

## **Kajian Kerentanan Air Bawah Tanah Terhadap Potensi Pencemaran Limbah Cair Industri Tahu di Desa Ngestiharjo Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul**

Arham Aminush Shidqi<sup>1, a)</sup>, Ika Wahyuning Widiarti<sup>2, b)</sup>, dan Andi Renata Ade Yudono<sup>3, c)</sup>

<sup>1), 2), 3)</sup> Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta

<sup>a)</sup>Corresponding author: 114170048@student.upnyk.ac.id

<sup>b)</sup>ika.widiarti@upnyk.ac.id

<sup>c)</sup>ade.yudono@upnyk.ac.id

### **ABSTRAK**

Seluruh kegiatan manusia akan menghasilkan entropi seperti halnya industri tahu di Desa Ngestiharjo yang menghasilkan limbah padat dan cair yang dapat meningkatkan risiko pencemaran air bawah tanah akibat infiltrasi limbah yang dibuang ke lingkungan. Perlindungan sumber daya air bawah tanah menjadi penting mengingat ketergantungan masyarakat Desa Ngestiharjo sebagai salah satu sentra industri tahu di Kabupaten Bantul dengan populasi penduduk yang padat. Pembuatan zonasi kerentanan air bawah tanah sebagai bentuk usaha untuk melindungi sumber daya air dari potensi pencemaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan air bawah tanah secara potensial dan aktual terhadap potensi pencemaran limbah industri tahu. Penelitian ini menggunakan metode modifikasi DRASTIC dengan parameter kedalaman muka air bawah tanah, infiltrasi, akuifer, tanah, topografi, zona tak jenuh, konduktivitas hidrolik dan penggunaan lahan. Hasil analisis kerentanan air bawah tanah potensial menghasilkan satu tingkat klasifikasi yaitu tinggi. Kerentanan air bawah tanah aktual diklasifikasikan menjadi sedang dan tinggi yang dipengaruhi faktor penggunaan lahan yang mempertimbangkan kepadatan penduduk dan lokasi industri. Kerentanan tinggi ditemukan pada daerah dengan permukiman yang dekat dengan industri tahu. Kerentanan sedang didapat pada daerah permukiman, sawah dan kebun. Faktor penggunaan lahan mempengaruhi tingkat kerentanan sehingga didapat perubahan tingkat kerentanan pada kerentanan air bawah tanah potensial menjadi aktual.

**Kata Kunci:** Kerentanan air bawah tanah; industri tahu; DRASTIC

### **ABSTRACT**

*All human activities will produce entropy just like the tofu industry in Ngestiharjo Village that produces solid and liquid waste that can increase the risk of groundwater pollution due to infiltration of waste dumped into the environment. The protection of groundwater resources is important considering the dependence of the people of Ngestiharjo Village as one of the tofu industrial centers in Bantul Regency with a dense population. Creation of groundwater vulnerability zoning as a form of effort to protect water resources from potential pollution. This study aims to analyze the vulnerability of groundwater potentially and actually to potential pollution of industrial waste tofu. This study used DRASTIC modification method with parameters of groundwater level depth, infiltration, aquifer, soil, topography, unsaturated zone, hydraulic conductivity and land use. The results of the analysis of potential groundwater vulnerability produce one classification that is high. Actual groundwater vulnerabilities are classified to medium and high which are influenced by land use factors that consider population density and industrial location. High vulnerability was found in areas with settlements close to the tofu industry. Medium vulnerabilities are being obtained in residential areas, rice fields and gardens. Land use factors affect the level of vulnerability so that it is found to change the level of vulnerability in potential groundwater vulnerabilities to be actual.*

**Keywords:** Groundwater vulnerabilities; Tofu industry; DRASTIC

## **PENDAHULUAN**

Sumber daya air sangat dibutuhkan oleh masyarakat untuk kegiatan domestik, jasa, pertanian, ataupun industri. Jumlah air yang cukup dan kualitas air yang memadai dibutuhkan oleh masyarakat untuk mencukupi kebutuhan air hariannya. Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya intensitas serta ragam kegiatan manusia membuat kebutuhan air bersih yang harus dipenuhi semakin besar (Silalahi, 2002). Lemahnya perlindungan dan pengelolaan sumber daya air dari limbah kegiatan produksi ikut menurunkan ketersediaan air bersih (Irwanto, 2011). Kegiatan sentra industri tahu di Desa Ngestiharjo menghasilkan limbah cair yang berpotensi mengkontaminasi dan menurunkan kualitas dari tanah, air sungai, dan air bawah tanah akibat tidak adanya pengelolaan limbah industri tahu yang telah beroperasi selama puluhan tahun tersebut. (Suhardini et al., 2005). Limbah dari proses produksi industri tahu dapat berbentuk limbah padat atau cair. Limbah padat berasal dari proses penyaringan tahu atau biasa disebut ampas tahu yang memiliki sifat cepat membusuk apabila tidak diolah (Hutami, 2019). Air buangan industri tahu umumnya mengandung bahan organik yang sangat tinggi meliputi protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Protein dan lemak memiliki jumlah paling besar yakni mencapai 40% hingga 60% protein, 25% hingga 50% lemak, dan 10% karbohidrat (Dahruji et al., 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Arif (2015) menyebutkan bahwa air limbah industri tahu memiliki nilai BOD sebesar 1937 mg/L, COD sebesar 5363 mg/L dan pH sebesar 5,5 serta padatan tersuspensi (TSS) = 2,292 mg/L.

Melalui Peraturan Gubernur No. 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta telah upaya untuk mempertahankan fungsi lingkungan hidup dengan mengatur ambang batas buangan limbah industri tahu ke lingkungan yang masih banyak tidak dipatuhi oleh pada pelaku usaha industri tahu di Desa Ngestiharjo. Alasan utama ketidakpatuhan tersebut disebabkan oleh keterbatasan pendanaan dan mahalnya bahan baku produksi yang menyulitkan industri tahu rumahan di Desa Ngestiharjo (Nasir et al., 2011).

Mayoritas masyarakat Desa Ngestiharjo menggunakan air bawah tanah pada sumur gali untuk memenuhi konsumsi harian dan air permukaan (sungai dan irigasi) untuk kebutuhan pertanian, perikanan dan wisata. Perlindungan sumber daya air menjadi sangat penting mengingat ketergantungan masyarakat terhadap sumber daya air yang ada. Pembuatan peta atau zonasi kerentanan air bawah tanah dan air permukaan terhadap pencemaran merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan dalam rangka melindungi sumber daya air dari pencemaran. Kerentanan air bawah tanah dapat diartikan sebagai besarnya kemampuan dari sistem air bawah tanah (termasuk lapisan akuifer) dalam menahan kontaminan yang ada di permukaan tanah untuk masuk ke dalam tanah. Karakteristik hidrogeologi suatu daerah mempengaruhi proses masuknya polutan ke dalam air bawah tanah atau dengan kata lain, karakteristik fisik hidrogeologi suatu daerah mempunyai semacam tingkat perlindungan tersendiri dari suatu pencemaran air bawah tanah (Todd, 1980; Vrba dan Zaporosec, 1994 dalam Widyastuti et al., 2006). Sehingga sensitivitas atau kerentanan air bawah tanah terhadap pencemaran dapat diperkirakan melalui karakteristik hidrogeologi di daerah tersebut (Widyastuti et al., 2006). Oleh karena itu, pengetahuan mengenai tingkat kerentanan air bawah tanah terhadap pencemaran di suatu wilayah mampu menjadi sebab pertimbangan penting dalam menentukan kebijakan pengaturan wilayah dalam rangka pengembangan wilayah (Abdillah & Tjahyo Nugroho Adji, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk untuk menganalisis kerentanan air bawah tanah secara potensial dan aktual terhadap potensi pencemaran limbah industri tahu.

## **METODE**

Penelitian dilakukan di sekitar industri tahu yang terletak di Desa Ngestiharjo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul dengan luas daerah penelitian 32,24 km<sup>2</sup>. Desa Ngestiharjo merupakan salah satu desa sentra industri tahu di Kabupaten Bantul. Terdapat sekitar 24 industri tahu yang masih beroperasi di desa tersebut. Secara geografis, Desa Ngestiharjo terletak pada koordinat X 426000 mT – 429000 mT dan koordinat Y 9136000 mU – 9139000 mU. Desa Ngestiharjo berada di bagian utara dari wilayah Kecamatan Kasihan. Desa ini berbatasan langsung dengan Desa Banyuraden, Kabupaten Sleman di bagian barat dan utara, serta berbatasan dengan Desa Wirobrajan,

Kota Yogyakarta di bagian timur, sebelah tenggara berbatasan dengan Desa Tirtonirmolo dan sebelah barat data berbatasan dengan Desa Tamantirto.

Beberapa alat dan bahan dalam penelitian antara lain *Global Positioning System (GPS)*, meteran, dan perangkat pengolah data seperti *ArcMap*, *Excel*, dan *Word* serta Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 lembar Yogyakarta, Peta Geologi Regional skala 1:100.000 lembar Yogyakarta, Peta Jenis Tanah skala 1:200.000 Daerah Istimewa Yogyakarta dan Peta Citra *Google Earth* skala 1:25.000.

Penelitian ini menggunakan kegiatan survei dan pemetaan dalam pengumpulan primer dengan teknik *purposive sampling*. Beberapa data primer yang dibutuhkan antara lain : kedalaman muka air bawah tanah, kapasitas infiltrasi, tekstur tanah, kemiringan lereng dan penggunaan lahan. Data sekunder didapatkan dari instansi terkait dengan data-data sekunder seperti media akuifer, media zona tak jenuh dan konduktivitas hidrolis yang didapatkan dari data bor di sekitar daerah penelitian. Data-data primer dan sekunder dibutuhkan untuk menganalisis tingkat kerentanan air bawah tanah potensial dan aktual dengan menggunakan metode DRASTIC dan DRASTIC modifikasi. Hasil analisis akan divisualisasikan menjadi sebuah peta kerentanan air bawah tanah yang dijelaskan secara deskriptif dalam penelitian ini.

Metode DRASTIC yang dikembangkan oleh Aller et al. (1987) digunakan untuk mencari nilai kerentanan potensial yang didasarkan pada tujuh parameter yaitu kedalaman muka air bawah tanah (*Depth*), laju pengisian kembali (*Recharge*), media akuifer (*Aquifer*), tekstur tanah (*Soil*), kemiringan lereng (*Topography*), media zona tak jenuh (*Impact of Vadoze Zone*), dan konduktivitas hidrolis (*Hydraulic Conductivity*). Metode DRASTIC banyak digunakan dalam penilaian kerentanan air bawah tanah potensial terhadap pencemaran yang pada pengaplikasiannya banyak mengalami perkembangan untuk menghasilkan data yang lebih representatif. Salah satu modifikasi metode DRASTIC oleh Widyastuti (2004) memasukkan parameter penggunaan lahan untuk mempertimbangkan potensi sumber pencemar sehingga didapatkan kerentanan air bawah tanah aktual. Nilai akhir kerentanan potensial dan aktual dari metode DRASTIC didapatkan dari total penghitungan nilai serta bobot masing-masing parameter. Terdapat perbedaan nilai pada setiap kelas yang disesuaikan dengan pengaruhnya terhadap kerentanan pencemaran air bawah tanah. Pembagian kelas nilai dan bobot metode DRASTIC dari setiap parameter dijelaskan dalam tabel 1-10.

**Tabel 1.** Nilai dan Bobot Parameter Kedalaman Air Bawah Tanah

Kedalaman Muka Air Bawah Tanah (m)	Nilai
0 – 1,52	10
1,53 – 4,57	9
4,58 – 9,14	7
9,15 – 15,24	5
15,25 – 22,86	3
22,87 – 30,48	2
> 30,48	1
<b>Bobot</b>	<b>5</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 2.** Nilai dan Bobot Parameter Kapasitas Infiltrasi

Kapasitas Infiltrasi	Nilai
0 – 2	1
2 – 4	3
4 – 7	6
7 – 10	8
> `10	9
<b>Bobot</b>	<b>4</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 3.** Nilai dan Bobot Parameter Media Akuifer

Media Akuifer	Nilai
<i>Shale massif</i>	2
Batuan metamorf/beku	3
Batuan metamorf/batu lapuk	4
Batupasir tipis, <i>shale</i> dan batugamping	6
Batupasir masif	6
Batugamping masif	6
Pasir dan kerikil	8
<i>Basalt</i>	9
Karst, batuan kapur	10
<b>Bobot</b>	<b>3</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 4.** Nilai dan Bobot Parameter Tekstur Tanah

Tekstur Tanah	Nilai
Tipis	10
Kerikil	10
Pasir	9
Gambut	8
<i>Shrinking</i> dan atau agregat lempung	7
Geluh pasir (sandy loam)	6
Geluh ( <i>loam</i> )	5
Geluh lanauan ( <i>silky loam</i> )	4
Geluh lempungan ( <i>clay loam</i> )	3
Kotoran ( <i>muck</i> )	2
Non sharing dan nosillyn agregat lempung	1
<b>Bobot</b>	<b>2</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 5.** Nilai dan Bobot Parameter Kemiringan Lereng

Derajat Kemiringan (%)	Nilai
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1
<b>Bobot</b>	<b>1</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 6.** Nilai dan Bobot Parameter Media Zona Tak Jenuh

Media Zona Tak Jenuh	Nilai
Lanau/lempung	1
<i>Shale</i>	3
Batugamping	6
Batupasir	6
<i>Bedded limestone</i> , batupasir, <i>shale</i>	6
<i>Shale</i> dan kerikil dengan lanau dan lempung cukup	6
Pasir dan kerikil	4
Batuan metamorf/beku	8

Basal	9
Batugamping karst	10
<b>Bobot</b>	<b>5</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 7.** Nilai dan Bobot Parameter Konduktivitas Hidrolik

Konduktivitas Hidraulik	Nilai
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
<b>Bobot</b>	<b>3</b>

Sumber: Aller, et al. (1987)

**Tabel 8.** Nilai dan Bobot Parameter Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan	Nilai
Lahan Kosong/Tak Terolah	1
Hutan	1
Kebun/Perkebunan	3
Tegalan	3
Persawahan	2
Permukiman Dengan Kepadatan Rendah	5
Permukiman Dengan Kepadatan Rendah Ada Lokasi Industri dan Peternakan	6
Permukiman Dengan Kepadatan Sedang	7
Permukiman Dengan Kepadatan Sedang Ada Lokasi Industri dan Peternakan	8
Permukiman Dengan Kepadatan Tinggi	9
Permukiman Dengan Kepadatan Tinggi Ada Lokasi Industri dan Peternakan	10
<b>Bobot</b>	<b>4</b>

Sumber: Widyastuti, et al. (2006)

**Tabel 9.** Klasifikasi Kerentanan Air Bawah Tanah Potensial

Klasifikasi Kerentanan	Indeks Kerentanan
Tidak Rentan	73-92
Kerentanan Rendah	93-112
Kerentanan Sedang	113-132
Kerentanan Tinggi	133-152
Kerentanan Sangat Tinggi	153-172

Sumber: Widyastuti, et al. (2006)

**Tabel 10.** Klasifikasi Kerentanan Air Bawah Tanah Aktual

Klasifikasi Kerentanan	Indeks Kerentanan
Tidak Rentan	81-104
Kerentanan Rendah	105-128
Kerentanan Sedang	129-152
Kerentanan Tinggi	153-176
Kerentanan Sangat Tinggi	>177

Sumber: Widyastuti, et al. (2006)

Data primer dan sekunder yang telah dikumpulkan berdasarkan parameter yang ada akan dikalkulasikan dan dilakukan analisis melalui teknik tumpang susun dengan memakai aplikasi sistem informasi geografis (SIG) yang selanjutnya dihasilkan peta kerentanan air bawah tanah potensial dan aktual. Prinsip penilaian tingkat kerentanan air bawah tanah bebas adalah perkalian antara bobot ( $w$ ) dan nilai ( $r$ ) setiap parameter yang digunakan. Semua perkalian dari parameter akan dijumlahkan dan dihasilkan nilai yang disebut Indeks DRASTIC. Untuk mendapatkan tingkat kerentanan potensial dengan metode DRASTIC dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks DRASTIC} = DwDr + RwRr + AwAr + SwSr + TwTr + CwCr \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- D = kedalaman muka air bawah tanah
- R = curah hujan
- A = media akuifer
- S = tekstur tanah
- T = topografi (lereng)
- I = media zona tak jenuh
- C = konduktivitas hidraulik
- W = bobot masing parameter
- R = nilai masing parameter

Indeks kerentanan air bawah tanah aktual dapat diketahui dengan menjumlahkan Indeks DRASTIC dan hasil perkalian bobot ( $w$ ) dan nilai ( $r$ ) penggunaan lahan. Rumus indeks kerentanan air bawah tanah aktual yaitu :

$$\text{Indeks Kerentanan Aktual} = \text{Indeks DRASTIC} + LuwLur \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- Luw = bobot penggunaan lahan
- Lur = nilai penggunaan lahan

Hasil dari perhitungan kemudian diklasifikasi ke dalam lima kelas. Menurut Widyastuti (2003) dalam Widyastuti et al., (2006) sistem klasifikasi tingkat kerentanan air bawah tanah oleh dibagi menjadi tidak rentan, agak rendah, sedang, cukup rentan dan sangat rentan.

Lokasi pengambilan sampel ditentukan dengan teknik *purposive sampling* dengan pengambilan sampel air secara sengaja pada daerah yang memiliki keterkaitan langsung dengan penelitian. Teknik pengambilan sampel air bawah tanah dilakukan pada sumur warga di daerah penelitian dengan mempertimbangkan tingkat kerentanan, aliran air bawah tanah serta lokasi sumur terhadap industri tahu. Hal ini dimaksudkan agar 10 sampel air bawah tanah yang diambil dapat merepresentasikan kondisi air bawah tanah di daerah penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kedalaman Muka Air Bawah Tanah

Muka air bawah tanah (*water table*) adalah lapisan pemisah antara *phreotic zone* atau *saturated zone* dengan zona kapiler. Secara teoritis, muka air tanah dapat diartikan sebagai pendugaan elevasi permukaan air pada sumur yang merembes menuju zona jenuh air pada jarak yang pendek. (Davis dan De Wiest, 1966 dalam Kodoatie, 2012).

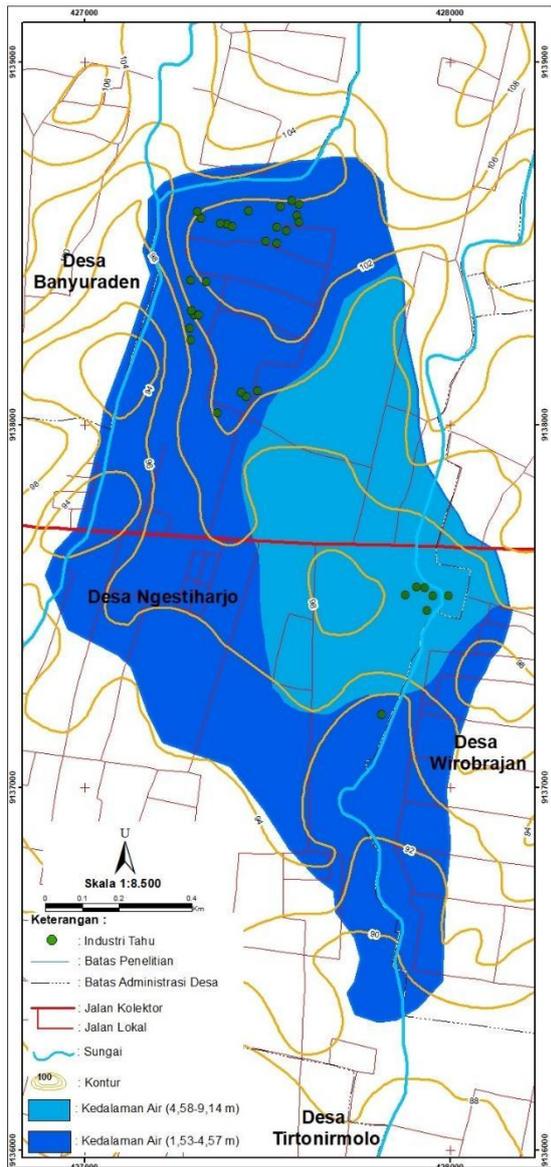
Kedalaman muka air bawah tanah didapatkan melalui pengukuran di lapangan dengan pengukuran tinggi sumur dikurangi kedalaman air sumur dari bibir sumur. Kedalaman muka air bawah tanah berhubungan dengan jarak yang harus ditempuh polutan di atas permukaan menuju ke sistem air bawah tanah. Pengukuran kedalaman muka air bawah tanah menghasilkan variasi data kedalaman dengan rentang 2,65-8,48 meter. Adapun analisis kedalaman air tanah ditampilkan pada **Gambar 1**.

Air bawah tanah dangkal mudah ditemukan di Desa Ngestiharjo sehingga menjadi sumber air utama penduduk dalam memenuhi kebutuhan air harian.

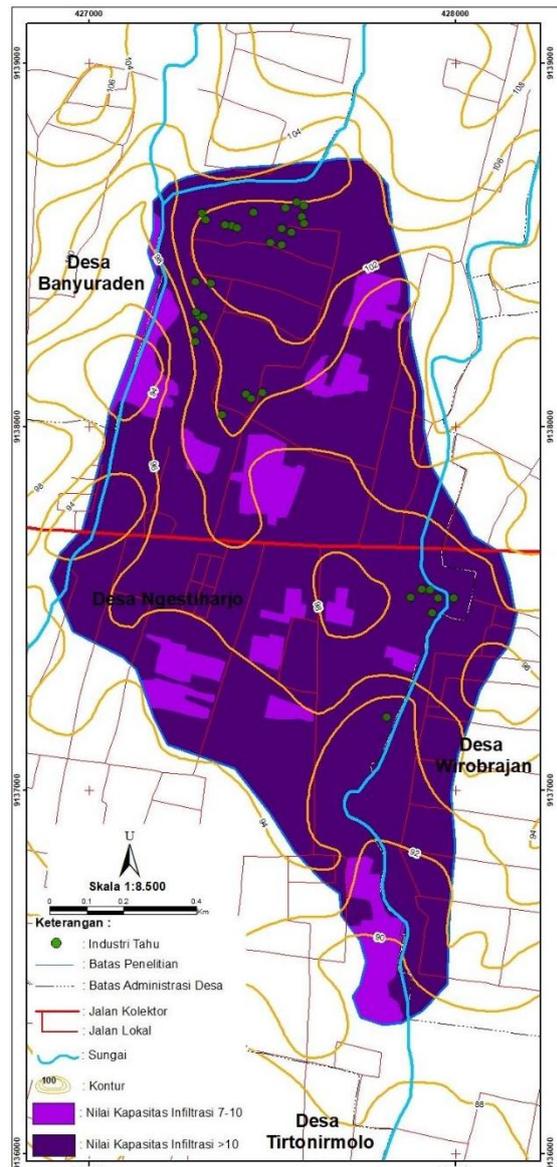
**Tabel 11.** Nilai Kedalaman Muka Air Bawah Tanah

Titik	X	Y	Kapasitas Infiltrasi (inch/jam)	Klasifikasi (inch/jam)	Nilai	Bobot	Total (Nilai x Bobot)
1	427901	9137594	427901	97.68	9	5	45
2	427975	9137510	427975	96.85	9	5	45
3	427963	9137348	427963	96.65	7	5	35
4	427693	9137225	427693	96.42	7	5	35
5	426966	9137513	426966	95.1	7	5	35
6	428131	9137941	428131	101.4	7	5	35
7	427930	9138617	427930	99.6	7	5	35
8	427453	9138843	427453	101.25	7	5	35
9	427901	9137594	427901	94	9	5	45
10	427975	9137510	427975	96.78	7	5	35
11	427963	9137348	427963	98.64	9	5	45
12	427693	9137225	427693	95.85	7	5	35
13	426966	9137513	426966	94.8	7	5	35
14	428131	9137941	428131	97.84	9	5	45
15	427930	9138617	427930	88.12	7	5	35
16	427453	9138843	427453	87.2	7	5	35
17	427930	9138617	427930	89.55	7	5	35
18	427453	9138843	427453	92.52	7	5	35

Sumber: Data Penulis (2021)



Peta 1. Kedalaman Muka Air Bawah Tanah



Peta 2. Kapasitas Infiltrasi

Tabel 12. Nilai Kapasitas Infiltrasi

Penggunaan Lahan	Kapasitas Infiltrasi (inch/jam)	Klasifikasi (inch/jam)	Nilai	Bobot	Total (Nilai x Bobot)
Sawah	7,5771	7 – 10	8	4	32
Kebun	35,0483	> 10	9	4	36
Permukiman	11,3061	> 10	9	4	36

Sumber: Data Penulis (2021)

### Kapasitas Infiltrasi

Terdapat beberapa penafsiran dalam parameter *net recharge*, menurut Aller et al., (1987) *Net recharge* merupakan jumlah air per satuan luas tanah yang meresap dari permukaan tanah hingga muka air bawah tanah. Air resapan tersebut dapat membawa kontaminan secara vertikal ke muka air bawah tanah dan secara horizontal di dalam akuifer. Selain itu, jumlah air yang ada pada *vadose zone* dan akuifer dikontrol oleh parameter ini. Adapun *net recharge* pada penelitian ini didasarkan pada

kapasitas infiltrasi yang dapat menunjukkan potensi penyerapan kontaminan ke dalam tanah dari permukaan tanah menuju akuifer bebas. Tingkat kapasitas infiltrasi yang tinggi dapat menyebabkan polutan meresap pada tanah dan mencapai air bawah tanah tanpa melalui penundaan yang berarti. Hasil pengukuran kapasitas infiltrasi pada setiap penggunaan lahan di lapangan berkisar antara 7,5771 hingga 35,0583 inci/jam. Penggunaan lahan sawah menjadi area dengan kapasitas infiltrasi terendah dan kebun menjadi yang tertinggi.

### **Media Akuifer**

Media akuifer dapat menunjukkan lapisan batuan yang berguna sebagai penyimpan air bawah tanah sebelum diangkat ke permukaan melalui sumur oleh masyarakat. Kualitas dan kuantitas air bawah tanah dapat dipengaruhi oleh keberadaan bahan pencemar yang masuk ke air bawah tanah dan kondisi eksisting suatu daerah. Hal tersebut dikarenakan air bawah tanah berada pada lapisan tanah dan atau lapisan batuan yang terletak di bawah permukaan tanah, sehingga dapat memberikan pengaruh pada tingkat kerentanan air bawah tanah terhadap suatu pencemaran (Rizka et al., 2017). Berdasarkan peta geologi regional Yogyakarta dapat diketahui bahwa Desa Ngestiharjo berada pada formasi endapan merapi muda. Berdasarkan sebaran Cekungan Air Tanah (CAT) yang dipaparkan oleh (Hendrayana et al., 2021) Hendrayana (2021) menyebutkan bahwa akuifer CAT Yogyakarta dibagi menjadi akuifer bebas dan semi bebas dengan kedalaman akuifer bebas kurang lebih 30-50 meter dari permukaan tanah. Sumur gali masyarakat memiliki kedalaman 10–20 meter sehingga data bor yang digunakan dalam penelitian kali ini berfokus pada jenis material yang terdapat pada kedalaman 0-36 dengan lapisan material pemisah antara akuifer bebas dan semi bebas yaitu lapisan pasir lempungan. Berdasarkan data sumur bor yang ada di sekitar daerah penelitian, media akuifer di Desa Ngestiharjo didominasi oleh pasir yang terdiri dari ukuran halus hingga kasar. Oleh karena itu klasifikasi media akuifer pada indeks DRASTIC masuk ke dalam klasifikasi pasir dan kerikil dengan skor 8. Tingginya skor pada klasifikasi pasir dan kerikil dikarenakan kemudahan kedua material tersebut dalam meresapkan air yang ada dipermukaan menuju sistem air bawah tanah. Hal tersebut disebabkan karena sifat porositas dan permeabilitas yang baik dari kedua material tersebut.

### **Tekstur Tanah**

Parameter tekstur tanah akan digunakan sebagai pertimbangan besarnya laju infiltrasi. Tanah dengan tekstur kasar akan memperbesar potensi infiltrasi dari air permukaan, air hujan maupun air limbah industri tahu ke dalam sistem air bawah tanah. Adapun tanah dengan tekstur yang halus relatif akan membatasi pergerakan kontaminan. Semakin kasar teksur tanah maka akan memiliki skor yang tinggi dalam indeks DRASTIC. Data tekstur tanah diketahui melalui percobaan di lapangan dengan mengambil sampel tanah untuk diujikan teksturnya secara langsung. Kondisi tekstur tanah yang ada di daerah penelitian didominasi oleh geluh pasir. Tekstur tanah banyak dipengaruhi oleh batuan penyusunnya yang mana di daerah penelitian tanah yang ada didominasi dengan tekstur pasir yang disebabkan oleh bahan pembentuknya yaitu endapan gunung merapi. Selain itu, jenis tanah yang ada di daerah penelitian yaitu Regosol yang dapat diidentifikasi langsung di lapangan dengan ciri-ciri tekstur kasar berbutir dan peka terhadap erosi dengan kedalaman < 25 cm dari permukaan tanah. Tanah regosol merupakan tanah yang belum berkembang sehingga belum memiliki horizon penciri dan tidak terlalu tebal, selain itu biasanya berwarna keabuan dan bersifat gembur. Kemampuan menyerap air bawah tanah ini cukup tinggi dikarenakan butir tanah kasar sehingga membuat ketersediaan air bawah tanah cukup melimpah

### **Kemiringan Lereng**

Topografi dan kemiringan lereng daerah penelitian dapat diketahui dengan pemetaan dan survei lapangan yang juga dibantu dengan data sekunder untuk membantu penentuan derajat kemiringan lereng. Data topografi akan menunjukkan bagaimana laju infiltrasi yang ada, sebagai indikasi suatu kontaminan akan mengalami *runoff* atau tertahan sehingga memungkinkan masuk ke bawah permukaan tanah dan menjadi air bawah tanah. Hal tersebut menyebabkan semakin rendah tingkat kemiringan lerengnya maka akan semakin besar potensi air untuk masuk ke dalam sistem air bawah tanah. Hasil analisis kemiringan lereng menghasilkan 1 kelas kemiringan lereng pada daerah

penelitian yaitu datar dengan rentang persen kemiringan 0-2%. Hal tersebut selaras dengan penelitian Wijaya & Purnama (2018) dalam penelitiannya yang menyebutkan bahwa Desa Ngestiharjo memiliki tingkat kemiringan tanah sebesar 0-2% dengan topografi berupa dataran rendah. Kondisi daerah penelitian yang relatif datar mengakibatkan banyaknya variasi penggunaan lahan dikarenakan kemudahan masyarakat dalam memanfaatkan lahan yang ada baik sebagai pemukiman, kebun, maupun sawah.

### Media Zona Tak Jenuh

Material zona tak jenuh terletak diatas muka air bawah tanah, hal ini dibutuhkan untuk mengetahui keterkaitan pergerakan kontaminan ke akuifer. Adapun melalui data bor, media zona tak jenuh dapat diketahui jenis materialnya dikarenakan setiap material memiliki nilai resistivitas tertentu. Berdasarkan data bor Dinas PUP-ESDM DIY material zona tak jenuh di daerah penelitian didominasi oleh pasir sehingga dapat dimasukkan ke dalam klasifikasi pasir dan kerikil dalam indeks DRASTIC. Sifat material pasir yang berstruktur lepas dan porositas tinggi serta sangat mudah meloloskan air memperbesar potensi masuknya kontaminan menuju lapisan akuifer.

### Konduktivitas Hidrolik

Konduktivitas hidrolik berkaitan dengan kecepatan atau kemampuan akuifer untuk mengalirkan air yang nilainya akan dipengaruhi permeabilitas intrinsik material seperti porositas batuan, ukuran, bentuk dan susunan butir, serta distribusinya (Todd, 2005). Parameter ini dibutuhkan untuk menggambarkan viskositas fluida yang mana apabila semakin besar nilainya maka kontaminan akan semakin mudah lolos dan nilai k (konduktivitas hidrolik) semakin kecil. Nilai konduktivitas hidrolik dalam penelitian ini didapatkan dari data bor yang ada disekitar daerah penelitian. Konduktivitas hidrolik setiap material yang ada dijumlahkan lalu dibuat rerata tertimbang sehingga diperoleh nilai rata-rata konduktivitas hidrolik dari daerah penelitian. Hasil perhitungan yang didapat menunjukkan konduktivitas hidrolik di daerah penelitian memiliki rata-rata sebesar 18,60 m/hari yang masuk dalam kategori dengan skor konduktivitas hidrolik tertinggi yaitu 10.

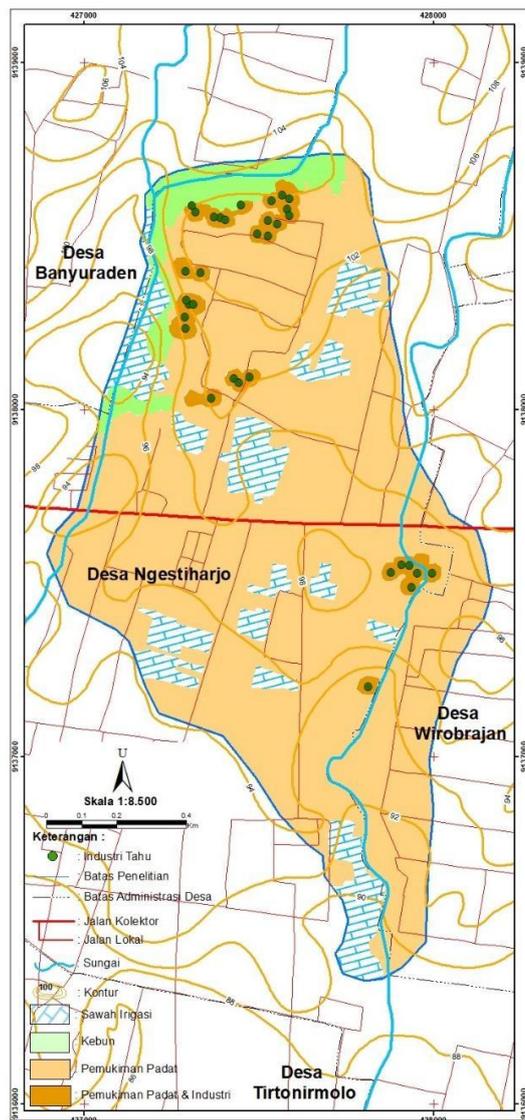
### Penggunaan Lahan

Parameter penggunaan lahan digunakan dalam pengembangan Metode DRASTIC yang penilaiannya disesuaikan dengan kontribusinya dalam memberi beban pencemar untuk tingkat kerentanan air bawah tanah pada suatu daerah. Perincian tipe penggunaan lahan permukiman dilakukan dengan menambahkan jumlah penduduk, lokasi industri dan peternakan, penambahan jumlah penduduk disesuaikan dengan pengklasifikasian yang dibagi menjadi 3 kelas yakni tinggi, sedang, dan rendah (Widyastuti et al., 2006). Hasil analisis menunjukkan terdapat 4 penggunaan lahan di daerah penelitian yaitu permukiman padat, permukiman padat dengan industri dan peternakan, sawah, serta kebun. Keempat variasi penggunaan lahan tersebut memiliki skor yang berbeda-beda dengan skor tertinggi dimiliki oleh permukiman padat dengan industri dan peternakan yaitu 10 dan terendah adalah sawah. Pengklasifikasian kepadatan penduduk dan kelas penggunaan lahan mengacu pada (Widyastuti, 2003 dalam Widyastuti, 2016) dengan kepadatan penduduk yang dibagi menjadi 3 yaitu rendah, sedang dan padat serta 11 kelas penggunaan lahan.

Tabel 13. Nilai Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan	Nilai	Bobot	Total (Nilai x Bobot)
Sawah	2	4	8
Kebun	3	4	12
Permukiman Padat	9	4	36
Permukiman Padat + Industri	10	4	40

Sumber: Data Penulis (2021)

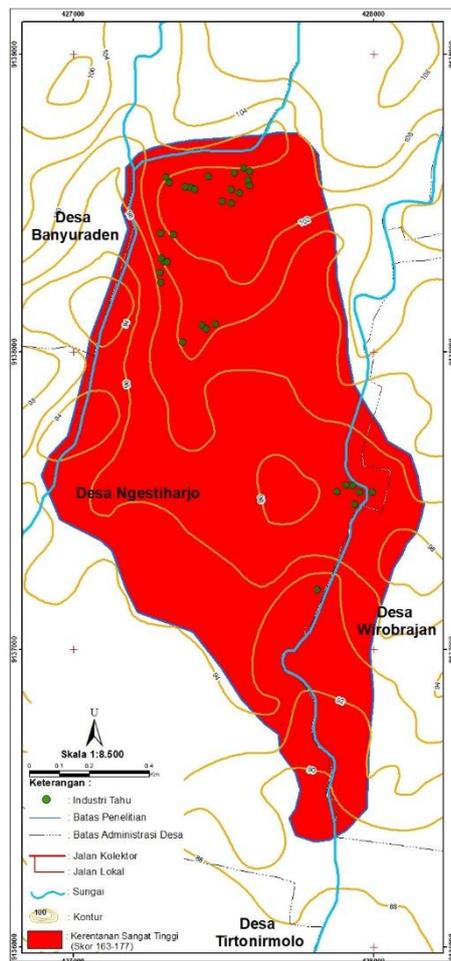


Peta 1. Penggunaan Lahan

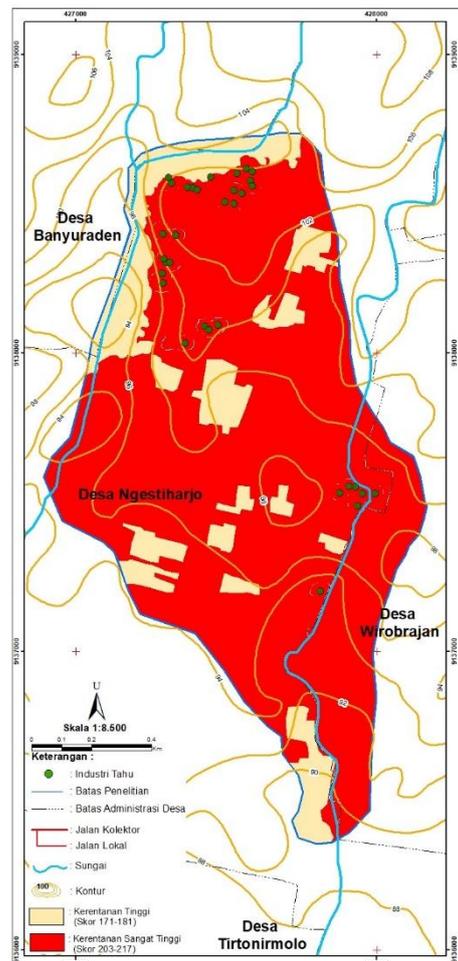
### Kerentanan Air Bawah Tanah Potensial

Hasil analisis tujuh parameter DRASTIC di daerah penelitian menghasilkan 24 area yang terbagi menjadi 4 skor yaitu 163, 167, 173 dan 177. Berdasarkan tabel klasifikasi indeks DRASTIC oleh Widyastuti (2003), tingkat kerentanan air bawah tanah potensial di Desa Ngestiharjo dikategorikan ke dalam kerentanan tinggi. Tidak adanya variasi tingkat kerentanan dipengaruhi oleh banyaknya kondisi eksisting lingkungan yang serupa di seluruh daerah penelitian, antara lain : media akuifer, tekstur tanah, kemiringan lereng, media zona tak jenuh, dan konduktivitas hidrolis. Beberapa parameter yang banyak mempengaruhi variasi jumlah nilai akhir kerentanan yaitu kedalaman muka air bawah tanah dan kapasitas infiltrasi. Nilai kerentanan yang tinggi banyak dipengaruhi oleh endapan aluvium yang berasal dari material gunung merapi yang mengalami perpindahan dan terendapkan. Material aluvium yang didominasi oleh material lepas seperti pasir kasar hingga halus, kerikil dan lempung membuat tekstur tanah yang terbentuk di daerah penelitian relatif kasar dengan kedalaman air bawah tanah yang dangkal.

Hasil analisis kerentanan air bawah tanah potensial menjelaskan bahwa di daerah penelitian secara hidrogeologi memiliki sensitivitas terhadap potensi pencemaran yang sangat tinggi. Oleh karena itu, variasi pemanfaatan lahan di daerah penelitian akan semakin meningkatkan tingkat kerentanan air bawah tanah yang ada apabila terdapat polutan yang dikeluarkan ke lingkungan secara langsung tanpa



Peta 2. Kerentanan Potensial



Peta 5. Kerentanan Aktual

pengolahan terlebih dahulu. Adapun pemanfaatan lahan yang tidak menghasilkan polutan tidak akan memberikan pengaruh terhadap pencemaran air bawah tanah dan tingkat kerentanannya akan berkurang.

### Kerentanan Air Bawah Tanah Aktual

Analisis kerentanan air bawah tanah potensial dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrogeologi di daerah penelitian. Hal tersebut menandakan belum dipertimbangkannya pengaruh kegiatan manusia yang memanfaatkan lahan di atasnya. Beberapa penggunaan lahan berpotensi memberikan pencemaran seperti permukiman, industri dan peternakan serta beberapa penggunaan lahan lainnya memiliki pengaruh yang relatif kecil terhadap pencemaran seperti sawah, kebun, hutan dan ladang. Penggunaan aspek penggunaan lahan penting untuk dilakukan dalam rangka menganalisis potensi pencemaran yang ditimbulkan dan pengaruhnya terhadap hidrogeologi yang ada di daerah tersebut sehingga dapat diketahui kerentanan air bawah aktualnya. Hasil analisis kerentanan air bawah tanah aktual menunjukkan adanya 2 kelas kerentanan yaitu tinggi dan sangat tinggi. Hal ini berbeda dengan hasil analisis kerentanan potensial yang hanya menghasilkan 1 kelas kerentanan saja. Hal ini tentu dipengaruhi oleh masuknya faktor penggunaan lahan. Kerentanan tinggi berada pada rentang nilai 171-181 dengan total area 286.207 m<sup>2</sup> yang didominasi penggunaan lahan sawah dan kebun. Adapun kerentanan sangat tinggi diisi oleh penggunaan lahan permukiman padat dan permukiman padat dengan industri tahu. Keduanya mendapatkan rentang nilai 203 hingga 217 dengan total area 1.338.362 m<sup>2</sup> dan 47.300 m<sup>2</sup>. Pola persebaran dari kerentanan air bawah tanah aktual relatif sesuai dengan pola persebaran penggunaan lahannya.

Kualitas air tanah diambil pada enam titik dengan 7 parameter pengukuran yang terbagi menjadi kelompok permukiman padat (3 titik) dan kelompok permukiman padat dengan industri tahu (3 industri). Parameter yang diujikan yaitu BOD, COD, TDS, pH, dan Nitrat (N). Parameter tersebut dipilih berdasarkan baku mutu limbah industri tahu pada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Adapun parameter Nitrat (N) ditambahkan untuk menganalisis pengaruh sumber pencemaran lainnya yang tidak bersumber dari limbah cair industri tahu seperti kegiatan domestik pada permukiman ataupun pertanian.

**Tabel 14.** Kualitas Air Bawah Tanah

Parameter	Baku Mutu	Satuan	Permukiman Padat+Industri Tahu			Permukiman Padat		
			1	2	4	3	5	6
BOD	2	mg/L	2,2	2,5	3,3	1,5	2,4	2
COD	10	mg/L	21,7	24,7	33,6	12,4	24,33	19,5
pH	6.0-8.5	mg/L	6,5	6,7	6,6	6,5	6,4	6,5
TDS	1000	mg/L	288	262	234	179	293	405
NO <sub>3</sub> -N	10	mg/L	15,28	13,94	16,08	9	24,89	25,4

Sumber: Data Penulis (2021)

Tabel kualitas air bawah tanah (tabel 11) menunjukkan sampel air sumur di permukiman padat dengan industri tahu di sekitarnya memiliki kandungan BOD, COD, dan Nitrat yang melebihi baku mutu Peraturan Gubernur DIY No. 20 Tahun 2008 Kelas 1 dengan peruntukkan air baku air minum dan kebutuhan konsumsi lainnya. Dua parameter yang tidak melebihi baku mutu di seluruh titiknya adalah pH dan TDS. Adapun kualitas air sumur pada daerah permukiman padat juga memiliki kandungan BOD, COD, dan Nitrat yang melebihi baku mutu. Perbandingan antara kandungan BOD dan COD air sumur pada permukiman padat dan industri tahu memiliki rata-rata 2,6 mg/L dan 26,6 mg/L dengan rentang nilai ada pada angka 2,2-3,3 mg/L dan 21,7-33,6 mg/l sedangkan pada permukiman padat tanpa industri tahu didapat rata-rata nilai BOD dan COD yaitu 1,96 mg/L dan 18,74 mg/L dengan rentang nilai 1,5-2,4 mg/L dan 12,4-24,33 mg/L. Terjadi kenaikan rata-rata dan rentang nilai untuk parameter BOD dan COD pada daerah dengan permukiman padat penduduk dan industri tahu. Namun hal tersebut tidak terjadi pada parameter nitrat yang mana pada permukiman pada dan industri tahu memiliki rata-rata 17,1 mg/L dengan rentang 13,94-16,08 mg/L, sedangkan kandungan nitrat pada permukiman padat tanpa industri tahu lebih tinggi yaitu 19,76 mg/L dengan rentang 9,0-25,4 mg/L. Perbedaan kandungan bahan pencemar yang tidak terlalu signifikan pada air sumur di daerah dengan industri tahu dan tanpa industri tahu belum dapat membuktikan secara jelas bahwa air limbah industri tahu ikut mempengaruhi kualitas air bawah tanah di daerah penelitian dan memerlukan sebuah

penelitian lebih lanjut terhadap hal tersebut. Adapun kualitas dari air bawah tanah pada sumur yang telah melampaui baku mutu pada parameter BOD, COD dan Nitrat (N) cukup membuktikan bahwa air bawah tanah yang ada di daerah penelitian sudah sangat rentan, terlebih apabila ditambahkan bahan pencemar limbah industri tahu ke dalam sistem air bawah tanah yang akan membuat kualitas air bawah tanah semakin tercemar untuk digunakan oleh masyarakat sekitar.

### **Rekomendasi**

Berdasarkan hasil analisis kerentanan air bawah tanah di Desa Ngestiharjo, rekomendasi yang sebaiknya dilakukan sebagai upaya perlindungan air bawah tanah di Desa Ngestiharjo yang mempunyai tingkat kerentanan air bawah tanah yang relatif tinggi dan sangat tinggi adalah pembuatan IPAL dan sistem sanitasi yang baik di daerah penelitian untuk meminimalisir potensi masuknya pencemaran ke dalam sistem air bawah tanah yang masih digunakan warga. Menghemat penggunaan air dan memanfaatkan limbah organik baik cair maupun padat untuk dapat di manfaatkan kembali sebagai pupuk dan produk pertanian lainnya.

### **KESIMPULAN**

Hasil penelitian menunjukkan kerentanan air bawah tanah potensial menghasilkan satu tingkat klasifikasi yaitu sangat tinggi. Kerentanan air bawah tanah aktual diklasifikasikan menjadi tinggi dan sangat tinggi yang banyak dipengaruhi oleh faktor penggunaan lahan dengan memasukkan aspek kepadatan penduduk dan keberadaan industri sebagai pertimbangan. Nilai terbesar pada kerentanan sangat tinggi ditemukan pada daerah dengan permukiman yang dekat dengan industri tahu. Kerentanan tinggi didapat pada daerah sawah dan kebun. Faktor penggunaan lahan mempengaruhi tingkat kerentanan sehingga didapati perubahan tingkat kerentanan pada kerentanan air bawah tanah potensial menjadi aktual.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ungkapan rasa terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Yogyakarta atas dukungan dan kesempatannya serta kepada Dinas PUP-ESDM DIY atas kemudahan akses dan izin penggunaan data sehingga memperlancar penulis untuk menyelesaikan tulisan ini.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdillah, A., & Tjahyo Nugroho Adji. (2018). Kajian Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemar Di Daerah Aliran Sungai Serang. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(4), 1–14.
- Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R., & Bennett, T. (1987). DRASTIC: A Standardized System To Evaluate Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. In *Journal of the Geological Society of India*. 29(1). 23–37
- Arif, M. R. (2015). Analisis Pengelolaan Limbah Tahu di Kecamatan Adiwerna Kabupaten Tegal. *Journal of Politic and Government Studies*. 17(1). 1–16.
- Dahruji, Wilianarti, P. F., & Hendarto, T. (2017). Studi Pengolahan Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak Bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran. *Aksiologinya: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 1(1). 36–44.
- Hendrayana, H., Nuha, A., Riyanto, I. A., & Aprimanto, B. (2021). Kajian Perubahan Muka Airtanah di Cekungan Airtanah Yogyakarta-Sleman. *Majalah Geografi Indonesia*. 35(1), 30–44.
- Hutami, R. A. (2019). *Kajian Minimisasi Limbah Cair Pada Industri Tahu X Dan Y, Bantul, D.I Yogyakarta*. Universitas Islam Indonesia.
- Irwanto, R. (2011). *Pengaruh Pembuangan Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Kualitas Air Sumur di Kelurahan Krobokan Kota Semarang*. Universitas Negeri Semarang.
- Kodoatie, R. J. (2012). *Tata Ruang Air Tanah* (1st ed.). Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Nasir, M., Fatkhurohman, & Muqorobin, A. (2011). Problem Manajemen Lingkungan dan Isu Industrialisasi. *Prosiding Seminar Nasional & Internasional*, 1(1), 163–172.

- Rizka, M., R. A. F., & N. W. (2017). Potensi Pencemaran Airtanah di Daerah Sub-urban Kabupaten Bandung Bagian Selatan dengan Menggunakan Metode Legrand. *Seminar Nasional Kebumihan*, 10(1), 233–242.
- Silalahi, M. D. (2002). Optimalisasi Sarana Yuridis Sebagai Upaya Menumbuhkan Masyarakat Sadar Urgensi Sumber'Daya Air (SDA). *Majalah Air Minum*.
- Suhardini, S. M., Sudarmadji, & Sutomo, A. H. (2005). Hubungan Jarak dan Kualitas Fisik Sumur Terhadap Jumlah Koliform Tinja dan Kadar Zat Organik Air Sumur Sekitar Peternakan Babi dan Industri Tahu Di Desa Ngestiharjo Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul. In *Manusia dan Lingkungan*. 12(2). 73–79.
- Todd, D. K. (2005). *Groundwater Hydrology* (L. W. Mays (ed.); Third Edit). John Wiley & Sons Inc. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6\\_72667](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_72667)
- Widyastuti, M., Notosiswoyo, S., & Anggayana, K. (2006). Pengembangan Metode Drastic Untuk Prediksi Kerentanan Airtanah Bebas Terhadap Pencemaran Di Sleman. *Majalah Geografi Indonesia*. 20(1), 32–51.
- Wijaya, K. A., & Purnama, S. (2018). Kajian Kerentanan Airtanah terhadap Potensi Pencemaran di Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul. *Jurnal Bumi Indonesia*. 7(1). 1–10.