

**MODEL SEBARAN SPASIO-TEMPORAL KERENTANAN INTRINSIK
AIR TANAH TERHADAP PENCEMARAN DI KECAMATAN JOMBANG
KABUPATEN JOMBANG**

***SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION MODEL OF INTRINSIC
VULNERABILITY OF GROUNDWATER TO POLLUTION IN JOMBANG
DISTRICT, JOMBANG REGENCY***

Hari Siswoyo¹⁾, Linda Prasetyorini²⁾, Bayhaki Izatul A'mal³⁾

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

¹Email: hari_siswoyo@ub.ac.id

ABSTRAK

Keberadaan lahan pertanian yang luas, area pemukiman dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, dan penggunaan air tanah sebagai sumber air minum di lokasi penelitian perlu mendapatkan perhatian yang serius. Ini bertujuan untuk mencegah pencemaran air tanah yang disebabkan oleh aktivitas domestik, pertanian, atau industri. Tahap pertama yang bisa dilakukan adalah mengidentifikasi tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran sebagai landasan untuk upaya pencegahan terjadinya pencemaran air tanah. Contoh penelitian ini adalah air tanah yang diamati dari 26 sumur gali selama 5 bulan. Metode GOD digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran. Nilai indeks GOD dipetakan sebarannya berdasarkan hasil perhitungan dari data yang diukur di lapangan secara periodik. Sebaran tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran di wilayah Kecamatan Jombang Kabupaten Jombang baik secara spasial (tempat) maupun secara temporal (waktu) didominasi oleh daerah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi.

Kata kunci: air tanah, Kecamatan Jombang, kerentanan, metode GOD

ABSTRACT

The existence of extensive agricultural land, residential areas with high population density, and the use of groundwater as a drinking water source in the research location require serious attention. This aims to prevent groundwater pollution caused by domestic, agricultural, or industrial activities. The first step that can be taken is to identify the level of intrinsic vulnerability of groundwater to pollution as a basis for efforts to prevent groundwater pollution. An example of this research is groundwater observed from 26 dug wells over a period of 5 months. The GOD method was used to determine the level of intrinsic vulnerability of groundwater to pollution. The distribution of the GOD index value is mapped based on the results of calculations from data measured in the field periodically. The distribution of the level of intrinsic vulnerability of groundwater to pollution in the Jombang District, Jombang Regency, both spatially (location) and temporally (time), is dominated by areas with very high levels of vulnerability.

Keywords: groundwater, Jombang District, vulnerability, GOD method

PENDAHULUAN

Kecamatan Jombang adalah salah satu wilayah di Kabupaten Jombang dengan luas 36,40 km² yang terdiri atas 20 desa/kelurahan. Curah hujan tahunan di wilayah Kecamatan Jombang pada tahun 2022 rata-rata sebesar 2.572 mm/tahun. Pada tahun 2022, Kecamatan Jombang memiliki 142.251 penduduk, dengan kepadatan penduduk rata-rata 3.908 orang per km². Lahan di Kecamatan Jombang paling banyak dipergunakan sebagai sawah kering dengan luas 1.817 ha, kemudian permukiman/perumahan seluas 1.555 ha, dan seluas 131 ha untuk penggunaan lainnya. Jumlah Industri Kecil dan Mikro non pertanian di Kecamatan Jombang sebanyak 745 industri dengan didominasi industri makanan sejumlah 235 industri. Terdapat 9 desa/kelurahan di Kecamatan Jombang dimana sumur bor atau pompa digunakan sebagai sumber air minum sebagian besar keluarga (Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang, 2023).

Berdasarkan diskripsi di atas, ada beberapa hal yang perlu dicermati yaitu keberadaan lahan pertanian yang luas, area pemukiman dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, dan penggunaan air tanah (sumur bor) sebagai sumber air minum. Dalam kaitannya dengan keberadaan sumber daya air tanah, limbah pertanian, aktivitas domestik, maupun industri berpotensi mencemari sumber daya air tanah. Sementara itu, sebagian penduduk memanfaatkan potensi air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersihnya. Untuk mencegah pencemaran air tanah oleh aktivitas domestik, pertanian, dan industri, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan tingkat kerentanan akuifer terhadap pencemaran. Hal ini diperlukan sebagai dasar untuk mencegah pencemaran air tanah.

Metode GOD dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran. Metode ini dipakai untuk menghitung nilai indeks GOD berdasarkan 3 parameter yaitu jenis akuifer (*Groundwater confinement*), litologi lapisan pembatas atas akuifer (*Overlying strata*), dan kedalaman muka air tanah untuk akuifer bebas atau kedalaman sampai dengan lapisan terdapatnya air tanah untuk akuifer terkekang atau semi terkekang (*Depth to groundwater table or strike*) (Foster *et al.*, 2007). Untuk tujuan penentuan tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran, teknik ini telah

banyak digunakan dalam berbagai penelitian di berbagai negara (Boualla *et al.*, 2017; Siswoyo, 2018; Nnadozie *et al.*, 2019; Taazzouzte *et al.*, 2020; Deubalbe *et al.*, 2021; Sedrati *et al.*, 2022; Patel *et al.*, 2023).

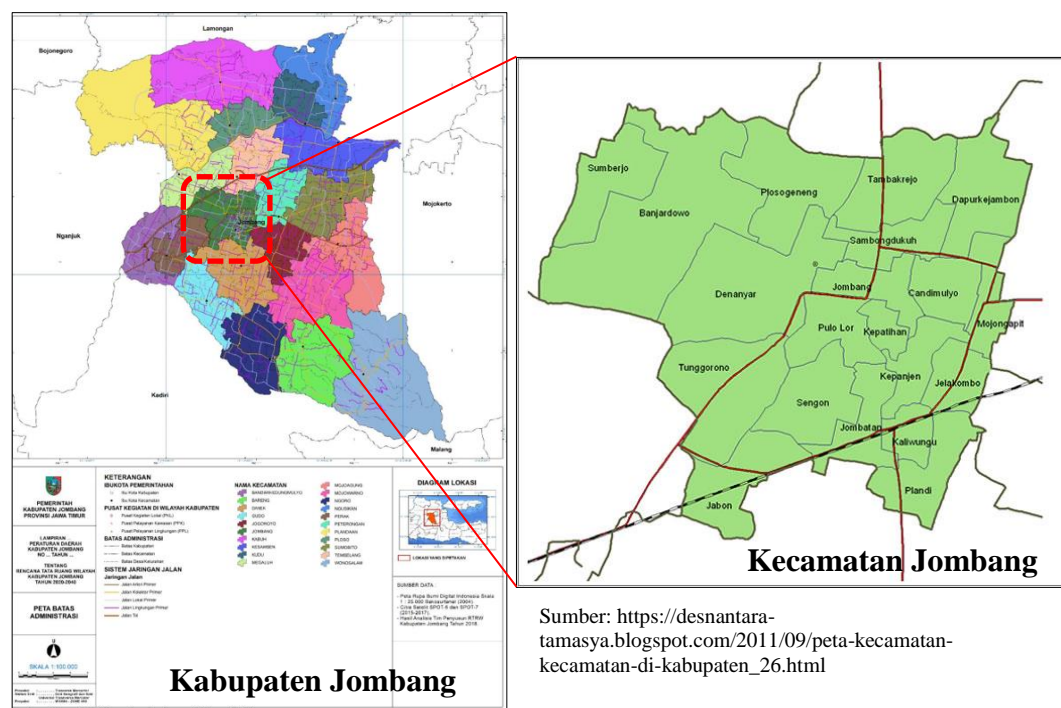
Sejumlah peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian untuk mengevaluasi kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran di Kecamatan Jombang. Estimasi tingkat kerentanan intrinsik air tanah dangkal dengan menggunakan Metode *Aquifer Vulnerability Index (AVI)* dilakukan oleh Siswoyo & Azhar (2019), dimana di lokasi studi teridentifikasi didominasi tingkat kerentanan sangat tinggi terhadap pencemaran. Evaluasi tingkat kerentanan akuifer di Kecamatan Jombang dengan menggunakan Metode GOD dilakukan Azhar (2020) dimana teridentifikasi 2 tingkat kerentanan di lokasi studi yaitu kategori kerentanan rendah dan kategori kerentanan tinggi. Tingkat kerentanan tinggi mendominasi lokasi penelitian di bulan Maret yaitu mencapai 74,58% dari luas wilayah, sedangkan tingkat kerentanan rendah mendominasi pada bulan Oktober yaitu 65,98% dari luas wilayah. Penilaian kerentanan intrinsik air tanah terhadap potensi pencemaran di lokasi yang sama dalam kurun waktu bulan Juli sampai dengan November 2023 dengan menggunakan Metode DRASTIC dilakukan oleh A'mal *et al.* (2025) dan diperoleh temuan bahwa di lokasi penelitian kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran berada dalam kategori sedang hingga tinggi.

Perbedaan hasil studi terdahulu dengan metode dan kurun waktu studi yang berbeda berpotensi menimbulkan interpretasi dan penafsiran yang berbeda tentang tingkat kerentanan intrinsik air tanah di wilayah Kecamatan Jombang. Untuk itu diperlukan penelitian serupa untuk memperkuat dan melengkapi hasil studi sebelumnya dengan menggunakan Metode GOD seperti yang dilakukan oleh Azhar (2020) dengan kurun waktu sesuai A'mal *et al.* (2025). Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menghitung nilai indeks kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran dan menggambarkan sebarannya secara spasio-temporal di lokasi penelitian. Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu model dalam mengidentifikasi kerentanan intrinsik air tanah

terhadap pencemaran yang dapat dipakai sebagai referensi dalam penentuan kebijakan/tindakan guna mencegah tercemarnya air tanah.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kecamatan Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Air tanah dari 26 sumur gali milik penduduk yang tersebar di seluruh Kecamatan Jombang diukur dan diamati dalam penelitian ini. Penelitian ini dilakukan dari bulan Juli hingga November 2023. Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian.



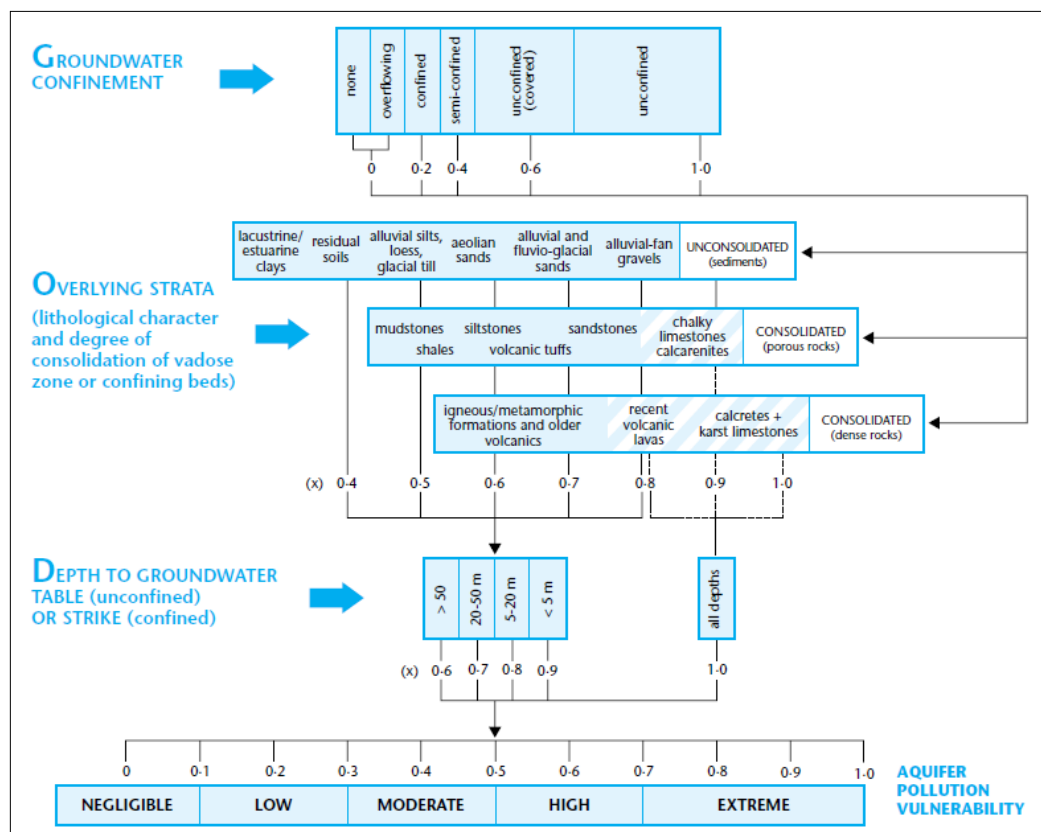
Sumber:
<https://www.jombangkab.go.id/profil/kabupaten/geo-grafis>

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat GPS digunakan untuk mengukur elevasi permukaan tanah dan koordinat posisi setiap lokasi contoh. Rol meter digunakan untuk mengukur kedalaman permukaan air tanah di setiap sumur. Berdasarkan selisih antara elevasi permukaan tanah dengan kedalaman muka air tanah pada masing-masing sumur gali dapat ditentukan elevasi muka air tanahnya. Pengukuran kedalaman muka air tanah dan penentuan elevasi muka air tanah di tiap lokasi contoh (26

sumur gali) dilakukan secara periodik setiap bulan dari Juli 2023 hingga November 2023.

Metode GOD digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemaran. Jenis akuifer (nilai indeks G) memiliki nilai berkisar 0,0 – 1,0, deskripsi lapisan yang berada di atas lapisan akuifer berdasarkan tingkat konsolidasi dan jenis litologi (nilai indeks O) berkisar antara 0,4 – 1,0, dan kedalaman muka air tanah untuk akuifer bebas atau kedalaman akuifer teratas untuk akuifer terkekang dan semi terkekang (nilai indeks D) berkisar antara 0,6 – 1,0. Nilai indeks GOD adalah perkalian dari nilai indeks G, O, dan D. Gambar 2 menunjukkan cara evaluasi tingkat kerentanan akuifer terhadap pencemaran berdasarkan perhitungan yang dilakukan menggunakan Metode GOD. Tabel 1 menunjukkan cara menginterpretasi tingkat kerentanan air tanah berdasarkan nilai indeks GOD.



Gambar 2. Sistem GOD untuk Evaluasi Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran
Sumber: Foster *et al.* (2007)

Tabel 1. Cara Menginterpretasi Tingkat Kerentanan Intrinsik Air Tanah

Indeks GOD	Kerentanan	Interpretasi
0,7 sampai 1,0	Sangat tinggi	Rentan terhadap sebagian besar pencemar air dan dapat berdampak cepat dalam berbagai situasi.
0,5 sampai 0,7	Tinggi	Rentan terhadap berbagai jenis pencemar.
0,3 sampai 0,5	Sedang	Hanya rentan terhadap beberapa polutan ketika dibuang secara teratur.
0,1 sampai 0,3	Rendah	Hanya rentan terhadap pencemar konservatif dalam jangka panjang ketika dibuang secara meluas dan terus menerus.
0,0 sampai 0,1	Dapat diabaikan	Terbatas pada lokasi di mana tidak ada aliran air tanah secara vertikal yang signifikan.

Sumber: Foster *et al.* (2007)

Jenis lapisan batuan pada setiap lokasi contoh penelitian diduga berdasarkan data log litologi dari sumur produksi (sumur bor) yang terdapat di wilayah Kecamatan Jombang dan sekitarnya. Estimasi jenis lapisan batuan dan ketebalan masing-masing lapisan dilakukan dengan cara interpolasi dan ekstrapolasi data log litologi yang ada dengan menggunakan bantuan program komputer *Rock Work 16 (trial version)*. Berdasarkan hasil estimasi dapat ditentukan jenis lapisan batuan dan ketebalannya masing-masing di atas muka air tanah sampai dengan permukaan tanah.

Pemetaan sebaran spasial nilai indeks GOD dilakukan melalui proses interpolasi data koordinat lokasi titik contoh dan nilai indeks GOD dari tiap titik contoh yang tidak beraturan ke dalam grid dengan jarak yang teratur. Metode Kriging digunakan untuk membuat grid berdasarkan titik tersampel sekitarnya dan korelasi spasial dalam data. Ini dilakukan untuk menghitung besarnya nilai yang mewakili suatu titik tidak tersampel (Siswoyo, 2018). Perhitungan nilai indeks GOD dan pemetaan sebaran spasial nilai indeks tersebut dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan secara berkala selama 5 bulan (mulai Juli 2023 sampai dengan bulan November 2023).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

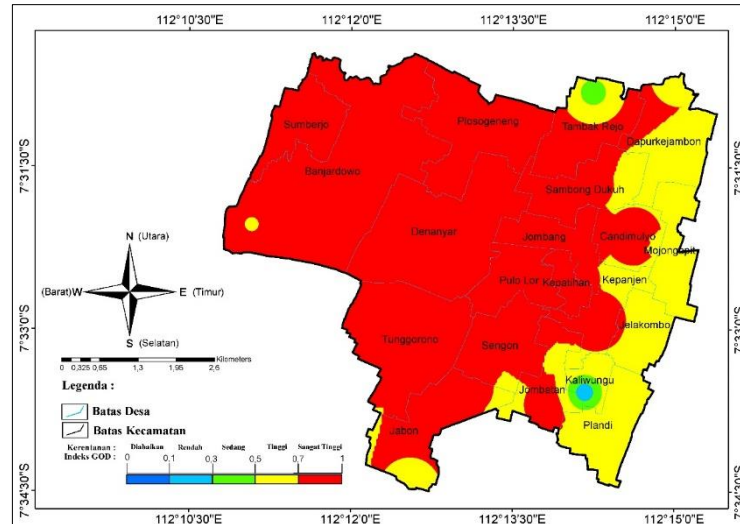
Berdasarkan parameter-parameter terukur yang diperlukan untuk analisis Metode GOD (jenis akuifer, lapisan di atas lapisan akuifer beserta jenis litologinya, dan kedalaman permukaan air tanah) dapat ditunjukkan hasil perhitungan nilai indeks GOD di tiap tempat diamatinya contoh sumur gali di wilayah Kecamatan Jombang seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai Indeks GOD di Kecamatan Jombang

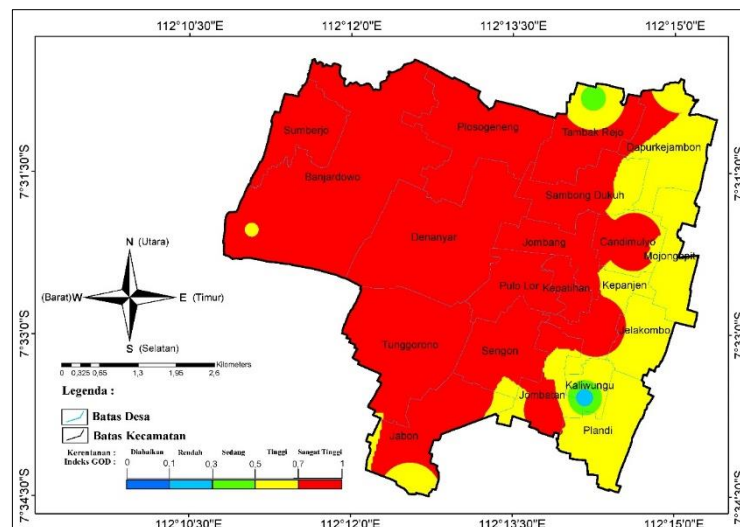
No.	Kode Sumur	Desa/Kelurahan	Koordinat		Nilai Indeks GOD				
			BT	LS	Juli	Agustus	September	Oktober	November
1	SGJB-01	Banjardowo	112°11'05" BT	7°32'02" LS	0,66	0,72	0,80	0,84	0,97
2	SGJB-02	Sumberjo	112°11'32" BT	7°30'59" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
3	SGJB-03	Banjardowo	112°11'45" BT	7°30'33" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
4	SGJB-04	Plosogeneng	112°12'53" BT	7°30'41" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
5	SGJB-05	Tambak Rejo	112°14'14" BT	7°30'48" LS	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
6	SGJB-06	Dapurkejambon	112°15'03" BT	7°30'40" LS	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
7	SGJB-07	Sambong Dukuh	112°14'11" BT	7°31'40" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
8	SGJB-08	Mojongapit	112°14'58" BT	7°32'31" LS	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
9	SGJB-09	Mojongapit	112°15'08" BT	7°31'44" LS	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
10	SGJB-10	Candimulyo	112°14'37" BT	7°32'07" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
11	SGJB-11	Jombang	112°14'05" BT	7°32'09" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
12	SGJB-12	Denanyar	112°13'07" BT	7°32'29" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
13	SGJB-13	Denanyar	112°13'13" BT	7°31'59" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
14	SGJB-14	Denanyar	112°12'20" BT	7°32'19" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
15	SGJB-15	Tunggorono	112°12'20" BT	7°33'23" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
16	SGJB-16	Jabon	112°12'33" BT	7°34'28" LS	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
17	SGJB-17	Sengon	112°13'28" BT	7°33'01" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
18	SGJB-18	Pulo Lor	112°13'36" BT	7°32'26" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
19	SGJB-19	Kepatihan	112°14'02" BT	7°32'33" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
20	SGJB-20	Kepanjen	112°14'16" BT	7°32'55" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
21	SGJB-21	Jelakombo	112°14'48" BT	7°33'08" LS	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
22	SGJB-22	Kaliwungu	112°14'10" BT	7°33'35" LS	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11
23	SGJB-23	Jombatan	112°13'51" BT	7°33'42" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
24	SGJB-24	Plandi	112°14'19" BT	7°34'16" LS	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
25	SGJB-25	Jabon	112°13'05" BT	7°33'33" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
26	SGJB-26	Banjardowo	112°12'13" BT	7°31'19" LS	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Nilai maksimum					0,81	0,81	0,81	0,84	0,97
Nilai rata-rata					0,70	0,70	0,71	0,71	0,71
Nilai minimum					0,08	0,09	0,10	0,11	0,11

Berdasarkan hasil perhitungan nilai indeks GOD seperti dalam Tabel 2 dapat ditunjukkan adanya sejumlah kecenderungan. Nilai indeks minimum cenderung naik dari 0,08 (kategori kerentanan dapat diabaikan) di bulan Juli hingga 0,11 (kategori kerentanan rendah) di bulan November. Nilai indeks maksimum juga cenderung naik dari 0,81 di bulan Juli menjadi 0,97 di bulan November dalam kategori tingkat kerentanan yang sama yaitu tingkat kerentanan sangat tinggi. Secara umum tiap periode waktu pengamatan dari bulan Juli hingga November, dapat dinyatakan bahwa sebagian besar contoh penelitian memiliki

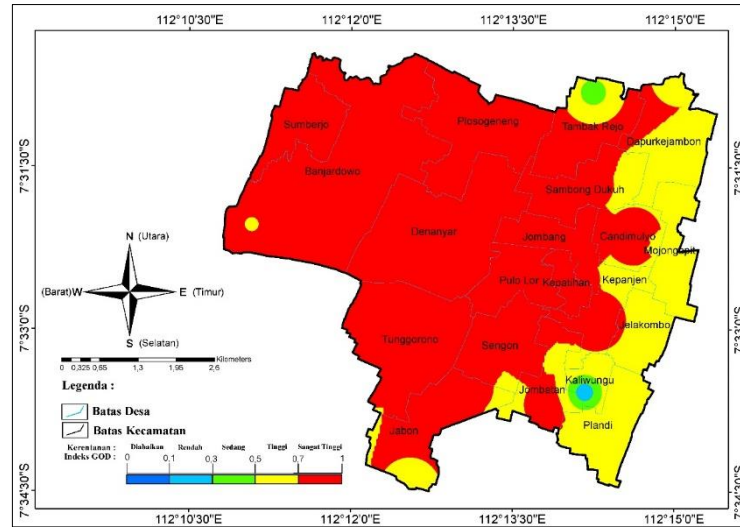
kategori tingkat kerentanan instrinsik air tanah sangat tinggi. Peta sebaran spasio-temporal tingkat kerentanan instrinsik air tanah terhadap pencemaran pada wilayah Kecamatan Jombang untuk bulan Juli (bulan 7) tahun 2023 sampai dengan bulan November (bulan 11) tahun 2023 ditunjukkan dalam Gambar 3 sampai dengan Gambar 7.



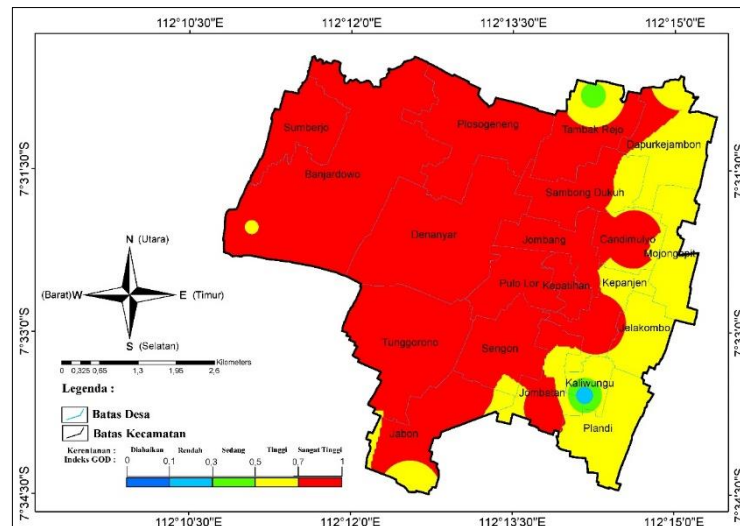
Gambar 3. Sebaran Kerentanan Intrinsik Air Tanah Pada Bulan 7 Tahun 2023



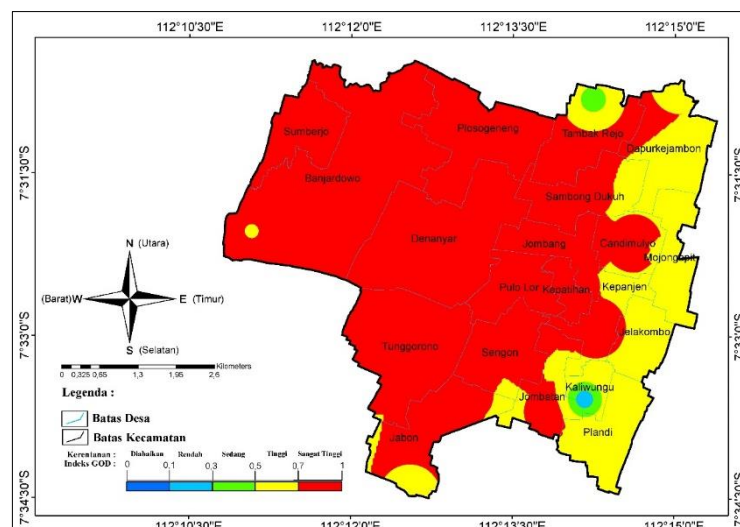
Gambar 4. Sebaran Kerentanan Intrinsik Air Tanah Pada Bulan 8 Tahun 2023



Gambar 5. Sebaran Kerentanan Intrinsik Air Tanah Pada Bulan 9 Tahun 2023



Gambar 6. Sebaran Kerentanan Intrinsik Air Tanah Pada Bulan 10 Tahun 2023



Gambar 7. Sebaran Kerentanan Intrinsik Air Tanah Pada Bulan 11 Tahun 2023

Sebaran tingkat kerentanan instrinsik air tanah terhadap pencemaran pada lokasi penelitian baik secara spasial (tempat) maupun secara temporal (waktu) didominasi oleh daerah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi. Hasil studi ini relatif berbeda dengan hasil studi-studi sebelumnya (Siswoyo & Azhar, 2019; Azhar, 2020; A'mal *et al.*, 2025). Hasil studi yang dilakukan oleh Siswoyo & Azhar (2019) memang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah studi memiliki tingkat kerentanan air tanah sangat tinggi. Namun demikian, bagian dari wilayah Kecamatan Jombang yang dominan memiliki kerentanan sangat tinggi adalah bagian Timur, yang berkebalikan dengan hasil penelitian ini dimana dominasi tingkat kerentanan sangat tinggi berada di bagian Barat. Sementara itu, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Azhar (2020), di wilayah Kecamatan Jombang hanya teridentifikasi tingkat kerentanan rendah dan tingkat kerentanan tinggi. Wilayah Kecamatan Jombang juga teridentifikasi memiliki tingkat kerentanan instrinsik air tanah sedang hingga tinggi (A'mal *et al.*, 2025).

Penggunaan metode yang berbeda akan berdampak terhadap hasil identifikasi yang juga berbeda. Perbedaan ini dapat ditunjukkan dengan memperbandingkan hasil penelitian ini dengan hasil studi Siswoyo & Azhar (2019) yang menggunakan Metode AVI maupun hasil studi A'mal *et al.* (2025) yang menggunakan Metode DRASTIC. Hal ini tidak terlepas dari parameter-parameter yang digunakan di dalam masing-masing metode. Penggunaan metode yang sama dalam hal ini Metode GOD untuk mengkaji suatu daerah yang sama dalam waktu yang berbeda memberikan hasil identifikasi yang berbeda. Perbedaan ini ditunjukkan dengan memperbandingkan hasil penelitian ini dengan hasil studi Azhar (2020), dimana lokasi contoh penelitian dan waktu pelaksanaan pengukuran contohnya berbeda.

Tingkat kerentanan instrinsik air tanah yang dihitung atas dasar nilai indeks GOD ditentukan oleh 3 parameter meliputi jenis akuifer (parameter G), deskripsi lapisan batuan yang berada di atas lapisan akuifer/litologi (parameter O), dan kedalaman muka air tanah/akuifer (parameter D). Parameter kedalaman muka air tanah merupakan parameter yang paling menentukan dan nilainya (kondisi lapangan) selalu berfluktuasi. Parameter kedalaman muka air tanah di dalam

Metode GOD ikut menentukan deskripsi lapisan batuan yang berada di atas lapisan akuifer/litologi. Fluktuasi naik atau turunnya muka air tanah dapat merubah deskripsi lapisan batuan di atasnya berdasarkan posisi muka air tanah yang diamati (parameter O). Fluktuasi inilah yang dapat membuat hasil identifikasi kerentanan intrinsik air tanah berdasarkan Metode GOD yang dilakukan di suatu daerah dapat berubah. Dengan demikian diperlukan upaya pengamatan fluktuasi muka air tanah dalam durasi waktu relatif panjang guna mendapatkan kecenderungan kedalaman permukaan air tanah yang bisa merepresentasikan keadaan nyata di lapangan.

KESIMPULAN

Tingkat kerentanan intrinsik air tanah terhadap pencemar di wilayah Kecamatan Jombang yang dianalisis dengan Metode GOD pada bulan Juli hingga November 2023 setiap bulannya bervariasi mulai dari kategori tingkat kerentanan dapat diabaikan hingga kategori tingkat kerentanan sangat tinggi. Sebaran tingkat kerentanan instrinsik air tanah terhadap pencemaran di lokasi penelitian baik secara spasial (tempat) maupun secara temporal (waktu) didominasi oleh daerah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi. Mengingat lokasi penelitian dominan dengan tingkat kerentanan intrinsik yang sangat tinggi terhadap pencemaran, maka disarankan agar masyarakat ataupun industri tidak melakukan pembuangan limbah yang dapat mengakibatkan tercemarnya air tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan atas biaya PNPB Tahun Anggaran 2023 Fakultas Teknik Universitas Brawijaya berdasarkan kontrak Nomor: 114/UN10.F07/PN/2023 tanggal 12 Juni 2023. Tim peneliti menyampaikan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas pendanaan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

A'mal, B. I., Siswoyo, H., & Saputra, A. W. W. (2025). Penilaian Kerentanan Air Tanah terhadap Potensi Pencemaran dengan Menggunakan Metode

- DRASTIC di Kecamatan Jombang Kabupaten Jombang. *De'Teksi : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 10–21. <https://doi.org/10.56071/deteksi.v10i2.1198>
- Azhar, R. F. (2020). *Evaluasi Tingkat Kerentanan Akuifer di Kecamatan Jombang Kabupaten Jombang Dengan Menggunakan Metode GOD*. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang. (2023). *Kecamatan Jombang Dalam Angka 2023*. Jombang: Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang.
- Boualla, N., Benziane, A., & Ait-Mokhtar, A. (2017). Assessing Vulnerability of groundwater with GOD model: a case study in Oran Sebkh basin - Algeria. *Journal of New Technology and Materials*, 7(1), 18–26. <https://asjp.cerist.dz/en/article/24027>
- Deubalbe, D., Kadjangaba, E., Bongo, D., Djimouko, S., Mbaigane, J. C. D. & Mahmoud, Y. (2021). Vulnerability Evaluation of Groundwater of N'Djamena City: Contribution of the Parametric Methods GOD and SI. *Journal of Environmental Protection*, 12, 472–489. <https://doi.org/10.4236/jep.2021.127030>
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2007). *Groundwater Quality Protection*, 2nd printing. Washington, D.C.: The World Bank.
- Nnadozie, K. C., Nwankwor, G. I., Opara, A. I., Ibeh, J. C., Henry, S., Edet, E. E., & Fagorite, V. I. (2019). Evaluation of Groundwater Vulnerability to Pollution Using Different Models in Njaba and Environs Southeastern Nigeria. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, 7(5) Ser. II (Sep. – Oct. 2019), 16–32. [https://www.iosrjournals.org/iosr-jagg/pages/7\(5\)Version-2.html](https://www.iosrjournals.org/iosr-jagg/pages/7(5)Version-2.html)
- Patel, P., Mehta, D., & Sharma, N. (2023). Assessment of groundwater vulnerability using the GIS approach-based GOD method in Surat district of Gujarat state, India. *Water Practice and Technology*, 18(2), 285–294. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.004>
- Sedrati, A., Chenaker, H., & Houha, B. (2022). Assessing Groundwater Vulnerability to Agriculture Contamination in a Semi-Arid Environment Using SI and GOD Models, Case of Babar Basin, Algeria. *Carpathian*

Journal of Earth and Environmental Sciences, 17(2), 365–372.
<https://doi.org/10.26471/cjees/2022/017/228>

Siswoyo, H. (2018). Identifikasi Tingkat Kerentanan Akuifer terhadap Pencemaran di Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang dengan Menggunakan Metode GOD. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 1(2), 1–6.
<https://doi.org/10.24246/juses.v1i2p1-6>

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 (2019) 012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012008>

Taazzouzte, M., Ghafiri, A., Lemacha, H., & El Moutaki, S. (2020). Study of Intrinsic Vulnerability to Pollution by the GOD-Foster Method: Application to Temara Groundwater (Morocco). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8, 129–145.
<https://doi.org/10.4236/gep.2020.88010>