



Pemetaan Zona Kerentanan Pencemaran Air Tanah Berbasis Perubahan Tata Guna Lahan Menggunakan Metode *Susceptibility Index* (SI)

Donny Harisuseno^{1*}, Mohammad Bisri², Nabillah Eva Wahyuningtyas³

^{1,2,3} Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail: donnyhari@ub.ac.id

ABSTRACT

This study aims to map groundwater vulnerability zones to contamination in Pojok Village, Campurdarat District, using the Susceptibility Index (SI) method. The analyzed parameters include groundwater table depth, groundwater recharge, aquifer media, slope gradient, and land use. The mapping results indicate that vulnerability levels vary from low to high, with the highest vulnerability observed in Gedangsewu and Pojok hamlets. These findings suggest a close relationship between the hydrogeological conditions of the area and the potential risk of groundwater contamination. The local population heavily depends on groundwater as the primary source for domestic needs and agricultural irrigation. Additionally, anthropogenic activities, such as agriculture and intensive limestone mining in the area, may increase the risk of contamination. Validation of water quality through well water sampling reveals that high-vulnerability areas tend to have higher Total Dissolved Solids (TDS) and turbidity. Moreover, the appearance of white particles when boiling water suggests the presence of dissolved limestone. The results are then compared with the Tulungagung Spatial Plan (RTRW) 2023–2043, which reveals a mismatch between the current land use and vulnerability zones. Therefore, this study emphasizes the importance of sustainable land management and the integration of groundwater vulnerability data into spatial planning policies to mitigate long-term contamination risks.

Keywords: Groundwater pollution, groundwater vulnerability zone, groundwater contamination, Susceptibility Index (SI), land use change.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Desa Pojok, Kecamatan Campurdarat, dengan menggunakan metode *Susceptibility Index* (SI). Parameter yang dianalisis meliputi kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, kemiringan lereng, serta penggunaan lahan. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa tingkat kerentanan bervariasi dari rendah hingga tinggi, dengan tingkat kerentanan tertinggi ditemukan di Dusun Gedangsewu dan Pojok. Temuan ini menunjukkan adanya keterkaitan erat antara kondisi hidrogeologi wilayah dengan risiko pencemaran airtanah yang mungkin terjadi. Masyarakat setempat sangat bergantung pada airtanah sebagai sumber utama untuk kebutuhan rumah tangga dan irigasi pertanian. Di sisi lain, aktivitas antropogenik seperti pertanian dan penambangan batu kapur secara intensif di kawasan ini berpotensi memperbesar risiko pencemaran airtanah. Validasi kualitas air dilakukan melalui pengambilan sampel dari sumur warga, yang menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi cenderung memiliki kadar Total Dissolved Solids (TDS) dan kekeruhan yang lebih tinggi. Selain itu, ditemukannya serpihan putih saat air dimasak mengindikasikan adanya kandungan kapur terlarut dalam air. Hasil penelitian ini kemudian dibandingkan dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Tulungagung Tahun 2023–2043, yang mengungkapkan adanya ketidaksesuaian antara kondisi kerentanan dan pola pemanfaatan lahan saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pentingnya pengelolaan lahan yang berkelanjutan serta integrasi data kerentanan airtanah dalam kebijakan penataan ruang untuk mengurangi risiko pencemaran jangka panjang.

Kata kunci: Polusi airtanah, zone kerentanan airtanah, kontaminasi airtanah, Susceptibility Index (SI), perubahan tata guna lahan.



1. PENDAHULUAN

Airtanah adalah air yang berada pada rongga-rongga dalam lapisan geologi. Lapisan tanah yang terletak di bawah permukaan air tanah dinamakan daerah jenuh (*saturated zone*), sedangkan daerah tidak jenuh terletak di atas daerah jenuh sampai ke permukaan tanah yang rongganya berisi air dan udara (*unsaturated zone*) (Konstantinos & Nerantzis, 2021). Airtanah merupakan sumber air tawar yang memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan hidup manusia (Li et al., 2021). Kerentanan airtanah merupakan kemampuan menahan kontaminasi pada permukaan tanah hingga mencapai muka airtanah atau lapisan akuifer (Hamed et al., 2024). Permasalahan pada kondisi airtanah juga dapat dipengaruhi oleh kondisi geologi dan geomorfologi serta peningkatan jumlah penduduk (Fenta et al., 2020). Hal ini menunjukkan penelitian kerentanan airtanah terhadap pencemaran menjadi penting untuk dilakukan guna menjaga kondisi airtanah sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal bagi masyarakat (El Yousfi et al., 2023).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menilai kerentanan airtanah terhadap pencemaran, baik untuk kondisi umum maupun kondisi khusus seperti akuifer karst atau wilayah dengan keterbatasan data. Metode yang sering digunakan antara lain DRASTIC (Aller et al., 1987) dan SINTACS (Civita & De Maio, 2004) yang menggunakan beberapa parameter fisik seperti kedalaman muka airtanah, media akuifer, tanah, kemiringan lereng, dan zona tak jenuh. Metode GOD dikembangkan oleh (Foster, 1987) dengan parameter yang lebih sederhana, sedangkan AVI oleh (Stempvoort et al., 1993) menitikberatkan pada ketebalan dan konduktivitas lapisan pelindung. Selain itu, metode *Susceptibility Index* (SI) yang dikembangkan oleh (Ribeiro, 2000) terdapat parameter penggunaan lahan sehingga lebih peka terhadap pengaruh aktivitas manusia dan sering digunakan dalam kajian yang berkaitan dengan perubahan tata guna lahan (Stigter et al., 2005).

Metode *Susceptibility Index* (SI) merupakan salah satu metode analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang relatif responsif karena secara eksplisit mengikutsertakan parameter land use dalam perhitungannya. Keunggulan ini menjadi sangat penting untuk diaplikasikan pada wilayah yang didominasi oleh batuan kapur karena akuifer karst memiliki struktur rekahan dan porositas yang tinggi sehingga memungkinkan infiltrasi kontaminan dari permukaan ke dalam sistem airtanah berlangsung sangat cepat yang berdampak perubahan penggunaan lahan permukaan terhadap kualitas airtanah di kawasan karst jauh lebih besar dibandingkan pada akuifer non-karst (Kintoro et al., 2025). Oleh karena itu, dengan adanya variabel *land use* dalam penilaian indeks metode SI mampu menghasilkan zonasi kerentanan yang lebih akurat dan informatif di lingkungan karst yang kompleks secara

hidrogeologis, sehingga memberikan dasar analisis yang lebih kuat untuk perencanaan pengelolaan sumber daya airtanah yang berkelanjutan di daerah dengan karakteristik batuan kapur dominan (Noori et al., 2019).

Desa Pojok didominasi oleh batuan berkapur yang secara alami memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap pencemaran airtanah karena sifatnya yang mudah meloloskan air dan zat pencemar. Tekanan aktivitas manusia, seperti permukiman, pertanian, pembuangan limbah domestik, serta dugaan penambangan ilegal, semakin meningkatkan risiko masuknya pencemar ke dalam akuifer. Keluhan warga terkait munculnya kerak putih pada air sumur menunjukkan adanya indikasi penurunan kualitas airtanah. Kondisi ini menegaskan pentingnya dilakukan penelitian untuk menilai tingkat kerentanan airtanah sebagai dasar perencanaan perlindungan dan pengendalian aktivitas manusia di lokasi tersebut.

Masyarakat di Desa Pojok menggunakan sumber daya air untuk kebutuhan sehari-hari seperti minum, mandi, mencuci, dan irigasi. Kualitas air di Desa Pojok telah tercemar akibat adanya kandungan zat kapur yang mengganggu kehidupan masyarakat sekitar. Perkembangan permukiman dan aktivitas manusia di Desa Pojok berpotensi menimbulkan polusi yang mencemari airtanah, sehingga penting dilakukan penelitian tentang kerentanan airtanah terhadap pencemaran untuk mengetahui sebaran kerentanan intrinsik dan spesifiknya. Metode *Susceptibility Index* (SI) merupakan salah satu metode yang cocok untuk mengidentifikasi kerentanan airtanah secara intrinsik dan spesifik di lokasi penelitian, dengan lima parameter utama yaitu kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan (Ribeiro, 2000). Metode *Susceptibility Index* (SI) dipilih karena mampu mengidentifikasi kerentanan air tanah pada wilayah batuan kapur. Kombinasi antara sifat batuan kapur yang permeabel dan faktor penggunaan lahan menjadikan metode tersebut efektif untuk memetakan zona rentan pencemaran, sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai dasar perencanaan perlindungan air tanah dan pengambilan kebijakan pengelolaan lingkungan di lokasi penelitian.

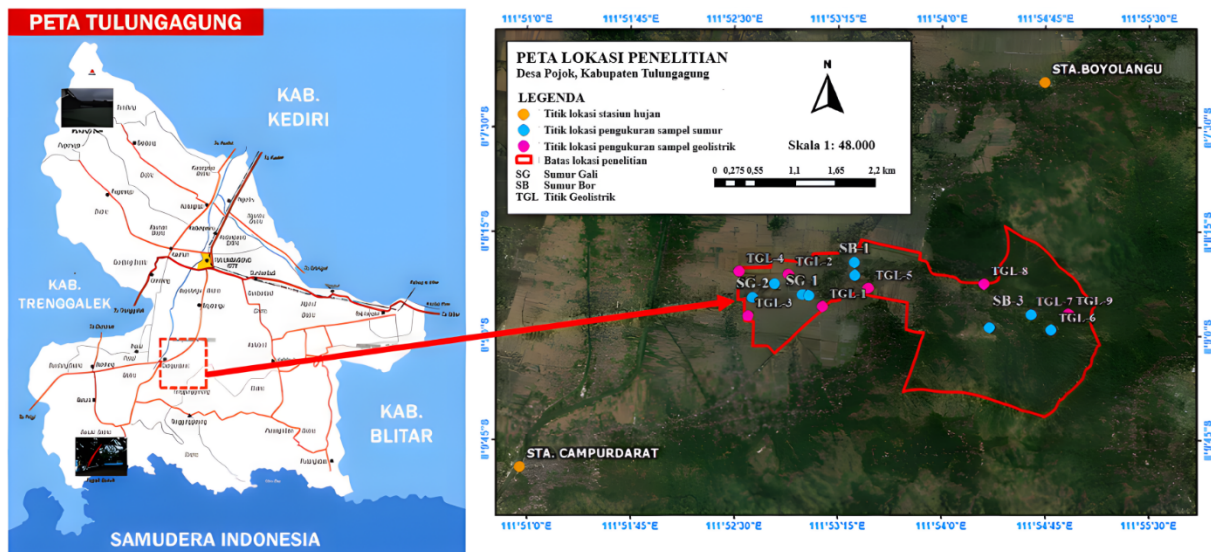
2. METODE

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

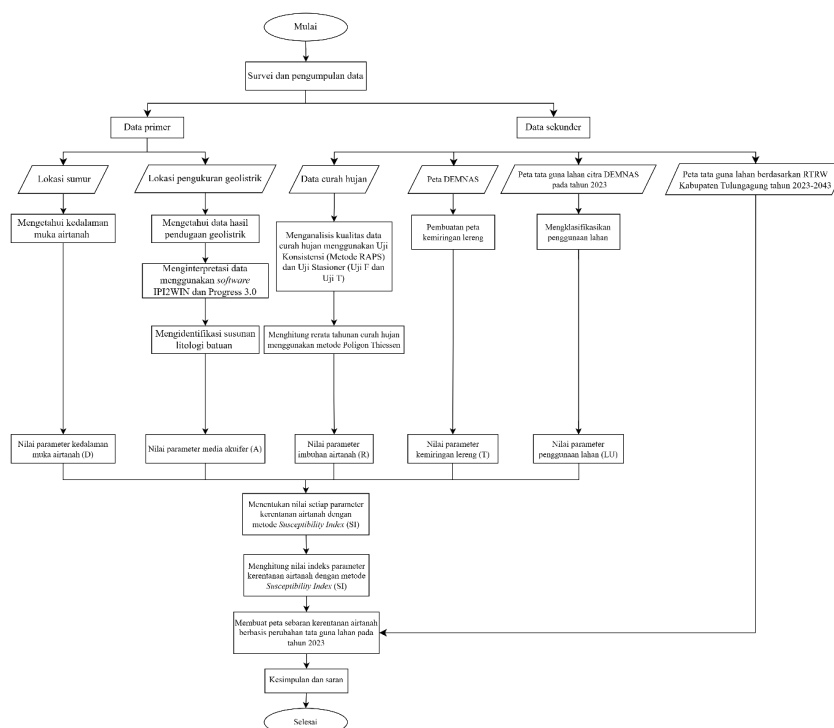
Penelitian ini dilakukan di Desa Pojok, yang berada dalam wilayah administratif Kecamatan Campurdarat, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Gambar 1 menyajikan lokasi studi. Penelitian ini dilakukan Desa ini memiliki karakteristik geografis dan penggunaan lahan yang beragam, sehingga menjadi lokasi yang relevan untuk kajian kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Secara umum, Desa Pojok dibagi menjadi tiga kategori penggunaan lahan, yaitu permukiman

penduduk seluas 80,240 hektar, lahan kering seluas 202,510 hektar, dan lahan persawahan seluas 132 hektar. Keberagaman penggunaan lahan tersebut mencerminkan aktivitas masyarakat yang kompleks, termasuk permukiman, pertanian, dan penggunaan lainnya yang dapat memengaruhi kualitas airtanah. Selain itu, ketergantungan masyarakat terhadap airtanah sebagai sumber air untuk kebutuhan domestik dan irigasi menambah urgensi perlindungan terhadap sumber daya ini. Secara geografis, Desa Pojok terletak pada koordinat $8^{\circ}8'14,49''$ hingga $8^{\circ}9'22,79''$ Lintang Selatan dan

$111^{\circ}52'31,71''$ hingga $111^{\circ}55'5,94''$ Bujur Timur. Posisi geografis ini menunjukkan bahwa wilayah desa cukup luas dan memiliki variasi topografi yang signifikan. Kondisi ini berpotensi memengaruhi proses alami seperti peresapan air dan pola aliran permukaan, yang turut menentukan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran (Sosa et al., 2022). Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, analisis spasial menjadi penting untuk mengidentifikasi zona-zona yang berisiko tinggi terhadap pencemaran (Harisuseno et al., 2024).



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Oleh karena itu, pemetaan kerentanan airtanah berbasis parameter lingkungan menjadi langkah awal yang krusial dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan di Desa Pojok. Gambar 2 menampilkan diagram alir penelitian dalam studi ini.

2.2 Analisis Kerentanan Airtanah Metode *Susceptibility Indeks* (SI)

Metode analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Susceptibility Indeks* (SI) (Ghouili et al., 2021). Adapun tahap pengumpulan data yang dilakukan sesuai urutan dari parameter metode *Susceptibility Indeks* (SI).

Tabel 1. Klasifikasi Kedalaman Muka Airtanah

No.	Kedalaman (D) (m)	Peringkat
1	<1,5	100
2	1,5 - 4,6	90
3	4,6 - 9,1	70
4	9,1 - 15,2	50
5	15,2 - 22,9	30
6	22,9 - 30,5	20
7	>30,5	10

Tabel 2. Koefisien Imbuhan Airtanah

No.	Unit Litologi	Koefisien Imbuhan Airtanah (%)
1	Batuan kedap air	10 - 20
2	Alluvial dan endapan piroklastik	60
3	Lava	80
4	Batu pasir - lempung - endapan lempung dan gamping	20
5	Batu gamping	90
6	Piroklastik	40

Tabel 3. Klasifikasi Imbuhan Airtanah

No.	Imbuhan Airtanah (R) (mm/th)	Peringkat
1	<51	10
2	51 - 102	30
3	102 - 178	60
4	178 - 254	80
5	>254	90

Tabel 4. Nilai Resistivitas Batuan

Jenis Batuan	Nilai Resistivitas (Ωm)
Clay/lempung	1 - 100
Silt/lanau	10 - 200
Marls/batulumpur	3 - 70
Kuarsa	10 - 2×10^8
Sandstone/batupasir	50 - 500
Limestone/batukapur	100 - 500
Lava	100 - 5×10^4
Breksi	75 - 200

Tabel 4. (Lanjutan)

Jenis Batuan	Nilai Resistivitas (Ωm)
Andesit	100 - 200
Tufa Vulkanik	20 - 100
Konglomerat	$2 \times 10^3 - 10^4$

Tabel 5. Klasifikasi Media Akuifer

No.	Media Akuifer (A)	Peringkat
1	<i>Shale</i> massif	20
2	Batuan metamorf/beku	30
3	Batuan metamorf/beku lapuk	40
4	Endapan glasial	50
5	Lapisan batu pasir, batu gamping, lapisan <i>shale</i> , batuan piroklastik	60
6	Batu pasir massif	60
7	Batu gamping massif	80
8	Pasir dan kerikil	80
9	Basalt	90
10	Batu gamping karst	100

Pengumpulan data kedalaman muka airtanah dilakukan mengukur jarak permukaan tanah dengan muka airtanah di beberapa sampel sumur warga menggunakan *water level meter*. Hasil pengukuran tersebut kemudian dipetakan dengan *software* ArcGIS 10.4.1 (Elmeknassi et al., 2021). Hasil pemetaan tersebut dapat dianalisis berdasarkan klasifikasi kedalaman muka airtanah pada Tabel 1 (Shinwari et al., 2025). Hasil perhitungan curah hujan yang telah diperoleh akan dikalikan dengan koefisien imbuhan airtanah sesuai unit litologi guna memperoleh nilai imbuhan airtanah yang dapat dilihat pada Tabel 2 (El Hadji B, 2017). Kemudian, nilai tersebut diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3 (Bouali et al., 2024). Nilai imbuhan airtanah yang besar maka besar pula potensi terjadinya pencemaran airtanah di lokasi penelitian. Data pengukuran geolistrik digunakan untuk analisis parameter media akuifer. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi Schlumberger (Bisri, 2012).

Data yang telah diukur di lokasi penelitian akan dianalisis dengan bantuan *software* IP2WIN dan Progress 3.0 dan kemudian diinterpretasi jenis materialnya sesuai Tabel 4. Setelah diketahui jenis batuanannya, maka dapat dianalisis jenis media akuifer berdasarkan Tabel 5 dan dipetakan dengan bantuan *software* ArcGIS 10.4.1.

Tabel 6. Klasifikasi Kemiringan Lereng

No.	Kemiringan Lereng (T) (%)	Peringkat
1	<2	100
2	2 - 6	90
3	6 - 12	50
4	12 - 18	30
5	>18	10

Tabel 7. Klasifikasi Penggunaan Lahan

No.	Penggunaan Lahan	Peringkat
Area pertanian		
1	Tanaman semusim	90
2	Tanaman permanen	70
3	Area pertanian heterogen	50
4	Padang penggembalaan dan area argoforestri	50
Area buatan		
1	area pembuangan sampah	100
2	Area tambang, galangan kapal, Area perkotaan, bandara, pelabuhan, stasiun kereta api, area aktivitas industri dan, ruang terbuka hijau	80
3	Area semi urban	75
4	Area semi urban	70
Area alami		
1	Ekosistem perairan (rawa, laguna, zona pasang surut)	50
2	Hutan dan zona semi alami	0
3	Badan perairan	0

Data kemiringan lereng didapatkan dari data DEM di lokasi penelitian, yaitu Desa Pojok Kabupaten Tulungagung. Pengolahan data tersebut dengan bantuan *software* ArcGIS 10.4.1 menggunakan 3D *Analyst Tools* dan diklasifikasikan sesuai Tabel 6 (Lin & Liou, 2020).

Data penggunaan lahan didapatkan dari Bappeda Kabupaten Tulungagung. Data yang digunakan pada penelitian ini pada kondisi tahun 2023 dan kondisi RTRW Kabupaten Tulungagung tahun 2023-2043. Data tersebut dianalisis dengan bantuan *software* ArcGIS 10.4.1 dan diklasifikasikan sesuai Tabel 7.

Hasil rekapitulasi perhitungan dari kelima parameter di atas akan dianalisis dan dikalikan dengan bobot setiap parameter yang sesuai Tabel 8 (Ncibi et al., 2020).

Tabel 8. Bobot Parameter Metode SI

No.	Parameter	Bobot
1	Kedalaman muka airtanah (D)	0,186
2	Imbuhan airtanah (R)	0,212
3	Media akuifer (A)	0,259
4	Kemiringan lereng (T)	0,121
5	Penggunaan lahan (LU)	0,222

Setelah mengetahui bobot dari setiap parameter, maka dapat diklasifikasikan kerentanan airtanah di lokasi penelitian dan dipetakan berdasarkan tingkat kerentanannya. Klasifikasi tingkat kerentanan sesuai Tabel 9.

Penelitian ini menggunakan persamaan metode *Susceptibility Indeks (SI)* dalam proses perhitungan dan pengolahan data seperti berikut (Fannakh & Farsang, 2022):

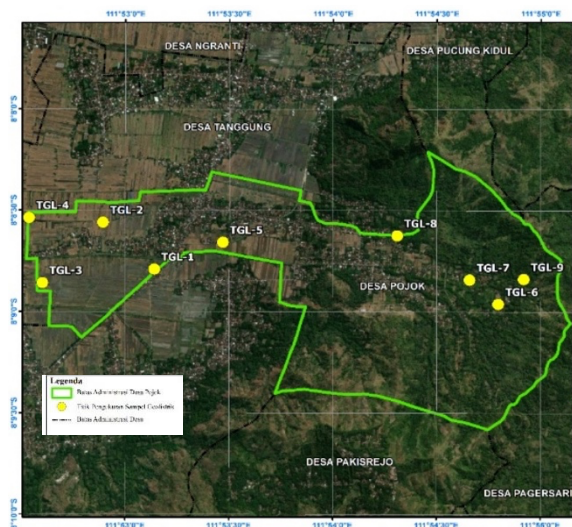
$$SI = D_n \times D_c + R_p \times R_c + A_p \times A_c + T_p \times T_c + LU_p \times LU_c \quad (1)$$

dengan:

- SI = penilaian kerentanan airtanah dengan metode SI
- D = peringkat kedalaman muka airtanah
- R = peringkat imbuhan airtanah
- A = peringkat media akuifer
- T = peringkat kemiringan lereng
- LU = peringkat penggunaan lahan

Tabel 9. Klasifikasi Tingkat Kerentanan Airtanah

No.	Indeks Kerentanan	Klasifikasi Kerentanan
1	80 - 90	Sangat tinggi
2	70 - 80	Tinggi
3	60 - 70	Agak tinggi
4	50 - 60	Agak rendah
5	40 - 50	Rendah
6	5,2 - 40	Sangat rendah



Gambar 3. Peta Sebaran Lokasi Titik Sampel Pengukuran

2.3 Validasi Kualitas Airtanah

Pengambilan sampel air dilakukan pada sembilan titik sumur warga yang telah ditetapkan sebagai titik sampel penelitian (TGL-1 sampai TGL-9) yang ditunjukkan pada Tabel 10. Pemilihan titik sampel mempertimbangkan sebaran spasial yang merata pada tiga dusun (Gedangsewu, Pojok, dan Secang) serta variasi penggunaan lahan dan kondisi hidrogeologi setempat. Sebelum pengambilan sampel, air sumur terlebih dahulu dikeluarkan untuk membuang air yang lama tergenang. Sampel kemudian diambil kembali, lalu diukur menggunakan

alat ukur Horiba seri U-50 yang dimasukkan ke dalam air hasil timbaan. Pengukuran ini menghasilkan data TDS dan kekeruhan sebagai dasar analisis kualitas airtanah.

Adapun alat yang digunakan dalam pengambilan sampel kualitas air, yaitu alat ukur Horiba seri U-50, form pendataan dan alat tulis, serta ember. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hingga siang hari disaat kondisi cuaca yang relatif sama untuk meminimalkan pengaruh fluktuasi suhu ekstrim. Dalam proses pengujian kualitas air tersebut mengacu pada Permenkes No. 2 Tahun 2023.

3. PEMBAHASAN

Susceptibility Index (SI) adalah salah satu metode untuk menganalisis tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang terdiri dari lima parameter, yaitu D adalah *depth of water* (kedalaman muka airtanah), R adalah *recharge* (imbuhan airtanah), A adalah *aquifer media* (media akuifer), T

adalah *topography* (kemiringan lereng), dan LU adalah *land use* (penggunaan lahan).

Setiap parameter memiliki nilai peringkat dari 10 hingga 100 yang menunjukkan potensi pencemaran airtanah dari kategori rendah menuju tinggi. Pada studi ini terdapat sembilan titik sampel pengukuran yang tersebar di lokasi studi secara merata. Gambar 3 dan Tabel 10 menunjukkan sebaran titik lokasi pengukuran.

Berdasarkan titik tersebut, diketahui bahwa air tanah yang berada di lokasi penelitian merupakan air tanah dangkal. Tabel 11 hingga 15 menyajikan hasil pengambilan sampel di sembilan titik yang memiliki lokasi di 3 dusun pada Desa Pojok. Sembilan titik memiliki kode berbeda mulai dari TGL-1 hingga TGL-9. Hasil pengambilan sampel meliputi kedalaman air tanah, imbuhan air tanah, media akuifer, kemiringan lereng, penggunaan lahan, serta disajikan tabel rekapitulasi kondisi eksisting pada tahun 2023 dan kondisi RTRW pada tahun 2023-2024.

Tabel 10. Sebaran Titik Lokasi Pengukuran

No.	Kode Titik	Lokasi		Titik Koordinat	
		Dusun	Desa	LS	BT
1	TGL-1	Gedangsewu	Pojok	8°8'47,40"	111°53'8,29"
2	TGL-2	Gedangsewu	Pojok	8°8'33,51"	111°52'53,47"
3	TGL-3	Gedangsewu	Pojok	8°8'51,43"	111°52'35,97"
4	TGL-4	Gedangsewu	Pojok	8°8'32,14"	111°52'32,09"
5	TGL-5	Pojok	Pojok	8°8'39,41"	111°53'28,11"
6	TGL-6	Secang	Pojok	8°8'57,63"	111°54'47,67"
7	TGL-7	Secang	Pojok	8°8'50,50"	111°54'39,39"
8	TGL-8	Secang	Pojok	8°8'37,39"	111°54'18,43"
9	TGL-9	Secang	Pojok	8°8'50,30"	111°54'55,02"

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Nilai Skor Parameter Kedalaman Muka Airtanah

No.	Kode Titik	Kedalaman Muka Airtanah (D)	Peringkat (D _p)	Bobot (D _c)	Skor (D _p x D _c)
		(m)			
1	TGL-1	1,80	90	0,186	16,74
2	TGL-2	2,55	90	0,186	17
3	TGL-3	2,41	90	0,186	17
4	TGL-4	2,41	90	0,186	17
5	TGL-5	1,90	90	0,186	17
6	TGL-6	13,48	50	0,186	9
7	TGL-7	1,99	90	0,186	17
8	TGL-8	6,65	70	0,186	13
9	TGL-9	13,48	50	0,186	9

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Nilai Skor Parameter Imbuhan Airtanah

No.	Kode Titik	Titik Koordinat		I (mm/th)	Peringkat (R _p)	Bobot (R _c)	Skor (R _p x R _c)
		LS	BT				
1	TGL-1	8°8'47.40"	111°53'8.29"	333,45	90	0,212	19
2	TGL-2	8°8'33.51"	111°52'53.47"	333,45	90	0,212	19
3	TGL-3	8°8'51.43"	111°52'35.97"	358,97	90	0,212	19
4	TGL-4	8°8'32.14"	111°52'32.09"	358,97	90	0,212	19
5	TGL-5	8°8'39.41"	111°53'28.11"	333,45	90	0,212	19
6	TGL-6	8°8'57.63"	111°54'47.67"	333,45	90	0,212	19
7	TGL-7	8°8'50.50"	111°54'39.39"	333,45	90	0,212	19
8	TGL-8	8°8'37.39"	111°54'18.43"	333,45	90	0,212	19
9	TGL-9	8°8'50.30"	111°54'55.02"	333,45	90	0,212	19

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Nilai Skor Parameter Media Akuifer

No.	Kode Titik	Titik Koordinat		Media Akuifer (A)	Peringkat (A _p)	Bobot (A _c)	Skor (A _p x A _c)
		LS	BT				
1	TGL-1	8°8'47.40"	111°53'8.29"	Shale massif	20	0,259	5
2	TGL-2	8°8'33.51"	111°52'53.47"	Shale massif	20	0,259	5
3	TGL-3	8°8'51.43"	111°52'35.97"	Shale massif	20	0,259	5
4	TGL-4	8°8'32.14"	111°52'32.09"	Shale massif	20	0,259	5
5	TGL-5	8°8'39.41"	111°53'28.11"	Shale massif	20	0,259	5
6	TGL-6	8°8'57.63"	111°54'47.67"	Shale massif	20	0,259	5
7	TGL-7	8°8'50.50"	111°54'39.39"	Shale massif	20	0,259	5
8	TGL-8	8°8'37.39"	111°54'18.43"	Shale massif	20	0,259	5
9	TGL-9	8°8'50.30"	111°54'55.02"	Batuan metamorf/beku	30	0,259	8

Tabel 14. Rekapitulasi Perhitungan Nilai Skor Parameter Kemiringan Lereng

No.	Kode Titik	Kemiringan Lereng (T) (%)	Keterangan	Luas (ha)	Peringkat (T _p)	Bobot (T _c)	Skor (T _p x T _c)
1	TGL-1	6 - 12	Agak Curam	98,19	50	0,121	6
2	TGL-2	2 - 6	Landai	122,92	90	0,121	11
3	TGL-3	2 - 6	Landai	122,92	90	0,121	11
4	TGL-4	2 - 6	Landai	122,92	90	0,121	11
5	TGL-5	2 - 6	Landai	122,92	90	0,121	11
6	TGL-6	2 - 6	Landai	122,92	90	0,121	11
7	TGL-7	12 -18	Curam	49,61	30	0,121	4
8	TGL-8	6 - 12	Agak Curam	98,19	50	0,121	6
9	TGL-9	12 -18	Curam	49,61	30	0,121	4

Tabel 15. Perbandingan Rekapitulasi Perhitungan Skor Parameter Penggunaan Lahan Kondisi Eksisting 2023 Dan RTRW 2023-2024

No	Kode titik	Eksisting 2023				Hasil penelitian 2023-2024			
		Penggunaan Lahan	Peringkat	Bobot	Skor	Penggunaan Lahan	Peringkat	Bobot	Skor
1	TGL-1	Sawah	90	0,22	20	Sawah	90	0,22	20
2	TGL-2	Sawah	90	0,22	20	Sawah	90	0,22	20
3	TGL-3	Sawah	90	0,22	20	Sawah	90	0,22	20
4	TGL-4	Sawah	90	0,22	20	Sawah	90	0,22	20
5	TGL-5	Sawah	90	0,22	20	Sawah	70	0,22	16
6	TGL-6	Area Semi Urban	70	0,22	16	Area Semi Urban	70	0,22	16
7	TGL-7	Area Semi Urban	70	0,22	16	Area Semi Urban	70	0,22	16
8	TGL-8	Agroforestri	50	0,22	11	Area Semi Urban	70	0,22	16
9	TGL-9	Agroforestri	50	0,22	11	Agroforestri	50	0,22	11

Indeks kerentanan airtanah dengan metode Susceptibility Index (SI) diperoleh dari hasil penjumlahan skor setiap parameter yang telah dihitung, di mana SI merupakan penilaian kerentanan airtanah dengan metode ini. Parameter yang digunakan terdiri dari peringkat kedalaman muka airtanah (D_p) dan bobotnya (D_c), peringkat imbuhan airtanah (R_p) dan bobotnya (R_c), peringkat media akuifer (A_p) dan bobotnya (A_c), peringkat kemiringan lereng (T_p) dan bobotnya (T_c), serta peringkat penggunaan lahan (LU_p) dan bobotnya (LU_c).

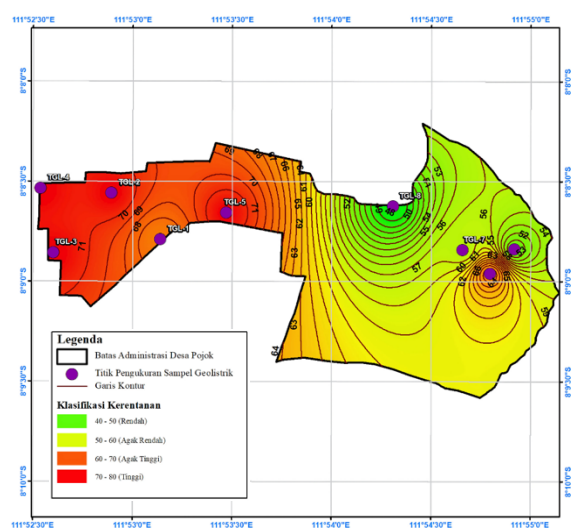
Setiap parameter memiliki kontribusi yang berbeda dalam menentukan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran, sehingga metode SI dapat memberikan gambaran yang komprehensif dalam mengidentifikasi tingkat risiko pencemaran airtanah di wilayah tersebut (Haidery et al., 2023).

Lokasi penelitian ini didominasi batuan kapur dan akuifer dangkal memiliki kerentanan tinggi karena batuan berongga dan banyak rekahan memudahkan peresapan air beserta pencemar menuju akuifer. Kedalaman muka airtanah yang dangkal membuat jarak tempuh pencemar semakin pendek sehingga proses penyaringan alami tanah menjadi kurang efektif. Kondisi ini diperparah oleh penggunaan lahan berupa sawah, permukiman, dan kawasan semi-urban yang menghasilkan limbah domestik serta residu pupuk dan pestisida. Kombinasi antara sifat hidrogeologi yang permeabel dan aktivitas manusia yang intensif menyebabkan beban pencemar meningkat dan mendorong tingginya tingkat kerentanan airtanah di wilayah tersebut.

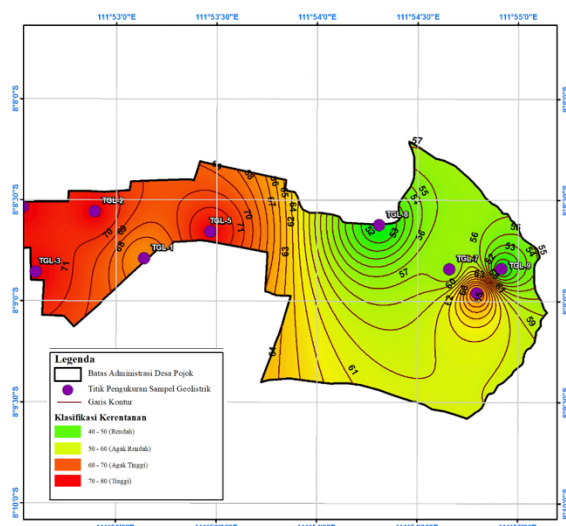
Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa zona dengan kedalaman muka airtanah relatif dangkal

serta dominasi penggunaan lahan permukiman dan pertanian memiliki tingkat kerentanan airtanah yang lebih tinggi, pola yang sejalan dengan temuan (Ribeiro, 2000) dan (Stigter et al., 2005) yang menegaskan peran kunci parameter kedalaman muka airtanah dan penggunaan lahan dalam meningkatkan potensi pergerakan kontaminan menuju akuifer. Konsistensi ini juga diperkuat oleh studi di Indonesia, seperti (Riyanto & Widyastuti, 2016) yang menunjukkan bahwa akuifer bebas di wilayah dengan intensitas aktivitas manusia tinggi cenderung memiliki kelas kerentanan sedang hingga tinggi. Namun, berbeda dengan (Civita, 2010) yang menekankan dominasi imbuhan airtanah pada media berpermeabilitas tinggi, hasil di Desa Pojok mengindikasikan bahwa kontrol litologi karbonat dan struktur geologi lokal lebih berpengaruh dalam membentuk variasi spasial kerentanan, sehingga menegaskan pentingnya kontekstualisasi metode *Susceptibility Index* (SI) terhadap karakteristik hidrogeologi setempat.

Hasil persebaran indeks kerentanan airtanah di lokasi penelitian berdasarkan kondisi eksisting tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 4. Sedangkan, persebaran untuk kondisi RTRW Kabupaten Tulungagung tahun 2023-2043 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Peta hasil indeks kerentanan airtanah metode *Susceptibility Index* (SI) kondisi eksisting tahun 2023



Gambar 5. Peta hasil indeks kerentanan airtanah metode *Susceptibility Index* (SI) RTRW Kabupaten Tulungagung Tahun 2023-2043

Berdasarkan dari Gambar 4. dan Gambar 5., dapat diketahui bahwa persebaran tingkat kerentanan airtanah di lokasi penelitian terlihat relatif sama pada kondisi eksisting tahun 2023 dengan kondisi RTRW Kabupaten Tulungagung tahun 2023-2043. Pada kedua kondisi tersebut terdapat perbedaan tingkat kerentanan di TGL-8, yaitu perubahan dari “rendah” menjadi “agak rendah” dikarenakan perbedaan penggunaan lahan yang semula area agroforestri menjadi area semi urban (Abera et al., 2022). Perubahan ini menunjukkan adanya potensi pencemaran airtanah yang lebih tinggi akibat gangguan fisik yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti perubahan permeabilitas permukaan tanah (Canora et al., 2022). Hal tersebut dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan di lokasi penelitian sebagai berikut:

1. Semakin tinggi tingkat kerentanan airtanah, maka semakin besar pula risiko terkontaminasi oleh polutan akibat aktivitas manusia
2. Adanya perubahan penggunaan lahan dapat meningkatkan potensi airtanah terkontaminasi limbah domestik dari pemukiman, penggunaan pupuk dan pestisida dalam aktivitas pertanian yang intensif, serta pengurangan daerah resapan air akibat pembangunan infrastruktur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa skor parameter kerentanan airtanah dengan metode *Susceptibility Index* (SI) meliputi kedalaman muka airtanah 9–17, imbuhan airtanah 19, media akuifer 5–8, dan kemiringan lereng 4–11. Parameter penggunaan lahan dianalisis pada dua kondisi, yaitu tahun 2023 dan RTRW 2023–2043, dengan rentang skor 11–20. Indeks kerentanan airtanah di Desa Pojok berada pada kisaran 47–72 dan diklasifikasikan menjadi rendah,

agak rendah, agak tinggi, dan tinggi. Pemetaan kerentanan airtanah berdasarkan kondisi penggunaan lahan eksisting tahun 2023 menunjukkan dominasi tingkat kerentanan tinggi, khususnya pada TGL 1–5. Hal ini dipengaruhi oleh dominasi penggunaan lahan berupa sawah serta skor tinggi dari empat parameter lainnya. Sementara itu, pada kondisi RTRW Kabupaten Tulungagung tahun 2023–2043, terjadi perubahan tingkat kerentanan pada wilayah TGL-8. Perubahan ini disebabkan oleh alih fungsi lahan dari area agroforestri menjadi kawasan semi-urban, yang menyebabkan peningkatan potensi kerentanan airtanah terhadap pencemaran di area tersebut.

Penelitian ini mengembangkan kajian sebelumnya dengan tidak hanya menerapkan metode *Susceptibility Index* (SI) secara statis, tetapi memadukannya dengan analisis perubahan tata guna lahan berdasarkan kondisi eksisting dan rencana tata ruang. Pendekatan ini membuat SI lebih mampu menangkap dinamika tekanan aktivitas manusia terhadap sistem airtanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa alih fungsi dari agroforestri menjadi kawasan semi-urban secara nyata meningkatkan nilai kerentanan. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan mengaitkan perubahan penggunaan lahan dengan respon kerentanan airtanah secara langsung, sehingga menghasilkan peta yang lebih adaptif dan relevan sebagai dasar perencanaan tata ruang serta perlindungan airtanah berkelanjutan.

Peta kerentanan airtanah dari hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pemerintah daerah dan pemangku kebijakan sebagai dasar penetapan zona perlindungan airtanah, pengendalian tata guna lahan, serta prioritas pembangunan infrastruktur sanitasi dan sistem pengolahan limbah pada area dengan tingkat kerentanan sedang hingga tinggi. Selain itu, hasil ini memberikan acuan bagi sektor pertanian untuk mengarahkan praktik budidaya yang lebih ramah lingkungan dan bagi masyarakat untuk terlibat dalam pemantauan kualitas airtanah secara partisipatif guna mencegah potensi pencemaran sejak dini. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah titik sampel pengukuran kedalaman muka airtanah dan geolistrik yang relatif terbatas serta penggunaan bobot parameter SI yang mengacu pada literatur, sehingga variasi lokal hidrogeologi dan dinamika penggunaan lahan belum sepenuhnya terakomodasi dan berpotensi memengaruhi tingkat presisi hasil analisis.

PUSTAKA

Abera, K. A., Gebreyohannes, T., Abrha, B., Hagos, M., Berhane, G., Hussien, A., Belay, A. S., Van Camp, M., & Walraevens, K. (2022). Vulnerability Mapping of Groundwater Resources of Mekelle City and Surroundings, Tigray Region, Ethiopia. *Water (Switzerland)*, 14(16), 1–22.

- <https://doi.org/10.3390/w14162577>
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, Jh., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. US Environmental Protection Agency. *Washington, DC*, 455.
- Bisri, M. (2012). *Air Tanah* (1st ed.). UB Press.
- Bouali, H., Boulabeiz, M., Dib, D., Idir, S., & Slimani, F. (2024). Comparative Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution in a Semi-Arid Area Using DRASTIC, SINTACS, GOD, and SI Methods: A Case Study of the Ank Djamel Watershed, Northeastern Algeria. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4), 345–352.
- Canora, F., Muzzillo, R., & Sdao, F. (2022). Groundwater Vulnerability Assessment in the Metaponto Coastal Plain (Basilicata, Italy). *Water (Switzerland)*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/w14121851>
- Civita, M., & De Maio, M. (2004). Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: the Italian combined approach. *Geofisica Internazionale*, 43(4), 513–532.
- Civita, M. V. (2010). *The combined approach when assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination. J Water Resour Prot 2: 14–28.*
- El Hadji B, D. (2017). Assessment of groundwater vulnerability by Susceptibility Index (SI) method in The Niayes Area , Senegal. *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 11(December 2017), 247–257.
- El Yousfi, Y., Himi, M., Aqnouy, M., Benyoussef, S., Gueddari, H., Lamine, I., El Ouarghi, H., Alali, A., Ait Hmeid, H., Chahban, M., Alitane, A., Elaaraj, A., Abdelrahman, K., Abu-Alam, T., Ait Boughrou, A., Khafouri, A., & Abioui, M. (2023). Pollution Vulnerability of the Ghiss Nekkor Alluvial Aquifer in Al-Hoceima (Morocco), Using GIS-Based DRASTIC Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph20064992>
- Elmeknassi, M., El Mandour, A., Elgettafi, M., Himi, M., Tijani, R., El Khantouri, F. A., & Casas, A. (2021). A GIS-based approach for geospatial modeling of groundwater vulnerability and pollution risk mapping in Bou-Areg and Gareb aquifers, northeastern Morocco. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51612–51631. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14336-0>
- Fannakh, A., & Farsang, A. (2022). DRASTIC, GOD, and SI approaches for assessing groundwater vulnerability to pollution: a review. *Environmental Sciences Europe*, 34(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00646-8>
- Fenta, M. C., Anteneh, Z. L., Szanyi, J., & Walker,

- D. (2020). Hydrogeological framework of the volcanic aquifers and groundwater quality in Dangila Town and the surrounding area, Northwest Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(May), 100408. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100408>
- Foster, S. S. D. (1987). *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy*.
- Ghouili, N., Jarraya-Horriche, F., Hamzaoui-Azaza, F., Zaghrarni, M. F., Ribeiro, L., & Zammouri, M. (2021). Groundwater vulnerability mapping using the Susceptibility Index (SI) method: Case study of Takelsa aquifer, Northeastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 173, 104035. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.104035>
- Haidery, A., Umar, R., & us Saba, N. (2023). Approaches for Groundwater Vulnerability Assessment in Relation to Pollution Potential: A Critical Evaluation and Challenges. *Journal of the Geological Society of India*, 99(8), 1149–1157. <https://doi.org/10.1007/s12594-023-2440-8>
- Hamed, M. H., Dara, R. N., & Kirlas, M. C. (2024). Groundwater vulnerability assessment using a GIS-based DRASTIC method in the Erbil Dumpsite area (Kani Qirzhala), Central Erbil Basin, North Iraq. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 12(1), 16–33. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2024.9280003>
- Harisuseno, D., Sajali, M. A., & Dewi, W. M. (2024). Pemetaan Spasial Kekeringan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) di DAS Blega, Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Teknika*, 16(2), 67–78. <https://doi.org/10.30736/jt.v16i2.1241>
- Kintoro, F. S., Adji, T. N., & Widyastuti, M. (2025). Land use changes and their impact on groundwater vulnerability's spatio-temporal conditions. *Journal of Degraded & Mining Lands Management*, 12(2).
- Konstantinos, V., & Nerantzis, K. (2021). Groundwater quality and groundwater vulnerability assessment. *Environments - MDPI*, 8(10), 8–9. <https://doi.org/10.3390/environments8100100>
- Li, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., & Srinivasamoorthy, K. (2021). Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>
- Lin, J. J., & Liou, Y. A. (2020). Integrating in-situ data and rs-gis techniques to identify groundwater potential sites in mountainous regions of Taiwan. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/AP10124119>
- Ncibi, K., Chaar, H., Hadji, R., Baccari, N., Sebei, A., Khelifi, F., Abbes, M., & Hamed, Y. (2020). A GIS-based statistical model for assessing groundwater susceptibility index in shallow aquifer in Central Tunisia (Sidi Bouzid basin). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(2). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5112-7>
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F., & Abyaneh, M. R. (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, 244, 575–587.
- Ribeiro, L. (2000a). *IS: Um novo índice de susceptibilidade de aquíferos à contaminação agrícola* (1st ed.). Instituto Superior Técnico Lisbon.
- Ribeiro, L. (2000b). *IS: um novo índice de susceptibilidade de aquíferos á contaminação agrícola [SI: a new index of aquifer susceptibility to agricultural pollution]*. *Internal Report, ERSHA/CVRM, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal*, 12.
- Riyanto, I. A., & Widyastuti, M. (2016). Kerentanan intrinsik dan spesifik airtanah terhadap pencemaran di kecamatan banjarnegara dan sekitarnya. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(4), 228791.
- Shinwari, F. U., Khan, M. A., Siyar, S. M., Liaquat, U., Kontakiotis, G., Zhuran, M., Shahab, M., & Alshehri, F. (2025). Evaluating the contamination susceptibility of groundwater resources through anthropogenic activities in Islamabad, Pakistan: a GIS-based DRASTIC approach. *Applied Water Science*, 15(4), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02374-9>
- Sosa, J. I. M., Anguamea, G. A. G., Monreal, R., Noriega, F. J. G., & Tapia-Villaseñor, E. M. (2022). Hydrogeomorphologic Mapping of the Transboundary San Pedro Aquifer: A Tool for Groundwater Characterization. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/w14060906>
- Stempvoort, D. Van, Ewert, L., & Wassenaar, L. (1993). Aquifer vulnerability index: a GIS-compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*, 18(1), 25–37.
- Stigter, T. Y., Ribeiro, L., & Dill, A. M. M. C. (2005). Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *Hydrogeology Journal*, 14(1), 79–99.