

Penilaian Tingkat Kerentanan Intrinsik Air Tanah terhadap Pencemaran dengan Menggunakan Metode SINTACS di Kecamatan Ngoro Kabupaten Jombang

Natalia Deassy Arianti*, Hari Siswoyo, Mohammad Bisri

Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, 65145

*email korespondensi: thaliadeassy@gmail.com

Received: 5 Desember 2023; **Revised:** 16 Februari 2024; **Accepted:** 29 Februari 2024; **Published:** 1 Agustus 2024

ABSTRAK

Air tanah merupakan semua air yang menempati rongga-rongga di dalam batuan dalam kondisi jenuh dengan pergerakan yang lambat dan waktu tinggal yang lama sehingga akan lama untuk pulih jika sudah tercemar. Kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran sangat berkaitan dengan kondisi fisik batuan, tanah, dan hidrogeologinya yang secara alami dapat menjadi pelindung bagi air tanah terhadap pencemaran. Sebagian besar penduduk di wilayah Kecamatan Ngoro Kabupaten Jombang masih menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan domestik. Aktivitas domestik maupun pertanian di wilayah setempat berpotensi mencemari air tanah. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menilai tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran, untuk selanjutnya dilakukan penyusunan peta zonasinya. Sejumlah 23 contoh sumur gali milik penduduk diamati, diukur, dan dianalisis dengan mempertimbangkan aspek spasial dan temporal selama 5 bulan mulai bulan Juli 2023 hingga bulan November 2023. Penilaian tingkat kerentanan air tanah dilakukan dengan menggunakan Metode SINTACS berdasarkan tujuh parameter yaitu kedalaman muka air tanah (S), infiltrasi (I), zona aerasi (N), tekstur tanah (T), media akuifer (A), konduktivitas batuan (C), dan kemiringan lereng (S). Berdasarkan hasil penelitian dapat disusun peta zonasi kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran, dimana untuk peta bulan Juli 2023 hingga bulan September 2023 lokasi penelitian terbagi menjadi 4 zona kerentanan (sedang, agak tinggi, tinggi, sangat tinggi), sedangkan untuk bulan Oktober 2023 dan November 2023 terbagi menjadi 3 zona kerentanan (sedang, agak tinggi, dan tinggi). Peta zonasi tingkat kerentanan dapat digunakan oleh pemerintah sebagai acuan dalam pembuatan keputusan terkait kebijakan pengelolaan sumber daya air tanah untuk mencegah pencemaran air tanah.

Kata-kata kunci: air tanah; intrinsik; kerentanan; metode SINTACS; pencemaran

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (Undang-Undang RI, 2019). Berdasarkan keberadaannya, air tanah dibedakan menjadi dua yakni air tanah dangkal dan air tanah dalam (Sutandi, 2012). Air tanah dangkal merupakan air yang terletak di bagian bawah permukaan tanah dan di atas lapisan *impermeable*, sedangkan air tanah dalam terletak di bawah lapisan air tanah dangkal dan di antara dua lapisan batuan *impermeable* (Kumalasari & Satoto, 2011). Air tanah cenderung rentan terhadap pencemaran karena memiliki pergerakan yang lambat serta waktu tinggal yang lama (Effendi, 2003). Kerentanan air tanah dapat dibedakan menjadi dua aspek utama, yaitu kerentanan intrinsik dan kerentanan ekstrinsik. Kerentanan intrinsik merupakan kerentanan yang terkait dengan batuan penyusun di bawah permukaan tanah sementara kerentanan ekstrinsik adalah kerentanan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan kondisi lingkungan di atas permukaan tanah (Sartika et al., 2020; Widiastuti & Widyastuti, 2012). Air tanah dangkal akan lebih rentan terhadap pencemaran karena lebih dekat dengan sumber kontaminan (Putranto et al., 2016).

Kecamatan Ngoro adalah salah satu kecamatan yang berada di wilayah Kabupaten Jombang Provinsi Jawa Timur yang terdiri atas 13 desa, dimana sebagian besar penduduknya menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan domestik. Jumlah penduduk di wilayah Kecamatan Ngoro mengalami peningkatan dari tahun 2012 sebanyak 69.683 jiwa hingga tahun 2022 mencapai 81.889 jiwa (Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang, 2022). Pertumbuhan penduduk yang pesat dapat berdampak pada peningkatan kebutuhan air tanah, mengingat air tanah masih menjadi sumber air yang utama bagi penduduk setempat (Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang, 2022). Sementara itu, adanya aktivitas pertanian yang dominan, industri, maupun domestik berpotensi meningkatkan risiko pencemaran air tanah di daerah setempat. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya pencemaran air tanah adalah dengan membuat

zonasi kerentanan air tanah berdasarkan penilaian tingkat kerentanannya. Peta zonasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam upaya mencegah terjadinya pencemaran air tanah.

Sejumlah penelitian terkait kerentanan air tanah terhadap pencemaran telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu di berbagai lokasi seperti di Yordania (Kuisi et al., 2006), di India (Kumar et al., 2013; Kumari et al., 2016; Sahu et al., 2022), di Pulau Bunguran (Febriarta & Shofarini, 2021), di Kota Jember (Febriarta, et al., 2021), dan di tambang emas wilayah Aceh (Fakhrudin & Mardiyanto, 2023). Para peneliti tersebut memetakan sebaran tingkat kerentanan air tanah di lokasi penelitian secara spasial berdasarkan dari pengamatan, pengukuran, dan analisis pada waktu tertentu saja. Hingga saat ini, belum banyak penelitian serupa yang mempertimbangkan aspek spasial dan temporal secara sekaligus untuk menggambarkan peta kerentanan intrinsik air tanah.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menilai serta memetakan tingkat kerentanan air tanah dengan mempertimbangkan variasi spasial dan temporal. Penilaian tingkat kerentanan air tanah dilakukan dengan menggunakan Metode SINTACS kemudian dipetakan hasilnya untuk mendapatkan peta zonasi kerentanan air tanah. Terdapat beberapa metode lain untuk menilai tingkat kerentanan air tanah yang telah digunakan oleh para peneliti terdahulu, misalnya penggunaan metode DRASTIC di Kalurahan Jatisarone (Azzah et al., 2011) dan di Cekungan Air Tanah (CAT) Karanganyar-Boyolali, Provinsi Jawa Tengah (Putranto, 2019), di Saudi Arabia (Ahmed et al., 2018), kemudian metode GOD pada formasi batugamping koral Kota Saumlaki, Maluku (Febriarta, et al., 2021), di Kota Semarang (Hastuti et al., 2016), dan di Kota Banda Aceh (Sartika et al., 2020), metode *Susceptibility Index* (SI) di TPA Sarimukti Provinsi Jawa Barat (Hilmawan et al., 2021) dan di Sub DAS Amprong Kota Malang Jawa Timur (Hezron et al., 2023), dan metode *Aquifer Vulnerability Index* (AVI) di Kabupaten Jombang Jawa Timur (Siswoyo & Azhar, 2019). Dari banyaknya metode tersebut, metode SINTACS dipilih karena terbukti memiliki kemampuan untuk menghasilkan nilai indeks kerentanan dengan rentang yang luas sehingga memungkinkan pengidentifikasian zona kerentanan yang lebih terperinci (Febriarta & Shofarini, 2021). Peta yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dijadikan sebagai landasan oleh penentu kebijakan dalam mengantisipasi terjadinya pencemaran air tanah di daerah setempat. Hal ini dikarenakan terjadinya pencemaran air tanah dapat berdampak pada kesehatan manusia, seperti menurunnya kualitas air minum dan penyebaran penyakit mengingat air tanah yang masih dimanfaatkan untuk kebutuhan air minum dan rumah tangga lainnya di lokasi penelitian.

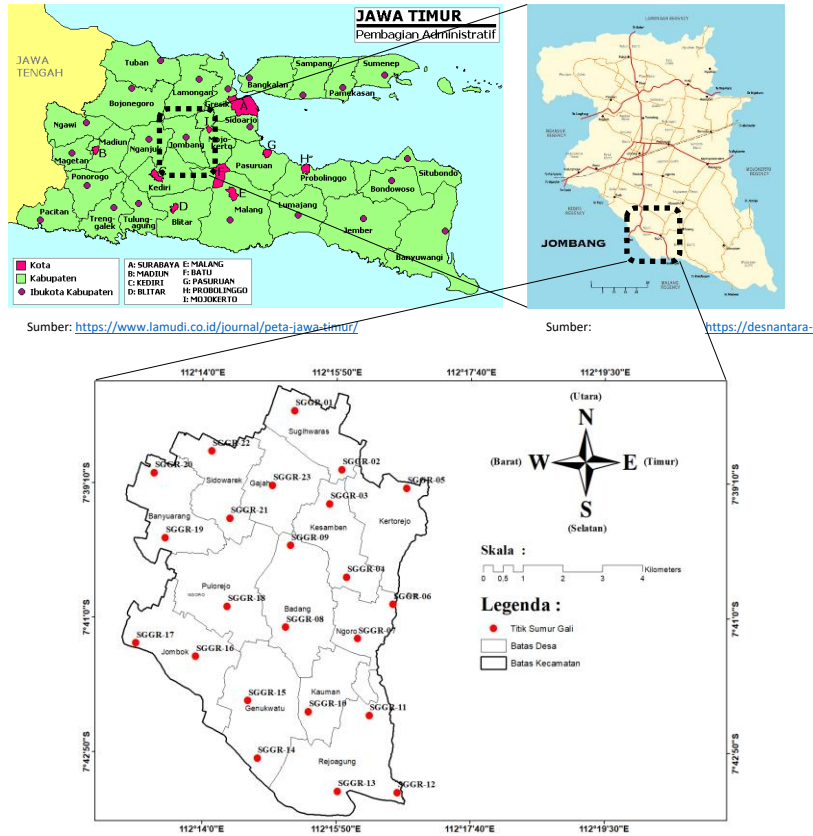
EKSPERIMEN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kecamatan Ngoro, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur. Wilayah Kecamatan Ngoro terletak pada koordinat antara 112°13'0" BT sampai dengan 112°18'0" BT dan 7°38'0" LS sampai dengan 7°44'0" LS. Contoh penelitian adalah 23 sumur gali yang diamati selama secara periodik mulai bulan Juli 2023 sampai dengan bulan November 2023. Peta lokasi penelitian beserta sebaran lokasi sumur gali ditunjukkan dalam **Gambar 1**.

Alat dan Bahan

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah meteran dengan panjang 50 m untuk mengukur kedalaman muka air tanah, paket program komputer Rockworks 16 (*free trial version*), paket program komputer ArcMap 10.4 (*free access*), dan paket program komputer Google Earth Pro (*free access*). Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu kedalaman muka air tanah yang didapatkan dari pengukuran elevasi muka air tanah dikurangi dengan elevasi permukaan tanah (Siswoyo & Azhar, 2019), data kemiringan lereng yang didapatkan dari *website* Indonesia Geospatial Portal (<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>), log litologi sumur gali yang didapatkan dari hasil pendugaan dengan data log litologi dari sumur bor yang berada di sekitar lokasi sumur gali dengan menggunakan program komputer Rockworks 16 (*free trial version*). Data log litologi ini dapat mendeskripsikan jenis batuan di sumur gali yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai infiltrasi (I), zona aerasi (N), media akuifer (A), dan konduktivitas (C).



Gambar 1. Peta lokasi dan sebaran contoh penelitian

Prosedur Kerja

Penilaian kerentanan air tanah dengan menggunakan Metode SINTACS dilakukan berdasarkan pemberian skor dan nilai bobot untuk setiap parameter hidrogeologi. Parameter yang dipertimbangkan dalam Metode SINTACS adalah kedalaman muka air tanah (S), infiltrasi (I), zona aerasi (N), tekstur tanah (T), media akuifer (A), konduktivitas batuan (C), dan kemiringan lereng (S). Setiap parameter dinilai berdasarkan klasifikasi batuan penyusunnya. Pemberian nilai dan bobot untuk masing-masing parameter berdasarkan ketentuan yang telah diberikan dengan skenario dampak menyesuaikan kondisi di lapangan (Civita & De Maio, 2004).

Nilai dan bobot juga diberikan dengan berdasarkan dampak yang dapat memicu terjadinya kerentanan air tanah sesuai kondisi yang ada di daerah setempat (Febriarta & Shofarini, 2021; Putranto et al., 2016). Nilai dan bobot yang telah diberikan tersebut kemudian dihitung secara linier menggunakan persamaan kerentanan indeks SINTACS (Civita & De Maio, 2004):

$$\text{Indeks SINTACS} = Sr.Sw + Ir.Iw + Nr.Nw + Tr.Tw + Ar.Aw + Cr.Cw + Sr.Sw \tag{1}$$

Keterangan:

- Sr = nilai parameter kedalaman muka air tanah (S),
- Sw = bobot parameter kedalaman muka air tanah (S),
- Ir = nilai parameter infiltrasi (I),
- Iw = bobot parameter infiltrasi (I),
- Nr = nilai parameter zona aerasi (N),
- Nw = bobot parameter zona aerasi (N),
- Tr = nilai parameter tekstur tanah (T),
- Tw = bobot parameter tekstur tanah (T),
- Ar = nilai parameter media akuifer (A),
- Aw = bobot parameter media akuifer (A),
- Cr = nilai parameter konduktivitas batuan (C),
- Cw = bobot parameter konduktivitas batuan (C),
- Sr = nilai parameter kemiringan lereng (S),
- Sw = bobot parameter kemiringan lereng (S).

Klasifikasi kelas kerentanan berdasarkan nilai indeks SINTACS ditunjukkan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria kelas kerentanan intrinsik air tanah berdasarkan metode SINTACS

Kelas kerentanan air tanah	Interval nilai indeks SINTACS
Sangat Rendah	<80
Rendah	80 - 104
Sedang	105 - 139
Agak tinggi	140 - 185
Tinggi	186 - 210
Sangat Tinggi	>210

Sumber: (Civita & De Maio, 2004)

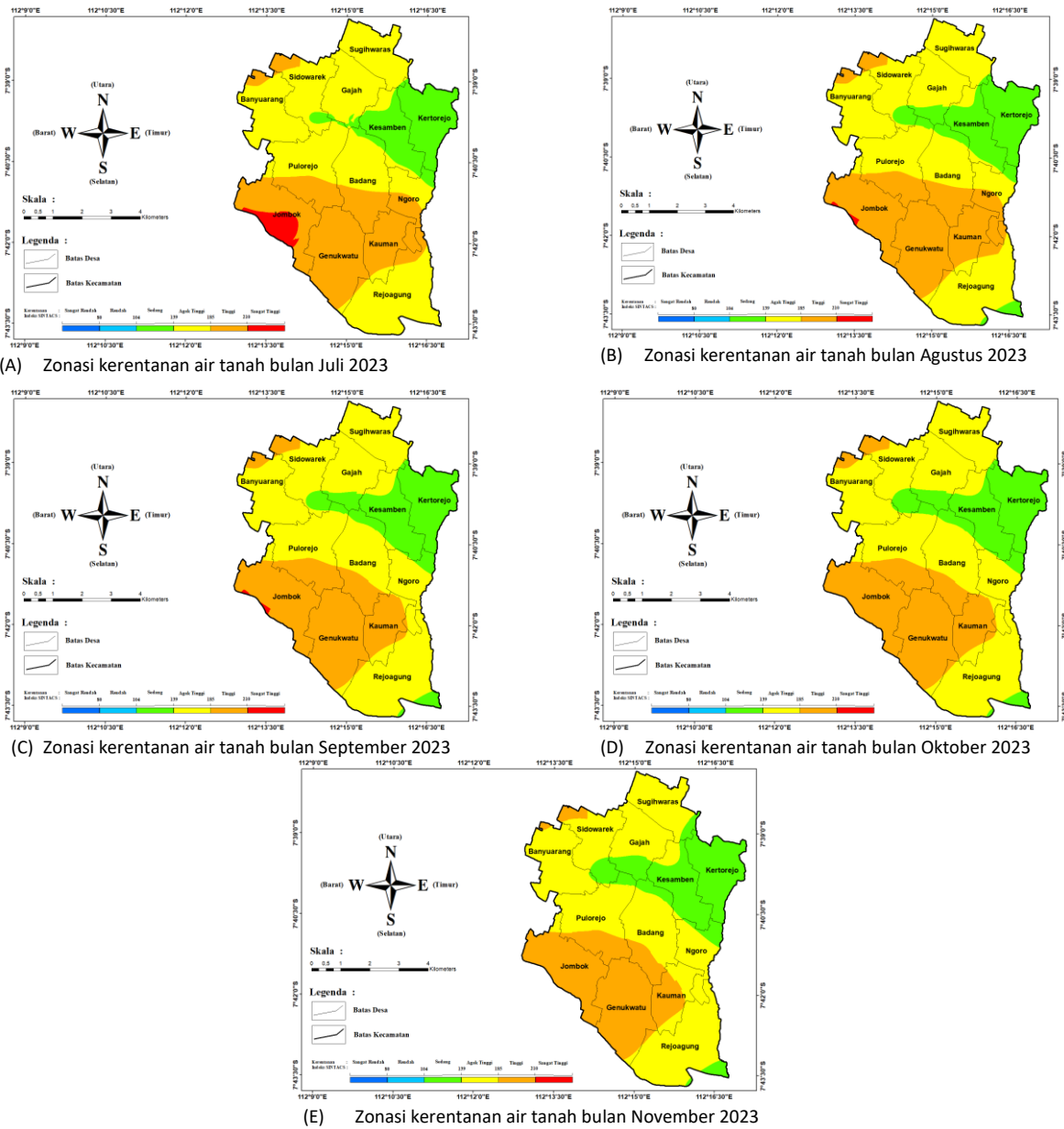
Hasil dari perhitungan nilai indeks kerentanan SINTACS dipetakan menggunakan paket program komputer ArcMap 10.4 (*free access*) berdasarkan Metode Kriging. Metode Kriging merupakan metode interpolasi yang digunakan untuk memperkirakan nilai pada lokasi yang tidak memiliki data contoh dengan mempertimbangkan data di sekitarnya. Metode Kriging dapat memperhitungkan jarak antara titik-titik data dan memperhitungkan kovariansi spasial antara titik-titik data tersebut (Fathurrachman, 2018; Pramono, 2008; Respatti et al., 2014).

HASIL DAN DISKUSI

Pengukuran kedalaman muka air tanah dilakukan di 23 lokasi sumur gali seperti ditunjukkan dalam **Gambar 1**. Berdasarkan kedalaman muka air tanah tersebut dapat ditentukan nilai parameter SINTACS di setiap sumur gali. Hasil perhitungan nilai indeks SINTACS dan kelas kerentanan air tanah selama periode waktu penelitian ditunjukkan dalam **Tabel 2**. Berdasarkan nilai indeks SINTACS pada tabel tersebut, dapat digambarkan peta sebaran kelas kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran di lokasi penelitian seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2** dan dengan proporsi luasan seperti ditunjukkan dalam **Tabel 3**.

Tabel 2. Hasil identifikasi kelas kerentanan air tanah

Kode Sumur	Nilai indeks SINTACS dan kelas kerentanan air tanah									
	Juli 2023		Agustus 2023		September 2023		Oktober 2023		November 2023	
	Indeks SINTACS	Kelas Kerentanan	Indeks SINTACS	Kelas Kerentanan	Indeks SINTACS	Kelas Kerentanan	Indeks SINTACS	Kelas Kerentanan	Indeks SINTACS	Kelas Kerentanan
SGGR-01	161,50	Agak Tinggi	161,50	Agak Tinggi	159,00	Agak Tinggi	159,00	Agak Tinggi	159,00	Agak Tinggi
SGGR-02	178,50	Agak Tinggi	178,50	Agak Tinggi	178,50	Agak Tinggi	178,50	Agak Tinggi	178,50	Agak Tinggi
SGGR-03	142,00	Agak Tinggi	142,00	Agak Tinggi	143,50	Agak Tinggi	143,50	Agak Tinggi	143,50	Agak Tinggi
SGGR-04	134,25	Sedang	134,25	Sedang	131,75	Sedang	131,75	Sedang	131,75	Sedang
SGGR-05	126,50	Sedang	124,00	Sedang	117,50	Sedang	117,50	Sedang	117,50	Sedang
SGGR-06	125,00	Sedang	125,00	Sedang	122,50	Sedang	122,50	Sedang	122,50	Sedang
SGGR-07	208,75	Tinggi	203,75	Tinggi	180,25	Agak Tinggi	180,25	Agak Tinggi	180,25	Agak Tinggi
SGGR-08	192,75	Tinggi	192,75	Tinggi	192,75	Tinggi	190,25	Tinggi	190,25	Tinggi
SGGR-09	140,00	Agak Tinggi	137,50	Sedang	137,50	Sedang	137,50	Sedang	137,50	Sedang
SGGR-10	191,50	Tinggi	191,50	Tinggi	191,50	Tinggi	191,50	Tinggi	191,50	Tinggi
SGGR-11	186,00	Tinggi	186,00	Tinggi	183,50	Agak Tinggi	183,50	Agak Tinggi	183,50	Agak Tinggi
SGGR-12	152,50	Agak Tinggi	132,50	Sedang	132,50	Sedang	132,50	Sedang	132,50	Sedang
SGGR-13	146,00	Agak Tinggi	146,00	Agak Tinggi	146,00	Agak Tinggi	146,00	Agak Tinggi	146,00	Agak Tinggi
SGGR-14	201,00	Tinggi	198,50	Tinggi	198,50	Tinggi	198,50	Tinggi	198,50	Tinggi
SGGR-15	199,50	Tinggi	199,50	Tinggi	199,50	Tinggi	199,50	Tinggi	199,50	Tinggi
SGGR-16	212,25	Sangat Tinggi	207,25	Tinggi	207,25	Tinggi	207,25	Tinggi	207,25	Tinggi
SGGR-17	210,25	Sangat Tinggi	210,25	Sangat Tinggi	210,25	Sangat Tinggi	207,75	Tinggi	207,75	Tinggi
SGGR-18	191,25	Tinggi	191,25	Tinggi	191,25	Tinggi	191,25	Tinggi	188,75	Tinggi
SGGR-19	145,00	Agak Tinggi	145,00	Agak Tinggi	145,00	Agak Tinggi	145,00	Agak Tinggi	145,00	Agak Tinggi
SGGR-20	189,00	Tinggi	189,00	Tinggi	189,00	Tinggi	189,00	Tinggi	184,00	Tinggi
SGGR-21	137,50	Sedang	135,00	Sedang	135,00	Sedang	132,50	Sedang	132,50	Sedang
SGGR-22	186,00	Tinggi	186,00	Tinggi	186,00	Tinggi	186,00	Tinggi	186,00	Tinggi
SGGR-23	146,00	Agak Tinggi	146,00	Agak Tinggi	146,00	Sedang	146,00	Sedang	143,50	Sedang
Rata-rata	169,70		167,96		166,28		165,96		165,52	
Minimum	125,00		124,00		117,50		117,50		117,50	
Maksimum	212,25		210,25		210,25		207,75		207,75	



Gambar 2. Peta zonasi kerentanan air tanah di lokasi penelitian

Mengacu pada Tabel 2, dapat dinyatakan bahwa kelas kerentanan air tanah di Kecamatan Ngoro pada bulan Juli 2023 hingga September 2023 terbagi menjadi 4 kelas (sedang, agak tinggi, tinggi, dan sangat tinggi), sedangkan pada bulan Oktober 2023 dan November 2023 terbagi menjadi 3 kelas (sedang, agak tinggi, dan tinggi). Secara umum, nilai indeks SINTACS di setiap bulan mengalami penurunan. Penurunan nilai indeks SINTACS ini disebabkan faktor kedalaman muka air tanah sehingga menyebabkan perubahan pada parameter-parameter lainnya. Menurunnya muka air tanah dapat menyebabkan perubahan kondisi hidrogeologi di lokasi penelitian (Hendrayana, 2011).

Tabel 3. Luasan sebaran spasial dan semporal kerentanan air tanah

Bulan	Kelas Kerentanan Sedang		Kelas Kerentanan Agak Tinggi		Kelas Kerentanan Tinggi		Kelas Kerentanan Sangat Tinggi	
	Luasan km ²	Prosentase (%)	Luasan km ²	Prosentase (%)	Luasan km ²	Prosentase (%)	Luasan km ²	Prosentase (%)
Juli	7,30	14,64	24,53	49,19	16,82	33,74	1,21	2,43
Agustus	8,69	17,43	23,49	47,10	17,59	35,29	0,09	0,18
September	8,83	17,72	25,34	50,82	15,61	31,31	0,08	0,15
Oktober	9,19	18,42	25,22	50,58	15,45	30,99	0,00	0,00
November	9,64	19,34	26,12	52,39	14,10	28,27	0,00	0,00

Secara temporal, sejumlah 15 sumur (65%) dari 23 contoh sumur gali memiliki kecenderungan nilai indeks yang menurun, 6 sumur (30%) tidak memiliki kecenderungan atau tetap dan sejumlah 1 sumur (5%) mengalami peningkatan yakni pada SGGR-03. Kecenderungan menurunnya nilai tersebut seiring waktu

penelitian disebabkan oleh penurunan nilai parameter kedalaman muka air. Parameter kedalaman muka air tanah (S) merupakan parameter dengan bobot terbesar, sehingga dengan perubahan nilai sedikit saja dapat mempengaruhi nilai indeks kerentanannya (Civita & De Maio, 2004; Putranto & Kuswoyo, 2008). Sementara itu, penurunan kedalaman muka air tanah juga terjadi pada 30% sumur lainnya, tetapi nilai indeks kerentanannya tidak berubah selama lima bulan. Hal ini dapat terjadi karena lapisan batuan yang cukup tebal di bawah permukaan tanah sehingga perubahan kedalaman muka air tanah yang tidak terlalu signifikan tidak akan memberi dampak yang terlalu besar untuk nilai Indeks SINTACS-nya (Hastuti et al., 2016).

Kecenderungan peningkatan nilai indeks SINTACS yang terjadi pada SGGR-03 mulai terlihat pada bulan September. Kondisi tersebut diakibatkan oleh perubahan nilai konduktivitas batuan yang terjadi sebagai dampak dari menurunnya muka air tanah di bulan tersebut. Perubahan kedalaman muka air tanah ini dapat mempengaruhi lapisan batuan yang dinilai (Putranto & Kuswoyo, 2008). Perubahan nilai konduktivitas ini dapat berdampak pada pemberian nilai parameter yang berubah juga. Kedalaman lapisan batuan pasir halus menyebabkan nilai konduktivitas batuan meningkat dan mempengaruhi nilai indeks SINTACS-nya (Putranto & Kuswoyo, 2008).

Berdasarkan hasil zonasi yang ditunjukkan dalam **Gambar 2**, pola kerentanan air tanah cenderung sama setiap bulan, dimana lokasi penelitian didominasi oleh kelas kerentanan agak tinggi. Daerah dengan kelas kerentanan sedang (berwarna hijau) adalah daerah dengan nilai indeks SINTACS yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang memiliki kelas kerentanan agak tinggi, tinggi dan sangat tinggi. Berkurangnya tingkat kerentanan sangat tinggi (berwarna merah) mulai bulan Oktober 2023 disebabkan oleh kembali menurunnya muka air tanah di daerah tersebut sehingga mempengaruhi nilai indeks kerentanannya. SGGR-16 dan SGGR-17 yang sebelumnya memiliki kelas kerentanan sangat tinggi, terus mengalami penurunan nilai indeks di setiap bulannya seperti ditunjukkan dalam **Tabel 2**.

Berdasarkan **Gambar 2**, dapat ditunjukkan bahwa wilayah dengan kelas kerentanan sedang (berwarna hijau) adalah wilayah dengan penyusun batuan berporositas kecil seperti liat, tufa, dan lempung (Effendi et al., 2015; Masdari et al., 2022). Ukuran butiran yang kecil ini dapat memperkecil kemungkinan air dapat lolos yang menjadi penyebab terjadinya pencemaran akuifer (Fakruddhin et al., 2019). Sebaliknya, daerah dengan kelas kerentanan yang lebih tinggi tersusun atas batuan pasir, breksi atau batuan konglomerat yang memiliki ukuran butiran yang lebih besar dan memudahkan polutan untuk mencemari akuifer. Daerah dengan kelas kerentanan rendah juga bisa berpotensi tercemar apabila terkontaminasi oleh polutan terus menerus dalam jangka waktu yang lama, sementara kelas kerentanan yang tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut lebih tinggi potensi pencemaran air tanahnya (Foster et al, 2002).

Secara spasial, nilai indeks kerentanan menunjukkan hasil yang semakin menurun ke arah Utara dan Timur. Kecenderungan menurun ini disebabkan oleh semakin menurunnya nilai Indeks SINTACS di bagian Utara dan Timur wilayah Kecamatan Ngoro. Rendahnya nilai indeks SINTACS di wilayah tersebut disebabkan oleh kondisi batuan dengan porositas yang kecil sehingga nilai parameter yang diberikan juga semakin kecil. Sebaliknya, di bagian Selatan dan Barat wilayah Kecamatan Ngoro memiliki kondisi batuan dengan porositas yang besar sehingga nilai parameter yang diberikan juga besar. Besar kecilnya nilai masing-masing parameter model SINTACS dapat mempengaruhi nilai indeks kerentanan SINTACS (Febriarta & Shofarini, 2021; Kumari et al., 2016).

Hasil zonasi kelas kerentanan air tanah menunjukkan bahwa kelas kerentanan bersifat dinamis dan dapat berubah di setiap bulannya tergantung pada kedalaman muka air tanah. Seperti ditunjukkan dalam **Mengacu pada Tabel 2**, dapat dinyatakan bahwa kelas kerentanan air tanah di Kecamatan Ngoro pada bulan Juli 2023 hingga September 2023 terbagi menjadi 4 kelas (sedang, agak tinggi, tinggi, dan sangat tinggi), sedangkan pada bulan Oktober 2023 dan November 2023 terbagi menjadi 3 kelas (sedang, agak tinggi, dan tinggi). Secara umum, nilai indeks SINTACS di setiap bulan mengalami penurunan. Penurunan nilai indeks SINTACS ini disebabkan faktor kedalaman muka air tanah sehingga menyebabkan perubahan pada parameter-parameter lainnya. Menurunnya muka air tanah dapat menyebabkan perubahan kondisi hidrogeologi di lokasi penelitian (Hendrayana, 2011).

Tabel 3, luas kerentanan sangat tinggi terus menurun seiring waktu periode penelitian (menuju akhir tahun). Kerentanan untuk kategori sangat tinggi tidak terjadi di dua bulan terakhir akibat menurunnya muka air tanah yang menyebabkan nilai indeks SINTACS pada kategori sangat tinggi berkurang di dua bulan tersebut. Hal ini disebabkan oleh musim kemarau panjang yang terjadi di lokasi penelitian menjadikan muka air tanah di daerah tersebut menurun dan mempengaruhi nilai-nilai parameter lainnya. Perubahan nilai parameter ini berdampak pada perubahan kelas kerentanan di setiap bulannya (Norhalimah et al., 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa kategori kerentanan air tanah berdasarkan nilai indeks SINTACS pada bulan Juli 2023 sampai dengan bulan September 2023 adalah sedang hingga sangat tinggi dengan rentang nilai indeks 125,00 (bulan Juli) hingga 210,25 (bulan September), sementara pada bulan Oktober 2023 dan bulan November 2023 adalah sedang hingga tinggi dengan rentang nilai indeks 122,50 (bulan Oktober) hingga 207,75 (bulan November). Sebaran kerentanan air tanah terhadap pencemaran selama lima bulan didominasi oleh tingkat kerentanan agak tinggi dengan nilai rata-rata luasan 24,94 km² atau 50,02% dari luas total lokasi penelitian. Kelas kerentanan yang lebih rendah berada di bagian Utara sementara kelas kerentanan yang lebih tinggi berada di bagian Selatan wilayah Kecamatan Ngoro. Berdasarkan hasil yang didapatkan, disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk mempertimbangkan pengaruh dari jenis akuifer terhadap tingkat kerentanan dan juga membandingkan hasil penelitian kerentanan intrinsik dengan ekstrinsiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I., Nazzal, Y., & Zaidi, F. (2018). Groundwater pollution risk mapping using modified DRASTIC model in parts of hail region of Saudi Arabia. *Environmental Engineering Research*, 23(1), 84–91. <https://doi.org/10.4491/eer.2017.072>
- Al Kuisi, M., El-Naqa, A., & Hammouri, N. (2006). Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Valley area, Jordan. *Environmental Geology*, 50(5). <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0239-8>
- Azzah, Z., Wicaksono, A. P., & Irawan, A. B. (2011). Kajian Kerentanan Airtanah dengan Metode DRASTIC di Kalurahan Jatisarono, Kapanewon Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo, D.I Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 3(1), 318–326. <https://doi.org/10.31315/psb.v3i1.6264>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang. (2022). *Kecamatan Ngoro Dalam Angka 2022*. BPS KABUPATEN JOMBANG .
- Civita, M., & De Maio, M. (2004). Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian “combined” approach. *Geofisica Internacional*, 43(4). <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2004.43.4.776>
- Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta : Kanisius. In *Kanisius*.
- Effendi, L., Budianta, W., & Idrus, A. (2015). *Geologi dan Sifat Keteknikan Tufa Zeolitik Daerah Tegalrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Gendangsari, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta serta Kegunaannya Sebagai Landfill Liner* [Universitas Gadjah Mada]. Online access: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/78458> (diakses pada tanggal 3 November 2023)
- Fakhrudin, F. Z., & Mardiyanto, M. A. (2023). Groundwater Vulnerability Study to Traditional Gold Mine Processing Pollution Using SYNTACS Method and GIS Approach. *Journal of Social Science*, 4(1). <https://doi.org/10.46799/jss.v4i1.525>
- Fakruddhin, M. F., Siswoyo, H., & Yuliani, E. (2019). *Evaluasi Kerentanan Akuifer dengan Menggunakan Metode GOD berdasarkan Hasil Penyelidikan Geolistrik (Studi Kasus di Desa Kenep Kecamatan Beji Kabupaten Pasuruan)* [Universitas Brawijaya]. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/170935/> (diakses pada tanggal 10 November 2023)
- Fathurrachman, B. (2018). *Penerapan Metode Interpolasi Spasial Universal Kriging Menggunakan Semivariogram Spherical dan Pentaspherical (Studi Pada Data Curah Hujan Bulan Maret 2017 di Malang Raya)* [Universitas Brawijaya]. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/168756> (diakses pada tanggal 12 November 2023)

- Febriarta, E., Prabawa, B. A., & Larasati, A. (2021). Kerentanan Spasial Air Tanah Terhadap Pencemaran Metode GOD Pada Formasi Batugamping Koral Kota Saumlaki, Maluku. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 19(1). <https://doi.org/10.21831/gm.v19i1.37429>
- Febriarta, E., Putro, S. T., & Larasati, A. (2021). Kajian Spasial Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Kota Jember dengan Menggunakan Metode SINTACS. *Media Komunikasi Geografi*, 22(1). <https://doi.org/10.23887/mkg.v22i1.32795>
- Febriarta, E., & Shofarini, D. I. (2021). Penilaian Zona Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran dengan Metode SINTACS di Ranai (Pulau Bunguran). *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 9(1). <https://doi.org/10.14710/jwl.9.1.34-49>
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D', M., & Paris, E. M. (2002). *Groundwater Quality Protection*. Online access : www.worldbank.org (diakses pada tanggal 27 September 2023)
- Hastuti, D., Yulianto, T., & Putranto, T. T. (2016). Analisis Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran Di Dataran Alluvial Kota Semarang Menggunakan Metode God Dengan Memanfaatkan Data Resistivitas Dan Data Hidrogeologi. In *Youngster Physics Journal* (Vol. 5, Issue 4). Online access : <https://www.neliti.com/id/publications/193987/analisis-kerentanan-airtanah-terhadap-pencemaran-di-dataran-alluvial-kota-semara> (diakses pada tanggal 13 November 2023)
- Hendrayana, H. (2011). *Pengantar Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran dan Pemompaan Air Tanah*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Hezron, Y. D., Asmaranto, R., & Haribowo, R. (2023). Analisis Kerentanan Intrinsik dan Spesifik Airtanah Terhadap Pencemaran di Sub DAS Amprong, Malang, Jawa Timur Analysis of Intrinsic and Specific Groundwater Vulnerability to Pollution in Amprong Sub-watershed, Malang, East Java. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1). <https://doi.org/10.21776/ub.itresda.2022.003.01.19>
- Hilmawan, D., Alghifari, M. F., & Sari, A. (2021). Analisis Kualitas Airtanah Dengan Studi Kerentanan Airtanah Metode Susceptibility Index Dan Studi Hidrogeokimia Terhadap Pencemaran Di TPA Sarimukti Dan Sekitarnya. Online access : <https://osf.io/rypm2/download> (diakses pada tanggal 15 Februari 2024)
- Kumalasari, F., & Satoto, Y. (2011). *Teknik praktis mengolah air kotor menjadi air bersih hingga layak diminum*. Bekasi : Laskar Aksara.
- Kumar, S., Thirumalaivasan, D., Radhakrishnan, N., & Mathew, S. (2013). Groundwater vulnerability assessment using SINTACS model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 4(4). <https://doi.org/10.1080/19475705.2012.732119>
- Kumari, S., Jha, R., Singh, V., Baier, K., & Sinha, M. K. (2016). Groundwater vulnerability assessment using SINTACS model and GIS in Raipur and Naya Raipur, Chhattisgarh, India. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(41). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i41/99247>
- Masdari, F., Devy, S. D., Winarno, A., Nugroho, W., & Magdalena, H. (2022). Studi Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Porositas dan Konduktivitas Hidrolik Batupasir dan Batulempung (Study of The Effect of Grain Size on Porosity and Hydraulic Conductivity of Sandstone and Claystone). *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 10(2), 18–25. Online access : <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TM/article/download/9021/pdf> (diakses pada tanggal 9 November 2023)
- Norhalimah, N., Ruslan, M., & Suyanto, S. (2021). Analisis Tinggi Muka Air Tanah Dan Pemetaannya Di Lahan Gambut Kawasan Hutan Lindung Liang Anggang Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(4). <https://doi.org/10.20527/jss.v4i4.3953>
- Pramono, G. H. (2008). Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi. *Forum Geografi*, 22(1). <https://doi.org/10.23917/forgeo.v22i1.4929>

- Putranto, T. T. (2019). Studi Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran Dengan Menggunakan Metode Drastic Pada Cekungan Airtanah (Cat) Karanganyar-Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1). <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.159-171>
- Putranto, T. T., & Kuswoyo, B. (2008). Zona Kerentanan Airtanah Terhadap Kontaminan Dengan Metode Drastic. *JURNAL TEKNIK*, 29. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/teknik.v29i2.1937>
- Putranto, T. T., Widiarso, D. A., & Yuslihanu, F. (2016). Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Kontaminan Menggunakan Metode Drastic di Kota Pekalongan. *Teknik*, 37(1). <https://doi.org/10.14710/teknik.v37i1.9637>
- Respatti, E., Goejantoro, R., & Wahyuningsih, S. (2014). Perbandingan Metode Ordinary Kriging dan Inverse Distance Weighted untuk Estimasi Elevasi Pada Data Topografi (Studi Kasus: Topografi Wilayah FMIPA Universitas Mulawarman). *Jurnal Eksponensial*, 5(2). Online access : [https://fmipa.unmul.ac.id/files/docs/10.\[19\]%20Jurnal%20Erizal%20Respatti%20EDIT.pdf](https://fmipa.unmul.ac.id/files/docs/10.[19]%20Jurnal%20Erizal%20Respatti%20EDIT.pdf) (diakses pada tanggal 9 November 2023)
- Sahu, I., Prasad, A. D., & Ahmad, I. (2022). Groundwater vulnerability assessment using SINTACS model and GIS: A case study in Raipur city. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 982(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012070>
- Sartika, D., Muhni, A., Rifqan, R., & Putra, H. S. (2020). Groundwater Vulnerability to Pollution Using the GOD Method in Banda Aceh City, Aceh Province. *Journal of Aceh Physics Society*, 9(3). <https://doi.org/10.24815/jacps.v9i3.17332>
- Siswoyo, H., & Azhar, R. F. (2019). Estimation of intrinsic vulnerability of shallow groundwater in Jombang District, Jombang Regency, East Java, Indonesia based on Aquifer Vulnerability Index. *Journal of Physics: Conference Series*, 1307(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012008>
- Sutandi, M. C. (2012). *Air Tanah*. Online access : <https://repository.maranatha.edu/3914/1/Air%20Tanah.pdf> (diakses pada tanggal 10 November 2023)
- Undang-Undang RI. (2019). Undang-Undang Republik Indonesia tentang Sumber Daya Air (UU Nomor 17 Tahun 2019). *Jdih Bpk Ri Database Peraturan*, 011594.
- Widiastuti, A. P., & Widyastuti. (2012). Zonasi Kerentanan Airtanah Bebas Terhadap Pencemaran Dengan Metode APLIS di Kecamatan Wonosari Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(2). <https://www.neliti.com/id/publications/238140/zonasi-kerentanan-airtanah-bebas-terhadap-pencemaran-dengan-metode-aplis-di-keca> (diakses pada tanggal 14 November 2023)