendah (<5 mg/L), dan sangat rendah (<5 mg/L) (Riyanto, 2016). Validasi dapat dilakukan dengan membuat matriks perbandingan antara hasil uji laboratorium yang sudah diklasifikasikan terhadap kelas kerentanan airtanah tiap metode. Hasil dari pengujian laboratorium dikorelasikan dengan pemetaan kerentanan airtanah terhadap pencemar sebagai acuan validasi. Tabel 23 menunjukkan hasil validasi dari metode DRASTIC sedangkan Tabel 24 menunjukkan hasil validasi dari metode SI. Nilai yang ditunjukkan pada Tabel 23 dan Tabel 24 merupakan hasil kolerasi antara kelas hasil uji nitrat dengan kelas kerentanan airtanah tiap metode. Nilai yang ditunjukkan dalam bentuk persentase merupakan hasil perbandingan antara jumlah sampel uji nitrat pada suatu kolerasi kelas dengan jumlah sampel uji nitrat keseluruhan. Berdasarkan Tabel 23 terlihat bahwa total sampel yang memiliki kesesuaian antara hasil uji laboratorium dengan kelas kerentanan intrinsik adalah 47%. Sementara itu, berdasarkan Tabel 24 terlihat bahwa total sampel yang memiliki kesesuaian antara hasil uji laboratorium dengan kelas kerentanan spesifik adalah 60%.

Tabel 23 Validasi Kerentanan Airtanah Intrinsik

		Kerentanan Airtanah Intrinsik				
		Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah	Sangat Rendah
Uji Nitrat	Sangat Tinggi	> 10 mg/L	-	6,67 %	-	-
	Sedang	5 - 10 mg/L	6,67%	6,67 %	-	6,67%
	Rendah Sangat Rendah	< 5 mg/L	20%	13,3 %	-	40%

Sumber : Hasil olah (2018)

Tabel 24 Validasi Kerentanan Airtanah Spesifik

		Kerentanan Airtanah Spesifik				
		Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah	Sangat Rendah
Uji Nitrat	Sangat Tinggi	> 10 mg/L	6,67%	-	-	-
	Sedang	5 - 10 mg/L	6,67%	13,3 %	-	-
	Rendah Sangat Rendah	< 5 mg/L	26,67%	6,67 %	-	40%

Sumber : Hasil olah (2018)

Kaplan dan Saccuzzo (2005), mengungkapkan bahwa sebuah penelitian yang memiliki nilai validitas berkisar antara 70 – 80 % dapat dianggap cukup baik. Namun demikian, nilai validitas 60 – 70 % masih dianggap mencukupi, meskipun hampir berada pada batas bawah validitas yang dapat ditoleransi (Cohen dan Swerdlik, 2005). Bahkan nilai validitas 50 – 60 % masih dapat diterima untuk beberapa jenis penelitian (Kerlinger & Lee, 2000). DeVellis (2003), melakukan pengelompokan batas nilai validitas. Pengelompokan tersebut dapat digambarkan seperti Tabel 25 di bawah.

Tabel 25 Klasifikasi Nilai Validitas

Klasifikasi Validitas	Tidak Dapat Diterima	Tidak Memuaskan
Index	< 60%	60 – 65 %
Dapat Diterima Secara Minimal	Dapat Diterima	Sangat Baik
65 – 70 %	70 – 80%	80 – 90%

Sumber : DeVellis (2003)

Jika didasarkan pada Tabel 25, hasil uji validitas dari kajian kerentanan airtanah intrinsik dengan nilai 47% termasuk ke dalam klasifikasi tidak dapat diterima. Sedangkan hasil uji validitas dari kajian kerentanan airtanah spesifik dengan nilai 60% termasuk ke dalam klasifikasi tidak memuaskan. Tingkat akurasi yang tidak dapat diterima dan kurang memuaskan tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor, bisa disebabkan oleh faktor metode dan faktor kesalahan manusia (*human error*).

Melihat dari faktor metode, dapat merujuk pada asumsi – asumsi yang digunakan pada tiap metode (DRASTIC dan SI). Metode DRASTIC dan SI dikembangkan dengan menggunakan asumsi – asumsi sebagai berikut (Voudouris, et al., 2010; Jong dan Yeong, 1999) :

1. Polutan berawal dari permukaan tanah.
2. Polutan tersiram ke dalam airtanah oleh hujan.
3. Kontaminan bergerak bersamaan dengan air dan memiliki kecepatan yang sama.
4. Luasan yang dievaluasi adalah 40 hektar atau lebih.

DAS Serang memiliki luasan total \pm 280 km². Sumber pencemaran atau zat polutan di DAS Serang bersumber dari permukaan tanah, yaitu dari berbagai kegiatan yang bersifat merusak sumberdaya airtanah antara lain : kegiatan pertanian yang menggunakan pupuk dan pestisida

anorganik secara berlebihan; kegiatan penambangan emas di Kecamatan Kokap dan penambangan pasir di pantai selatan yang tidak ramah lingkungan; kegiatan industri yang terus menerus membuang limbah tanpa adanya pengolahan air limbah terlebih dahulu; dan kegiatan penangkapan ikan dengan menggunakan racun. Zat pencemar (polutan) tersebut tersiram oleh air hujan, sehingga terbawa dan bergerak bersamaan dengan air, ada yang masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan perkolasi sehingga mempengaruhi kualitas airtanah, dan ada juga yang mengikuti aliran air permukaan dan masuk ke dalam aliran sungai. Berdasarkan karakteristik DAS Serang tersebut, asumsi – asumsi metode DRASTIC dan SI dianggap sesuai dan memenuhi sehingga kedua metode tersebut cocok digunakan di DAS Serang.

Faktor kesalahan manusia mencakup beberapa hal antara lain : proses pengambilan data yang kurang baik dan kurang mewakili; proses pengukuran yang subjektif; dan proses pengolahan dan analisis data yang kurang teliti dan kurang akurat. Salah satu kemungkinan kesalahan dalam proses pengambilan data adalah ketika proses pengambilan sampel airtanah. Proses pengambilan sampel airtanah dalam penelitian ini dilakukan ketika musim hujan. Tidak menutup kemungkinan bahwa air sampel yang terambil adalah air yang berasal dari air hujan bukan dari airtanah yang seharusnya diteliti sehingga hasilnya tidak mewakili kondisi yang sebenarnya. Kemungkinan kesalahan dalam proses pengolahan dan analisis data dapat terjadi akibat *human error* dalam berbagai bentuk, salah satu yang paling sering terjadi adalah kesalahan ketika perhitungan dan pembulatan angka.

KESIMPULAN

Kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik di DAS Serang memiliki lima kelas kerentanan, yaitu : sangat rendah,

rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kerentanan airtanah intrinsik memiliki luasan tiap kelas kerentanan berturut – turut, sangat rendah 4185 Ha, rendah 7114 Ha, sedang 4227 Ha, tinggi 5251 Ha, dan sangat tinggi 914 Ha. Kerentanan airtanah spesifik memiliki luasan tiap kelas kerentanan berturut – turut, sangat rendah 4388 Ha, rendah 4892 Ha, sedang 3634 Ha, tinggi 4686 Ha, dan sangat tinggi 4091 Ha. Sebaran tingkat kerentanan spesifik sangat dipengaruhi oleh sebaran penggunaan lahan. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa metode DRASTIC memiliki tingkat akurasi 47 % yang termasuk ke dalam klasifikasi tidak dapat diterima dan metode SI memiliki tingkat akurasi 60 % yang termasuk ke dalam klasifikasi tidak memuaskan. Tingkat akurasi yang tidak dapat diterima dan kurang memuaskan tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor, bisa disebabkan oleh faktor metode dan faktor kesalahan manusia (*human error*).

DAFTAR PUSTAKA

- Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R. (1987). *DRASTIC : A standardized system for evaluation ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. Oklahoma : U.S. Environmental Protection Agency.
- Cohen, R. J., Swerdlik, M. E. (2005). *Psychological testing and measurement : An introduction to tests and measurement*. Boston: McGraw-Hill.
- DeVellis, R. F. (2003). *Scale development: Theory and applications* (2nd ed.). New York : SAGE Publication.
- Dragoni, W., Sukhija, B.S. (2008). *Climate change and groundwater*. London : The Geological Society.
- Kaplan, R. M., Saccuzzo, D. P. (2005). *Psychological testing : Principles, applications, & issues*. California : Thomson Wadsworth.
- Pemerintah Kabupaten Kulonprogo. (2014). *Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Kulonprogo Tahun 2014*. Kulonprogo : Sekretariat Daerah.
- Republik Indonesia. (2001). *Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Ribeiro, L. (2000). Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos : Formulação e aplicações. [SI: a new index of aquifer susceptibility to agricultural pollution]. Internal report, ERSHA/CVRM, Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal. Hal : 12.
- Riyanto, I. A. (2016). Kerentanan intrinsik dan spesifik airtanah terhadap pencemaran di kecamatan banjarnegara dan sekitarnya. *Skripsi*. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.