

STUDI KERENTANAN AIR TANAH DI SEKITAR TPA TERJUN KOTA MEDAN MENGGUNAKAN METODE GOD

Meutia Nurfahasdi^{1*}, Amir Husin¹, Silda Adi Rahayu¹, Muhammad Faisal¹, Dally Raj Singh¹, Agnes Yofita Zega¹, Agree Manganju Evannels Silalahi¹, Derry Wiliyanda Nasution², Robi Arianta Sembiring²

¹Environmental Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: meutia.nurfahasdi@usu.ac.id

Info Artikel

Diterima: 9 Maret 2023

Disetujui: 10 Agustus 2023

Dipublikasikan: 30
September 2023

Alamat Korespondensi:
meutia.nurfahasdi@usu.ac.id

Copyright © 2020 Jurnal
Engineering

This work is licensed
under the
Creative Commons
Attribution
International License (CC
BY 4.0).

Abstrak :

Analisis kerentanan air tanah dilakukan sebagai upaya awal untuk mengatasi penurunan potensi air tanah yang mempengaruhi tinggi muka air tanah, debit air tanah, penurunan permukaan/tanah, dan kualitas air tanah yang dapat menimbulkan pencemaran. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kerentanan air tanah untuk menjadi acuan dalam pengelolaan air tanah. Hal ini dilakukan dengan menggunakan Metode GOD. Metode GOD (*Groundwater Occurrence, Overlaying Lithology and Depth of Groundwater*) dilakukan untuk mengkaji kerentanan air tanah di sekitar TPA Terjun di Kota Medan. Metode GOD merupakan metode untuk mengkaji tiga parameter yaitu jenis akuifer, jenis litologi di atas akuifer dan kedalaman muka air tanah. Berdasarkan hasil analisis parameter GOD dari ketiga parameter tersebut, diperoleh nilai indeks GOD sebesar 0,5 yang menunjukkan tingkat kerawanan air tanah sedang.

Kata kunci: Air tanah; Kerentanan; Kontaminan; GOD

Abstract :

Analysis of groundwater vulnerability is carried out as an initial effort to overcome decrease in groundwater potential that affects ground water level, groundwater discharge, surface/land decrease, and groundwater quality that can cause pollution. Therefore, groundwater vulnerability analysis is needed to be a reference in groundwater management. This is using GOD method. The GOD method (Groundwater Occurrence, Overlaying Lithology and Depth of Groundwater) is carried out to examine the vulnerability of groundwater around the landfill in Medan City. The GOD method is method for reviewing three parameters, namely aquifer type, lithology type above aquifer and the depth of ground water level. Based on the results of the GOD parameter analysis of the three parameters, the value of the GOD index is 0.5 which shows the vulnerability of groundwater is medium.

Keywords: Groundwater; Vulnerability; Contaminants; GOD.

1. Pendahuluan

Penurunan potensi air tanah berdampak pada penurunan muka air tanah, debit air tanah, penurunan permukaan/tanah, dan kualitas air tanah (Pujiyanto dkk, 2011). Berdasarkan UU No.7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, air tanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan tanah. Proses terjadinya air tanah terdiri dari beberapa fase hidrologi yang berlangsung secara berurutan dan terus – menerus (Kodoatie, 2012). Kerentanan air tanah adalah batas atau tingkat ketahanan air tanah terhadap bahan pencemar yang berasal dari permukaan atau bawah permukaan. Kerentanan air tanah mampu menahan polusi atau kontaminan di permukaan tanah hingga mencapai muka air tanah atau lapisan akuifer (Harter, 2001).

Kerentanan air tanah terhadap pencemaran dapat terjadi akibat adanya aktivitas manusia. Kuantitas dan kualitas air tanah menjadi penting karena penggunaan air tanah untuk kebutuhan primer dan sekunder. Pada setiap daerah memiliki tingkat kerentanan air tanah yang berbeda seperti di daerah permukiman, perkantoran, perkebunan, pertanian, dan industri. Beberapa metode telah dikembangkan dalam menganalisis kerentanan air tanah. Metode sistem parametrik merupakan metode yang sering digunakan dalam menganalisis kerentanan air tanah. Metode parametrik yang sering digunakan dalam analisis kerentanan air tanah antara lain GOD, AVI, SINTACS, dan DRASTIC. GOD (*Groundwater hydraulic confinement, Overlying strata, Depth to groundwater table*) merupakan metode kerawanan air tanah terhadap pencemaran dengan menggunakan 3 parameter dengan nilai indeks 0-1 (Fraga dan Fernandes, 2013).

Salah satu metode yang digunakan adalah metode GOD. Metode resistivitas digunakan untuk mengetahui parameter G dan O, sedangkan pemetaan hidrogeologi untuk mengetahui parameter D. Metode GOD memiliki struktur yang sederhana dan mampu mengelompokkan kerentanan air tanah terhadap pencemaran (Foster, 1987). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Falowo dkk, 2017) studi kerentanan air tanah di wilayah Ose dan Owo di Nigeria dengan metode GOD memiliki nilai kerentanan berdasarkan wilayah adalah sangat rentan (sekitar 5%), sedang (45%), dan rendah (50%). Zona kerentanan air tanah di Kecamatan Godean adalah berada di kerentanan (Supriyatno, 2016), dan kerentanan air tanah di Kota Saumlaki, Maluku diperoleh dua kelas, yaitu kerentanan tinggi dan ekstrim (Febriarta, 2001). Menurut penelitian (Rukmana dkk, 2019) diperoleh hasil kerentanan air tanah adalah kerentanan ekstrem. Salah satu upaya menjaga kelestarian potensi air tanah di lokasi penelitian sehingga dapat digunakan secara berkelanjutan dengan menggunakan metode GOD.

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kerentanan air tanah terhadap pencemaran di sekitar TPA TERJUN Kota Medan dengan menggunakan metode GOD.

2. Metode Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam model ini mempertimbangkan tiga parameter: (1) Terjadinya air tanah; (2) Kelas akuifer keseluruhan; (3) Tabel kedalaman dari air tanah. Kerentanan air tanah banyak menggunakan beberapa metode seperti:

a. Metode Proses Berdasarkan Simulasi.

Metode ini termasuk metode kuantitatif (metode berbasis fisik) untuk penilaian kerentanan akuifer menggunakan alam. Proses yang terjadi dalam pengaturan

hidrogeologi yang mendasarinya zona vadose dan sistem akuifer, dan oleh karena itu, mereka juga disebut metode berbasis proses. Metode ini, terutama melibatkan simulasi model, biasanya menentukan kerentanan spesifik (atau khusus polutan). untuk sumber polusi menyebar. Metode berbasis proses menekankan pada perlindungan 'sumber' dan 'sumber daya', sedangkan overlay dan index metode fokus pada perlindungan 'sumber daya'. Model simulasi berbasis proses menggabungkan berbagai fisik, kimia, dan biologi (mikroba) proses mendikte nasib dan transportasi kontaminan di zona tak jenuh dan jenuh. alat pemodelan simulasi dapat bercabang dua menjadi dua kategori: (i) model simulasi kompleks berdasarkan persamaan adveksi-dispersi, dimana model simulasi adveksi-dispersi tidak dapat digunakan untuk kondisi aliran yang tidak seragam karena kesalahan perhitungan rata-rata transit kali di bawah kehadiran jalur aliran preferensial. Hal ini menyebabkan penggabungan model aliran preferensial, yang melibatkan dual-porositas konsep. Model seperti itu dianggap lebih akurat daripada metode kualitatif berbasis indeks. (ii) Model indeks konseptual yang disederhanakan. Model indeks yang disederhanakan secara konseptual telah dikembangkan, yaitu relatif sederhana dan membutuhkan lebih sedikit data, meskipun biasanya valid hanya di bawah aliran kondisi-mapan dalam media ideal homogen yang seragam. Model berbasis indeks ini sebagian besar digunakan sebagai alat penyaringan untuk mengevaluasi dan membandingkan perilaku kontaminan dengan data yang terbatas ketersediaan (Javadi, 2011).

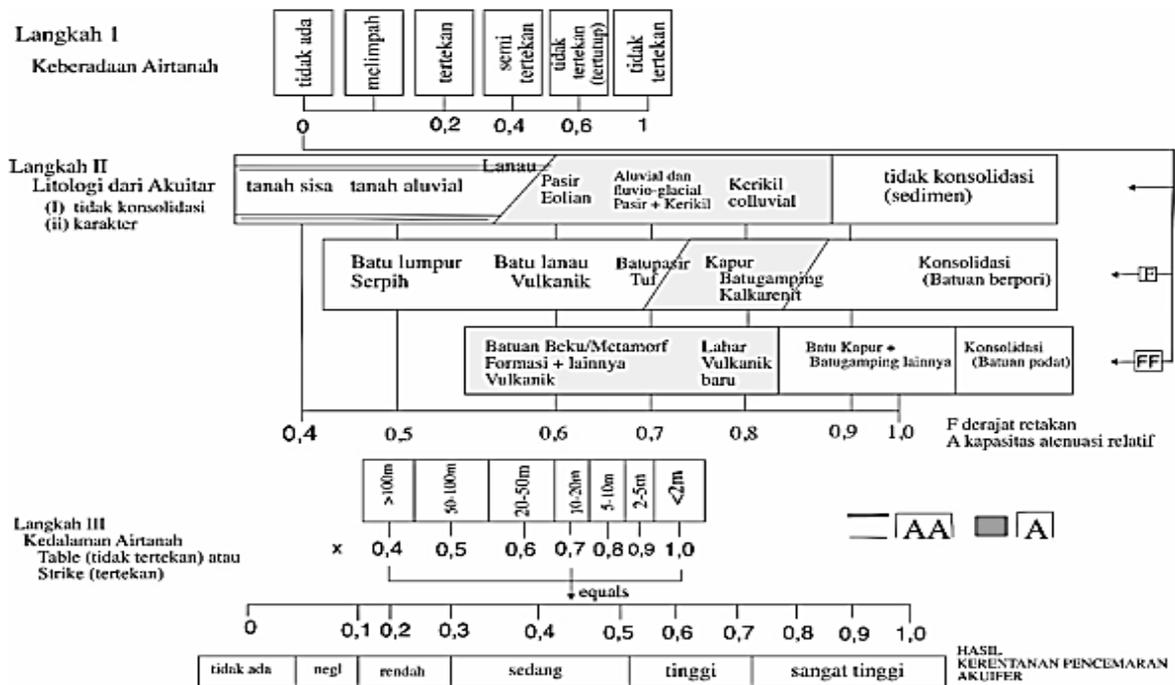
b. Metode Statistik.

Metode statistik adalah alat yang tepat secara luas skala spasial. Metode statistik berkisar dari ringkasan sederhana atau statistik deskriptif dari konsentrasi kontaminan yang ditargetkan hingga analisis regresi yang lebih kompleks yang menggabungkan efek dari beberapa variabel prediktor. Metode berbasis proses mengacu pada pendekatan yang mensimulasikan atau memperhitungkan proses fisik pergerakan air dan serta pengangkutan kontaminan di lingkungan. Pendekatan-pendekatan ini biasanya mencakup penggunaan model simulasi proses yang menghitung distribusi daerah yang rentan atau yang secara intrinsik rentan berdasarkan pergerakan air dan zat terlarut (Ribeiro, 2017). Metode statistik menggabungkan data tentang distribusi kontaminan area yang diketahui dan memberikan karakterisasi potensi kontaminasi untuk area geografis tertentu dengan ekstrapolasi dari data yang tersedia di wilayah yang diinginkan. Metode statistik menggunakan respon variabel seperti frekuensi terjadinya kontaminan, konsentrasi kontaminan, atau probabilitas kontaminasi. Metode ini didasarkan pada konsep ketidakpastian, yaitu dijelaskan dalam hal distribusi probabilitas untuk variabel bunga (National, 1993). Biasanya, seseorang berusaha untuk menggambarkan dalam istilah matematis (fungsi atau model) hubungan antara kualitas air dan variabel alami dan/atau yang disebabkan oleh manusia di area diskrit. Pendekatan statistik lainnya, seperti analisis komponen utama, diskriminan analisis dan analisis cluster, telah digunakan untuk menggambarkan hubungan antara atribut tanah dan kerentanan air tanah [Troiano dkk, 1997]. Metode statistik berkisar dari statistik deskriptif konsentrasi kontaminan hingga lebih banyak analisis regresi kompleks. Data penggabungan pada polutan yang diketahui dan wilayah distribusinya memberikan informasi tentang potensi kontaminasi untuk wilayah geografis tertentu dari data. Informasi tambahan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kerentanan intrinsik sumber daya dapat diperoleh dengan menggunakan regresi logistic (Katyal dkk, 2017).

c. Metode Tumpang Tindih.

Metode tumpang tindih merupakan metode yang sangat mudah diimplementasikan, terutama menggunakan geografi sistem informasi (SIG) (Haq dkk, 2013). Proses pembuatan peta dilakukan secara tumpang tindih, penilaian dan pembobotan serta analisis SIG diproses menggunakan perangkat lunak ArcMap. Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil pemetaan ancaman bencana dan ancaman bencana terhadap permukiman (Wakhidatus dkk, 2021). tumpang tindih antara peta kerentanan akhir dan fitur tunggal dilakukan untuk memperkirakan kecocokan spasial dengan kelas kerentanan. Hasil dari analisis tumpang tindih mengulangi hasil dari analisis sensitivitas, memberikan dasar untuk mengembangkan metode kerentanan intrinsik baru atau diadaptasi agar sesuai dengan karakteristik Yucatan.

Fitur intrinsik ini adalah yang paling penting menurut analisis sensitivitas dan tumpang tindih peta akhir dengan parameter individual. Setelah tumpang tindih peta kerentanan akhir dengan parameter tunggal dan kinerja analisis sensitivitas penghilangan parameter, pertimbangan penting disorot untuk mengembangkan metodologi adaptif agar sesuai dengan karakteristik hidrogeologi regional (Moreno dkk, 2019). Metode overlay dan indeks didasarkan pada penggabungan peta wilayah yang berbeda dengan menetapkan indeks numerik. Metode overlay dan indeks mudah diterapkan, terutama dalam skala regional, dan untuk digunakan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Oleh karena itu, mereka merupakan kelas metode paling populer yang digunakan dalam penilaian kerentanan (Javadi, 2011).



Gambar 1. Penilaian Metode GOD

Sumber: Foster, 1987

Penentuan kerawanan air tanah terhadap pencemaran dapat dilakukan dengan menggunakan metode GOD (Oiste, 2014). GOD merupakan singkatan dari beberapa

parameter, yaitu: G = *Groundwater occurrence*, O = *Overlaying lithology*, dan D = *Depth of groundwater*.

Metode GOD adalah metode yang digunakan untuk menentukan kerentanan air tanah terhadap pencemaran. Metode ini mampu mengelompokkan dengan cepat kerentanan suatu akuifer terhadap pencemaran. Metode GOD ini dilakukan dengan cara mengelompokkan nilai bobot indeks kerentanan dari tiga parameter. Setiap parameter tersebut memiliki bobot spesifik yang telah ditentukan (Foster, 1987). Nilai indeks GOD merupakan perkalian antara nilai indeks G, nilai indeks O, dan nilai indeks D. Interpretasi tingkat kerentanan air tanah dilakukan berdasarkan nilai indeks GOD seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 di bawah ini (Siswoyo, 2018).

Tabel 1. Tingkat Kerentanan Air Tanah Berdasarkan Indeks GOD

Indeks GOD	Tingkat Kerentanan	Definisi
0,7 - 0,5	Ekstrim	Rentan terhadap sebagian besar pencemar air dengan dampak cepat dalam berbagai skenario pencemaran
0,5 - 0,7	Tinggi	Rentan terhadap banyak pencemar dalam banyak skenario Pencemaran
0,3 - 0,5	Sedang	Rentan terhadap beberapa polutan tetapi hanya ketika dibuang secara terus menerus
0,1 - 0,3	Rendah	Hanya rentan terhadap pencemar konservatif dalam jangka panjang ketika dibuang secara meluas dan terus menerus
0,0 - 0,1	Dapat diabaikan	Terbatas pada tempat tanpa aliran air tanah vertikal (kebocoran) yang signifikan

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Indeks GOD dapat dibagi menjadi lima kategori: dapat diabaikan (0-0,1), rendah (0,1-0,3), sedang (0,3-0,5), tinggi (0,5-0,7), dan sangat tinggi (0,7-1) (Foster, 2002). Interpretasi batasan akuifer menggunakan definisi lapisan batuan jenuh air di bawah permukaan tanah yang dapat menyimpan dan meneruskan air (BSN, 2005). Menurut (PUPR, 2016) ketersediaan air tanah berada pada kealaman 0-30m yang dipengaruhi oleh kondisi struktur geologi. Berdasarkan kedalaman tersebut, menunjukkan bahwa ketersediaan air tanah relatif dangkal dan bersifat bebas. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa tipe akuifer yang seragam yaitu akuifer tidak tertekan dengan penyusun batugamping yang tersusun atas batugamping koral, padat, setempat terbreksikan, bagian bawah konglomerat dengan komponen batugamping dan cangkang fosil yang merupakan bagian dari Formasi Dystric Fluvisols (Qi) yang didominasi oleh tanah Geluah (*loam*). Berdasarkan karakteristik tersebut dan tidak terdapat lapisan kedap air, dapat dikategorikan sebagai tipe akuifer tidak tertekan.

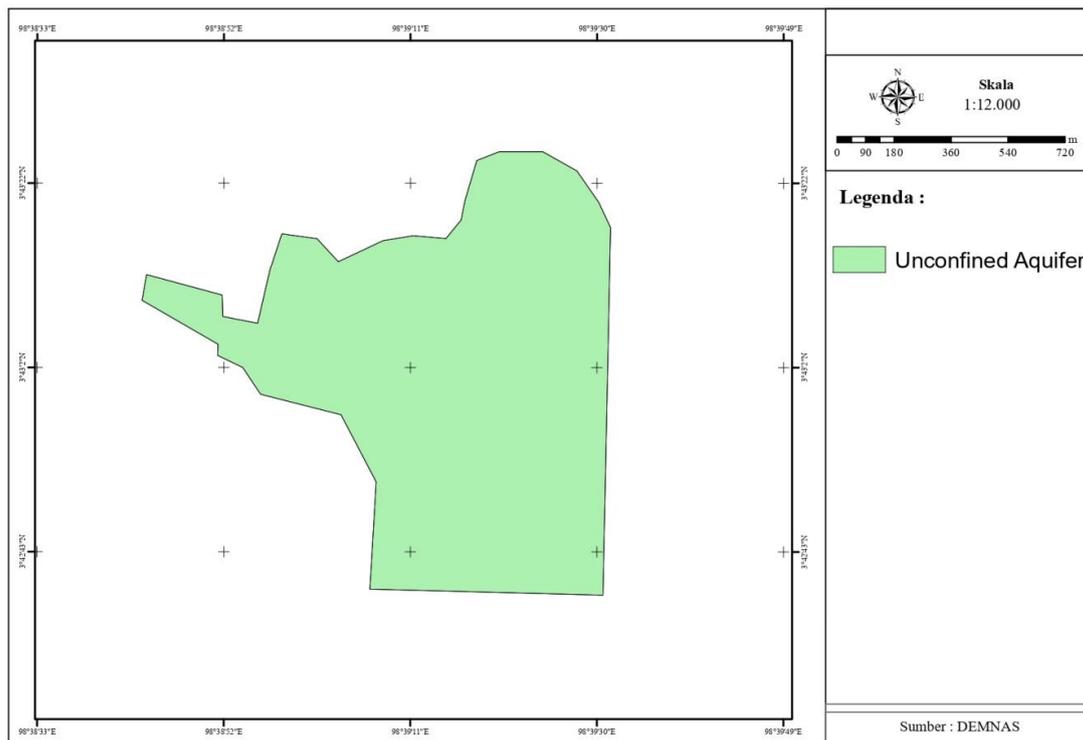
Analisis tingkat kerentanan air tanah di TPA Terjun Kota Medan ini menggunakan metode GOD yang dilakukan pada 3 parameter yaitu: jenis akuifer, jenis litologi dan kedalaman muka air tanah. Tiap parameter diklasifikasikan sesuai dengan indeks sesuai dengan Gambar 1 dan pembuatan peta. Ketiga parameter tersebut dihitung perkalian melalui proses raster calculator yang berada dalam perangkat lunak

ArcGis, kemudian dari hasil perhitungan tersebut dilakukan pembobotan nilai dengan perbandingan didasarkan kelas yang telah ditentukan dalam pembobotan.

a. Jenis Akuifer

Akuifer merupakan lapisan batuan yang dapat menyimpan dan meloloskan air dalam jumlah besar. Sebab, lapisan tersebut tersusun dari batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi seperti kerikil dan pasir. Jenis akuifer merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis tingkat kerentanan air tanah terhadap pencemaran. Jenis akuifer pada lokasi studi dapat diperoleh dari *Digital Elevation Model* (DEM) Nasional sehingga diperoleh jenis akuifer pada TPA Terjun Kota Medan adalah akuifer bebas.

Akuifer bebas atau akuifer dangkal merupakan akuifer yang berada di zona *saturate* atau zona jenuh air. Jenis akuifer ini terbentuk dari lapisan permeabel dan lapisan impermeabel. Kedalaman maksimal akuifer bebas adalah 15 meter. Penentuan nilai pada jenis akuifer dapat disesuaikan dengan acuan klasifikasi GOD yang dapat dilihat pada Gambar 1. Akuifer bebas dalam klasifikasi GOD memiliki nilai 1. Penentuan nilai akuifer bebas didasarkan pada karakteristik akuifer bebas yang cenderung lebih dekat ke permukaan dan tidak memiliki akuitar (Sukmawati dkk, 2020).



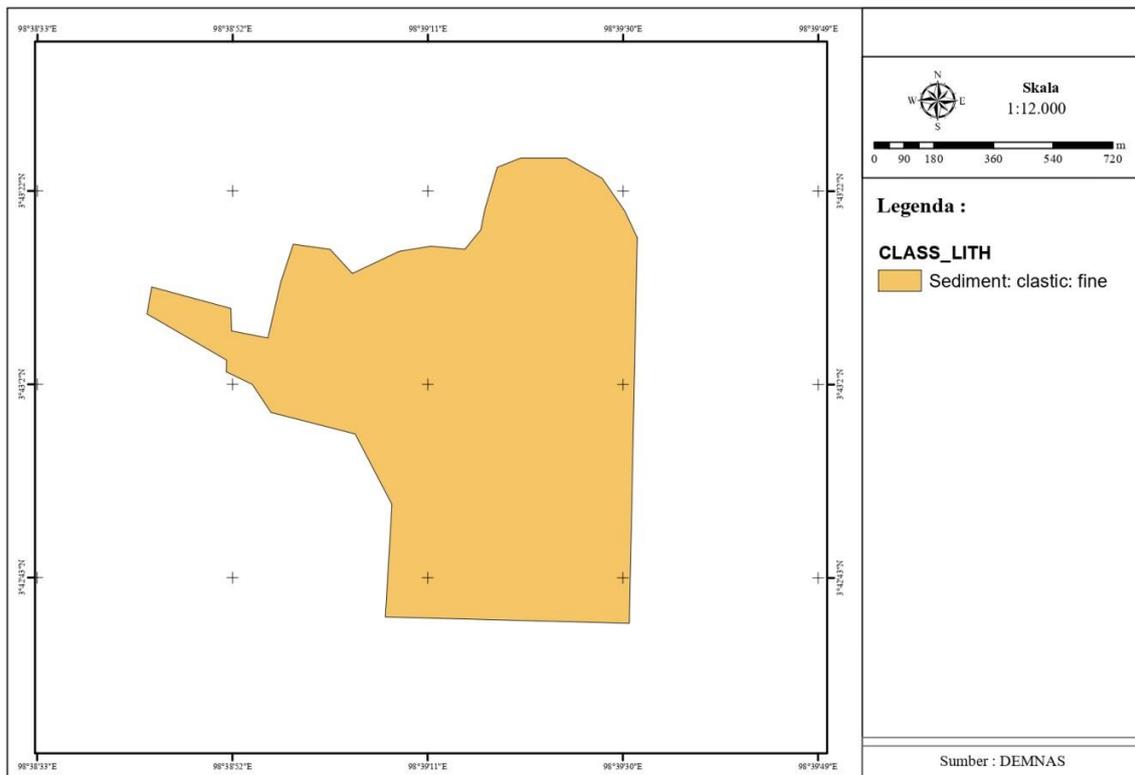
Gambar 2. Jenis Akuifer

Sumber: Penelitian, 2022

b. Jenis Litologi

Jenis litologi merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis tingkat kerentanan air tanah terhadap pencemaran. Jenis litologi pada lokasi studi dapat diperoleh dari *Digital Elevation Model (DEM) Nasional* sehingga diperoleh jenis litologi pada TPA Terjun Kota Medan adalah sedimen klastik. Sedimen klastik sebagian besar terdiri dari mineral lempung dan partikel kuarsa, dengan sejumlah kecil Feldspar, mika, dan mineral berat.

Litologi akuifer merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menganalisa tingkat kerentanan air tanah. Jenis litologi dapat diketahui berdasarkan kondisi bawah permukaan yang diperoleh dari hasil log bor. Daerah penelitian memiliki jenis litologi akuifer yang terdiri dari tanah lapisan atas dan batu lempung (Sukmawati dkk, 2020). Penentuan nilai jenis litologi disesuaikan dengan acuan klasifikasi GOD yang dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan nilai klasifikasi GOD lempung dan breksi memiliki nilai lebih rendah dari pasir, yaitu 0,5 dan 0,6. Pasir memiliki nilai lebih besar dibandingkan lempung dan breksi, yaitu 0,7.



Gambar 3. Jenis Litologi

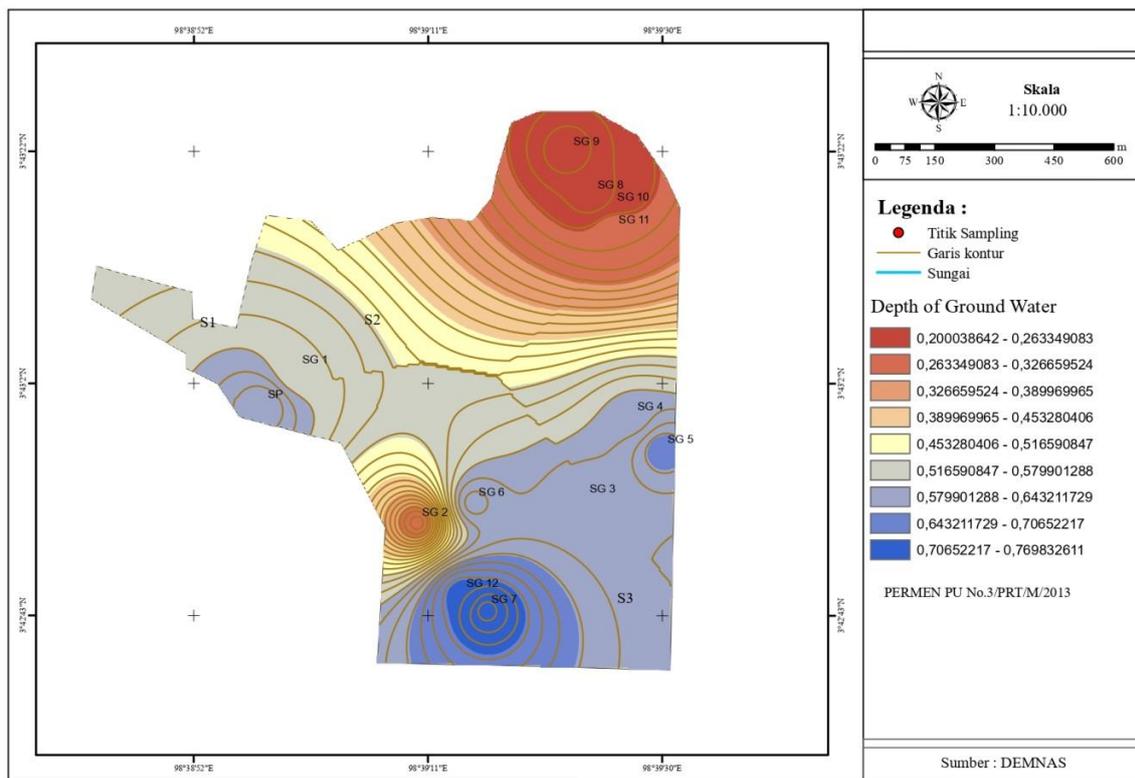
Sumber: Penelitian, 2022

c. Kedalaman Muka Air Tanah

Kedalaman muka air tanah merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis tingkat kerentanan air tanah terhadap pencemaran. Data kedalaman muka air tanah ini diperoleh dari *Digital Elevation Model (DEM) Nasional* dengan titik sampelnya berjumlah 13 titik. Titik sample ini didapatkan dari pengukuran langsung

ke TPA Terjun Kota Medan menggunakan alat GPS lalu diolah menggunakan *software* ArcGIS.

Hasil akhir dari parameter ini adalah peta kedalaman muka air tanah. Dari peta yang dihasilkan, nilai terendah adalah 0,20 m dan tertinggi 0,77 m sehingga nilai kedalaman muka air tanah berdasarkan acuan klasifikasi GOD pada Gambar 1 adalah 1,0. Dari data yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin dangkal muka air tanah, maka semakin besar nilai kerentanan terhadap pencemaran.



Gambar 4. Kedalaman Muka Air Tanah

Sumber: Penelitian, 2022

d. Analisis Kerentanan Air Tanah terhadap Pencemaran

Berdasarkan hasil metode GOD Indeks dataran di TPA Terjun Kota Medan termasuk ke dalam tingkat kerentanan tinggi (nilai 1,0) yang memiliki sifat dapat tercemar oleh semua polutan, kecuali yang memerlukan daya serap. Hal ini karena berdasarkan peta kedalaman muka air tanah kedalamannya tidak ada yang sampai 2 m sehingga nilainya 1,0. Pembagian tersebut didasarkan dari hasil penggabungan ketiga parameter GOD.

Berdasarkan peta kerentanan air tanah terhadap pencemaran bisa menjadi gambaran secara umum wilayah rentan terhadap pencemaran. Metode ini melihat dari segi litologi dan hidrogeologi, sehingga tidak dapat menunjukkan zat-zat yang mengkontaminasi air tanah.

Pendekatan rumus yang digunakan untuk menghasilkan nilai indeks kerentanan adalah dengan perhitungan linier variabel kerentanan GOD (Hastuti dkk, 2016), sebagai berikut.

$$iGOD = Gw \times Ow \times Dw$$

Di mana:

iGOD : nilai indeks kerentanan GOD
G, O, D : parameter kerentanan
W : weight (nilai bobot)

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari ke tiga parameter maka nilai dari indeks GOD adalah sebagai berikut.

$$iGOD : Gw \times Ow \times Dw$$

$$iGOD : 1 \times 0,5 \times 1 = 0,5$$

Nilai indeks kerentanan yang dihasilkan dari penelitian ini adalah 0,5. Hal ini menyebabkan potensi masuknya bahan pencemar adalah sedang (Vrba dan Zaporozec, 1994). Tingkat kerentanan sedang bersifat akan tercemar oleh polutan namun pencemaran terjadi oleh sebagian polutan yang dibuang secara berkala dan terus-menerus kecuali yang memerlukan daya serap (Hadi, 2006).

Kesimpulan

Hasil penilaian kerentanan airtanah terhadap kontaminan dengan menggunakan metode GOD dari ketiga parameter memiliki nilai indeks GOD adalah 0,5 yang menunjukkan kerentanan air tanah berada pada menengah/sedang). Berdasarkan jenis akuifer pada TPA Terjun Kota Medan adalah akuifer bebas yang memiliki kedalaman maksimal akuifer bebas adalah 15 meter dengan nilai klasifikasi GOD adalah 1. Selanjutnya, dilihat dari segi litologi termasuk dalam sedimen klastik. Berdasarkan nilai klasifikasi GOD lempung dan breksi memiliki nilai lebih rendah dari pasir, yaitu 0,5 dan 0,6. Pasir memiliki nilai lebih besar dibandingkan lempung dan breksi, yaitu 0,7.

Kondisi sekitar TPA Terjun Kota Medan untuk kerentanan air tanah termasuk ke dalam tingkat kerentanan tinggi (nilai 1,0) yang memiliki sifat dapat tercemar oleh semua polutan, kecuali yang memerlukan daya serap. Pada peta kedalaman muka air tanah diperoleh nilai terendah adalah 0,20 m dan tertinggi 0,77 m sehingga nilai kedalaman muka air tanah berdasarkan acuan klasifikasi GOD adalah 1,0 menunjukkan bahwa semakin dangkal muka air tanah, maka semakin besar nilai kerentanan terhadap pencemaran. Untuk mencegah terjadinya pencemaran air tanah pada akuifer di lokasi penelitian, maka perlunya pengolahan dan pengelolaan yang tepat agar tidak mengakibatkan pencemaran air tanah.

Selain itu, peta kerentanan airtanah terhadap pencemaran dapat dilakukan peta kerentanan airtanah terhadap kandungan geokimia airtanah pada lokasi penelitian seperti zat organik dan anorganik, nitrat, logam-logam maupun konsentrasi unsur lainnya. Hasil penelitian ini diharapkan agar meminimalisir dampak pengolahan airtanah di sekitar TPA TERJUN.

Daftar Pustaka

BSN. (2005). Standar Nasional Indonesia (SNI) no.13-1712-2005 tentang penyelidikan potensi air tanah skala 1:100.000 atau lebih besar. Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Falowo, O.O., Akindureni, Y., and Ojo, O. 2017. Groundwater Assessment and Its Intrinsic Vulnerability Studies Using Aquifer Vulnerability Index and GOD Methods. *International Journal of Energy and Environmental Science*, 2(5): 103-116. doi: 10.11648/j.ijeess.20170205.13

Febriarta, E. and Vienastra, S. 2020, Penentuan Zona Kerentanan Airtanah Metode Simple Vertical Vulnerability di Pulau Yebeu, *Jurnal Swarnabhumi: Jurnal Geografi dan Pembelajaran Geografi*, 5(2), 58. doi:10.31851/swarnabhumi.v5i2.4431.

Febriarta, E., Prabawa, B .A., Larasati, A. 2021. Kerentanan spasial air tanah terhadap pencemaran metode GOD pada formasi batugamping koral Kota Saumlaki, Maluku. *Geomedia*, 19(1), 1-14.

Fetter, C. W. (2014). *Applied Hydrogeology*. Pearson New Internasional Edition.

Foster, S.S.D. (2002) Groundwater recharge and pollution vulnerability of British aquifers: a critical overview, in: Robins, N.S. (Ed.), *Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability* Geological Society, London, Special Publications, 130: 7-22.

Foster, S.S.D. 1987, *Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy, vulnerability of soil and groundwater to pollutants*; 38, TNO [10]commission on Hydro Res, Proc. And Inform., Hague, 68-69.

Fraga, C.M., Fernandes, L.F.S. (2013). Exploratory assessment of groundwater vulnerability to pollution in the Sordo River Basin, Northeast of Portugal, *Rev. Esc. Minas* 66(1) <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672013000100007>

Gad, M.I., El-Kammar, M.M., and Ismail, H.M.G. 2015. Groundwater Vulnerability Assessment Using Different Overlay and Index Methods for Quaternary Aquifer of Wadi El-Tumilat, East Delta, Egypt. *Asian Review of Environmental and Earth Sciences*, 2(1): 9-22.

Gazhavi, R. dan Ebrahimi, Z. 2015. Assessing Groundwater Vulnerability to Contamination in an Arid Environment using DRASTIC and GOD Models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12: 2.909 - 2.918.

Hadi, S. 2006. Penilaian Kerentanan Airtanah di Bandung. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 16(2), 13-23.

Haq, Shofa Rijalul., Dwinagara, Barlian., Triana, Karlina., and Cahyadi, T. A. 2013. Analisis Tingkat Kerentanan Air Tanah Pada Rencana Pertambangan Batubara di Barito Timur, Kalimantan Tengah. *Prosiding TPT XXII PERHAPI*.

- Harter, T., 2001, Assessing Vulnerability of Groundwater, California. [online akses 7 November 2007]. URL:http://groundwater.ucdavis.edu/Publications/HarterUCD_DHS_14_Vulnerability_Assessment_draft.pdf
- Hastuti, D., Yulianto, T., dan Putranto, T.T. 2016. Analisis Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Dataran Alluvial Kota Semarang Menggunakan Metode GOD dengan Memanfaatkan Data Resistivitas dan Data Hidrogeologi. *Youngster Physics Journal*, 5(4): 277-290.
- Hastuti, I. D., Nusantara, T., Subanji., & Susanto, H. (2016). Constructive metacognitive activity shift in mathematical problem solving. *Educational Research and Reviews*, 11(8), 656-667. doi: 10.5897/ERR2016.2731.
- Javadi, S., Modification of DRASTIC Model to Map Groundwater Vulnerability to Pollution Using Nitrate Measurements in Agricultural Areas, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, pp.239-249 (2011).
- Katyal Deeksha, Tapasya Tomer and Varun Joshi 2017. Recent trends in groundwater vulnerability assessment techniques: A review. ISSN Print: 2394-7500. ISSN Online: 2394-5869. *International Journal of Applied Research*; 3(5): 646-655.
- Knouz, N., Bachaoui, E., and Boudhar, A. 2017. Cartography of intrinsic aquifer vulnerability to pollution using GOD method: Case study Beni Amir groundwater, Tadla, Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(3): 1046-1053.
- Kodoatie, R.J. (2012) *Tata Ruang Air Tanah*, Andi, Yogyakarta.
- Maria, R. 2017. Comparative Studies of Groundwater Vulnerability Assessment. *Earth and Environmental Science*, 118: 1-6.
- Milsom. (2003). *Field Geophysics, The Geological Field Guide Series (3rd ed.)*. West Sussex: J., John Wiley & Sons.
- Moreno-Gómez, M., Martínez-Salvador, C., Moulahoum, A., Liedl, R., Stefan C., Pacheco, J., (2019) First Step into an Integrated Karst Aquifer Vulnerability Approach (IKAV). *Intrinsic Groundwater Vulnerability Analysis of the Yucatan Karst, Mexico*. *Water*. 11: 1-2.
- National Research Council 1993. *Groundwater Vulnerability Assessment: Predicting Relative Contamination Potential under Conditions of Uncertainty*. Committee for Assessing Ground Water Vulnerability, National Academy Press, Washington, D. C. 210p.
- Oiste A.M. 2014. Groundwater Quality Assessment in Urban Environment. *Int J Environ Sci Technol*, 11(7), 2095-2102.
- Olojoku, I.K., Modreck, G., Adeyinka, O.S., and Adebayo, Y.M. 2017. Vulnerability Assessment of Shallow Aquifer Hand-Dug Wells in Rural Parts of Northcentral Nigeria using AVI and GOD Methods. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 18(1): 325-333.

- Oni, T.E.; Omosuyi, G.O. dan Akinlalu, A.A. 2017. Groundwater Vulnerability Assessment using Hydrogeologic and Geoelectric Layer Susceptibility Indexing at Igbara Oke, Shouthwestern Nigeria. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 6(2): 452-458.
- Oroji, B. 2018. Assessing Groundwater Vulnerability by Pollution Mapping in Iran: Case Study Hamadan-Bahar Plain. *Geofisica Internacional*, 57(3): 161-174.
- Pujianto, E., Supangkal, H., Utomo, N. M., & Hakim, A. (2011). Studi Pengaruh Penambangan Batubara Terhadap Kondisi Potensi Air Tanah di Daerah Kalimantan Selatan. *Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara*.
- PUPR. (2016). Penyusunan Rencana Induk Sistem Pelayanan Air Minum (RI-SPAM) Kabupaten Maluku Tenggara Barat. Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Ribeiro, L., Carlos, J. and Dominguez-granda, L. (2017) 'Assessment of groundwater vulnerability in the Daule aquifer, Ecuador, using the susceptibility index method', *Science of the Total Environment*, The. Elsevier B.V., 574, pp. 1674-1683. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.004.
- Rukmana, B., Bargawa, W., Cahyadi, T. 2019. Assessment of Groundwater Vulnerability Using GOD Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 24 Januari 2019. Bogor, Indonesia. pp. 4-5.
- Siswoyo, H., 2018. Identifikasi Tingkat Kerentanan Akuifer Terhadap Pencemaran Di Kecamatan Sumobito Kabupaten Jomban Dengan Menggunakan Metode God. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*. 1(2) : 3.
- Sukmawati Rukmana, B. T., Bargawa, W. S., & Cahyadi, T. A. (2020). Assessment of Groundwater Vulnerability Using GOD Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012020>
- Suprayitno, A. 2016, Kerentanan Airtanah di Daerah Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Troiano, J., Nordmark, C., Barry, T. and Johnson, B., (1997) Profiling areas of ground water contamination by pesticides in California: phase II—evaluation and modification of a statistical model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 45: 301-318.
- UU No.7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.
- Vrba, J. dan Zaporozec, A. 1994. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. Hannover: International Association of Hydrogeologist.
- Wakhidatus, N., Nugraha, A., Awaluddin, M., (2021) Analisis Ancaman Terhadap Bencana Banjir dan Tanah Longsor Pada Wilayah Perumahan di Kabupaten Jepara. *Jurnal Geodesi Undip*. 10(2) : 29.