

STUDI PENYUSUNAN ZONA KERENTANAN AIR TANAH METODE GROUNDWATER OCCURANCE, OVELAYING LITHOLOGY, DEPTH OF GROUNDWATER (GOD) DI KOTA PEKALONGAN

Thomas Triadi Putranto^{*1}, Novie Susanto², Nestri Martini³

^{1,3}Fakultas Teknik, Teknik Geologi, Universitas Diponegoro

²Fakultas Teknik, Teknik Industri, Universitas Diponegoro

Email: putranto@ft.undip.ac.id

Naskah Masuk : 18 Agustus 2022

Naskah Revisi : 29 November 2022

Naskah Diterima : 2 Desember 2022

Abstract

Environmental problems that arise are often triggered by the development of population and socioeconomic communities. The increase in population affects the water needs in Pekalongan City. Water needs in Pekalongan City are obtained from unconfined aquifers and confined aquifers. The quality of unconfined aquifer groundwater is more susceptible to pollution than confined aquifers. This is because the groundwater in the aquifer is close to the surface, allowing pollutant sources to easily enter the groundwater. One of the objectives of this study is to determine the level of vulnerability and its suitability with land use. This study used the GOD (Groundwater occurrence, Overlying lithology and Depth of groundwater) method, to analyze the vulnerability of groundwater to pollution. The parameters used consist of the type of aquifer, the type of cover lithology, and the groundwater depth of the unconfined aquifer. The three parameters were analyzed using a Geographic Information System (GIS) and a raster overlay was performed. From the results of the analysis, it produced 3 (three) zones, namely moderate vulnerability level (0.45-0.5), high vulnerability (0.51-0.7), and very high vulnerability level (0.71-0.9).

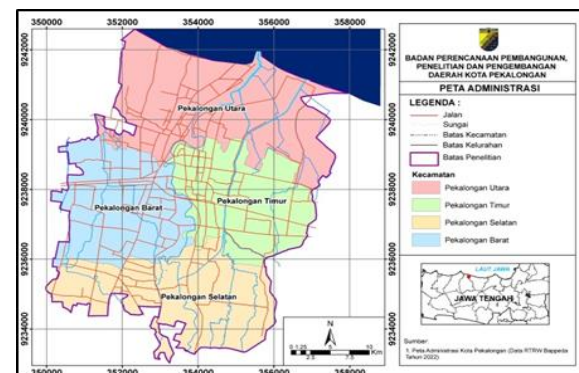
Keywords: Unconfined Aquifer, GOD, groundwater vulnerability zone, Pekalongan City.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Pekalongan terletak di pesisir utara Pulau Jawa dengan luas wilayah 45,25 km², yang terdiri dari empat kecamatan yaitu, Kecamatan Pekalongan Barat, Kecamatan Pekalongan Utara, Kecamatan Pekalongan Selatan, dan Kecamatan Pekalongan Timur (Gambar 1). Jumlah penduduk pada wilayah Kota Pekalongan terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Peningkatan jumlah penduduk di wilayah Kota Pekalongan pada tahun 2019 hingga 2020 berkisar 0,85% (Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan, 2021). Berdasarkan data statistik jumlah penduduk Kota Pekalongan pada tahun 2019-2020 sekitar 307.097 - 307.150 jiwa. Potensi ekonomi yang dimiliki Kota Pekalongan berupa sektor pertanian, perikanan, dan industri dengan skala menengah maupun kecil. Laju pertumbuhan ekonomi Kota

Pekalongan sebesar 3,59%, lebih rendah dibandingkan tahun 2018 yang mencapai 5,69%, hal ini disebabkan pandemi Covid-19 yang tak kunjung selesai. Sektor industri juga mengalami pertumbuhan sebesar 2.38% (BPS Kota Pekalongan, 2021).



Gambar 1 Lokasi Penelitian (Bappeda, 2022)

Pemasalahan lingkungan seringkali dipicu oleh dinamika penduduk, sosial dan ekonomi masyarakat (Putranto, dkk., 2020). Peningkatan industri dan jumlah penduduk berbanding lurus dengan permintaan sumber daya air, dengan peningkatan jumlah penduduk tersebut maka akan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan (Putranto, dkk., 2016). Pada tahun 2019, zat pencemar berupa limbah batik yang dibuang ke sungai Pekalongan ditemukan oleh dinas terkait, dan dilihat dari citra satelit sungainya berwarna hitam (Susanto, 2019). Kota Pekalongan menjadi salah satu kota di Provinsi Jawa Tengah yang hampir semua sungainya sudah tercemar (Permatasari, dkk., 2021). Sungai yang tercemar dapat berpengaruh terhadap lingkungan, terutama air tanah yang berada di sekitar sungai, yang mana kemungkinan kontaminasi meningkat, hal ini dikarenakan dampak dari industri batik yang berkembang (Paramnesi dan Riza, 2020; Permatasari, dkk., 2021). Upaya harus dilakukan untuk melindungi air tanah dengan menempatkan area kontaminasi air tanah pada risiko (Pamungkas, 2017). Untuk membuat zona kerentanan ada banyak metode yang dapat digunakan di antaranya metode *GOD* (Foster dan Hirata, 1988), *AVI* (Van Stempvoort dkk., 1993), *GALDIT* (Lobo-Ferreira dkk., 2007), *SINTACS* (Civita, 2010) dan *DRASTIC* (Aller dkk., 1985). Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode pemetaan kerentanan *GOD* pada wilayah Kota Pekalongan. Metode *GOD* telah dilakukan di beberapa daerah seperti Kota Semarang (Pamungkas, 2017) dengan litologi daerah setempat didominasi aluvium dan topografi cenderung landai hingga datar. Kota Pekalongan memiliki karakteristik litologi dan morfologi yang cenderung sama, sehingga metode ini sesuai jika diterapkan di Kota Pekalongan. Metode pemetaan *GOD* ini memiliki kelebihan dibanding metode lain yakni kerentanan air tanah dianalisis dengan menggabungkan faktor intrinsik berupa lapisan tanah/batuan yang berada di atas akuifer yang rentan mengalami pencemaran oleh aktivitas manusia (Foster dan Hirata, 1988).

Tingkat kepadatan penduduk sejumlah 6.787 jiwa per km² memicu peningkatan pembangunan infrastruktur dan permukiman sehingga mengubah fungsi lahan dan semakin

meningkatnya potensi pencemaran (BPS Kota Pekalongan, 2021). Pada penelitian ini kita akan melihat zonasi risiko kerentanan air tanah terhadap pencemaran di Kota Pekalongan. Dari zonasi kerentanan ini dapat dilihat tata guna lahan Kota Pekalongan sesuai apa tidak dengan peta kerentanan, jika tidak sesuai maka dapat direkomendasikan alih fungsi lahan sebagai bentuk dalam mewujudkan visi dan misi pembangunan Kota Pekalongan yang mengarah pada peningkatan kesejahteraan dan kemandirian, dan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas sarana dan prasarana perkotaan yang ramah lingkungan untuk kualitas lingkungan hidup yang berkelanjutan dengan didukung sumber daya air.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil identifikasi akuifer dangkal (bebas), mengetahui kondisi kedalaman muka air tanah, menghasilkan peta kerentanan air tanah terhadap pencemaran metode *GOD*.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Kerentanan Air Tanah

Dua jenis kerentanan air tanah menurut Hatori (2008), yaitu:

1. Kerentanan air tanah intrinsik.

Keadaan alam geologi permukaan atau bawah permukaan yang mempengaruhi kerentanan intrinsik.

2. Kerentanan air tanah spesifik.

Kerentanan air tanah ini disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti: penggunaan lahan, kepadatan penduduk dan jumlah pengambilan air tanah.

Kerentanan air tanah yang digunakan dalam metode *GOD* adalah jenis kerentanan air tanah intrinsik. Kerentanan intrinsik adalah kerentanan yang ditujukan untuk mengetahui tingkat perlindungan yang dipengaruhi oleh geologi dan hidrogeologi seberapa besar. Kerentanan ini ditandai dengan pembuatan peta kerentanan suatu wilayah yang diberi warna dan simbol (Vrba dan Zaporozec, 1994). Manfaat dari kerentanan ini dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan pembuat keputusan dan kebijakan di pemerintahan terkait penggunaan lahan, perencanaan pembangunan berkelanjutan, perlindungan sumber air tanah, perlindungan dan pemantauan kawasan prioritas dan

pembelajaran bagi masyarakat (Stempvoort dkk.,1993).

1.2.2. Metode GOD (Groundwater Occurance, Overlying Strata and Depth to Groundwater Table)

Metode GOD adalah metode sederhana dan sistematis yang dapat digunakan untuk menentukan risiko pencemaran air tanah (Fraga dkk., 2013). Analisis kerentanan menggunakan metode GOD, dilakukan dengan menggabungkan 3 (tiga) parameter yang masing-masing parameter diberikan bobot (Foster dan Hirata, 1988) yaitu:

1. Groundwater Occurance (G)

Salah satu parameter dalam metode GOD yang menitikberatkan kepada jenis akuifer. Jenis akuifer yang dimaksud seperti akuifer bebas, akuifer tertekan atau akuifer semi tertekan. Bobot diberikan untuk setiap jenis akuifer dapat dilihat pada Gambar 2.

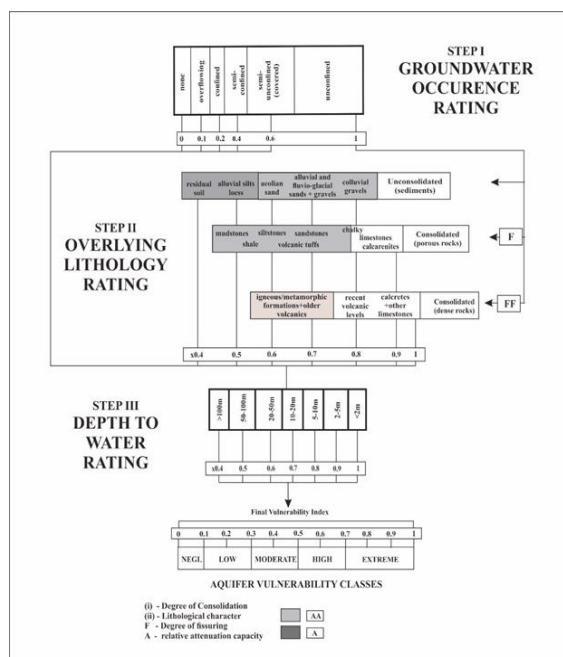
2. Overlying Strata (O)

Salah satu parameter dalam analisis kerentanan air tanah terhadap pencemaran, yang menggambarkan litologi yang terdapat pada zona tidak jenuh air/vados sebagai penutup akuifer. Litologi penutup akuifer seperti pasir, kerikil, lempung, yang diberikan nilai bobot seperti terlihat pada Gambar 2.

3. Depth to Groundwater table (D)

Kedalaman air tanah merupakan parameter terakhir untuk mengetahui kerentanan air tanah terhadap pencemaran. Nilai kedalaman air tanah diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung pada masing-masing sumur gali. Kedalaman muka air tanah merupakan parameter penentu waktu tempuh polutan mencapai muka air tanah.

Setelah melakukan pembobotan dari masing-masing parameter, ketiga parameter tersebut dikalikan sehingga didapatkan bobot kerentanan metode GOD (Tabel 1).



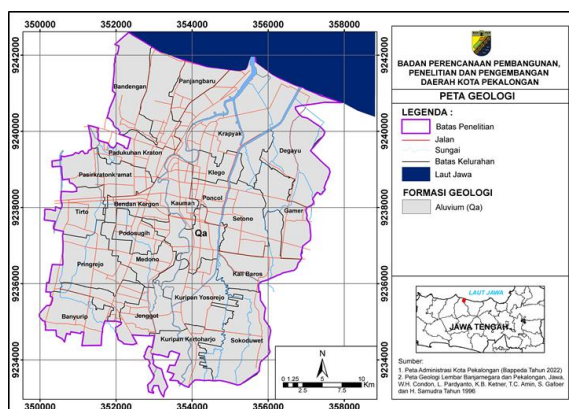
Gambar 2. Pembobotan Parameter Metode GOD (Foster dan Hirata, 1988)

1.2.3. Geologi dan Hidrogeologi

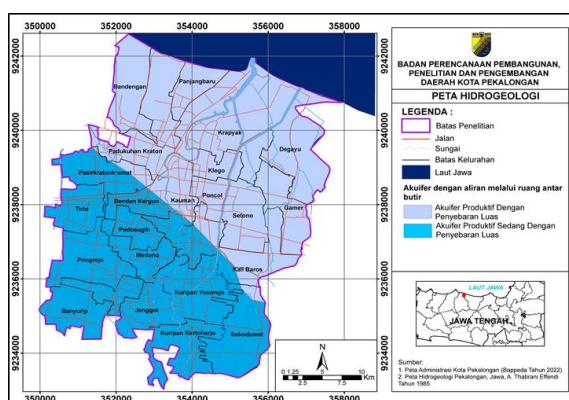
Menurut (Condon. Dkk., 1996), dalam lembar Peta Geologi Banjarnegara - Pekalongan, daerah penelitian didominasi oleh endapan aluvial dengan litologi endapan kerikil, pasir, lempung, lanau, yang tersebar luas (Gambar 3). Dengan morfologi dataran (0-3%) dan sedikit bergelombang (3-8%) menurut van Zuidam, 1983.

Tabel 1 Pengelompokan Nilai Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran (Foster dan Hirata, 1988).

Kelas Kerentanan untuk Nilai Akhir pencemaran Air tanah	
Kerentanan sangat tinggi	0,71-1
Kerentanan tinggi	0,51-0,7
Kerentanan menengah	0,31-0,5
Kerentanan rendah	0,11-0,3
Kerentanan sangat rendah	0-0,1



Gambar 3 Peta Geologi



Gambar 4 Peta Hidrogeologi

Kota Pekalongan merupakan bagian dari CAT Pekalongan - Pemasang (Putranto dkk., 2016). Berdasarkan peta hidrogeologi Pekalongan (Effendi, 1985), air tanah mengalir melalui ruang antar butir dan termasuk dalam sistem akuifer produktif dengan sebaran luas. Akuifer mengalir melalui ruang antar butir terdiri dari endapan aluvial berupa lempung, lanau, pasir, kerikil dan material berbutir lanau dengan konduktivitas hidrolika 2,68 m/hari (Putranto dkk., 2020). Akuifer produktif sedang dengan distribusi luas merupakan akuifer yang mengalir melalui ruang antar butir terdiri dari formasi aluvial yang tersusun dari material lempung, lanau, pasir, kerikil dan lanau dengan konduktivitas hidrolika 1,3 m/hari (Putranto dkk., 2020.) (Gambar 4).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Jenis dan Sumber Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengumpulan data yang terdiri dari pengumpulan data sekunder dan pengumpulan data primer. Pengumpulan data

sekunder meliputi 18 data log bor, peta geologi, peta hidrogeologi, peta RTRW Kota Pekalongan, dan data administrasi Kota Pekalongan. Pengumpulan data primer meliputi pemetaan hidrogeologi secara menyeluruh dalam hal ini pengukuran kedalaman muka air tanah akuifer bebas terhadap 50 sumur gali, pengambilan sampel air terhadap 50 sumur gali dengan ukuran 100 ml, pengujian DHL (Daya Hantar listrik) dan pH terhadap 50 sampel air, survei tata guna lahan, survei geologi permukaan (litologi permukaan, litologi pada sumur, dan morfologi).

2.2. Analisis Data

Analisis spasial berbasis sistem informasi geografis (*Surfer 11*, *CorelDraw* dan *Arc GIS 10.4*) digunakan untuk menganalisis kedalaman muka air tanah, kedudukan muka air tanah, pH, DHL, mengkorelasikan ke-18 titik bor, menentukan jenis tanah permukaan berdasarkan hasil kombinasi peta geologi dan lapisan permukaan dari data bor. Tahapan selanjutnya menganalisis data sesuai dengan metode *GOD*. Ketiga parameter *GOD* yaitu jenis akuifer, litologi penutup yang didapatkan dari jenis tanah, kedalaman muka air tanah dari pengukuran langsung di lapangan, masing-masing parameter diberikan bobot sesuai dengan klasifikasi metode *GOD*. Misalnya, parameter G akan diberikan bobot 1 saat jenis akuifer bebas, sedangkan bobot biasanya 0 saat jenis akuifer tertekan. Parameter O memiliki bobot yang rendah apabila zona tak jenuh terdiri dari material yang kedap seperti lempung atau granit masif, sedangkan bernilai tinggi jika terdiri dari material sedimen yang tidak kedap dan lepas seperti batu pasir, kerikil dan batu gamping. Nilai bobot parameter D tinggi bila muka air tanah rendah dan sebaliknya (Fraga dkk., 2013). Ketiga parameter tersebut dikalikan, sehingga menghasilkan peta kerentanan air tanah metode *GOD*. Hasil perkalian ketiga parameter pada metode *GOD* memberikan nilai antara 0 dan 1 (Tabel 1), di mana keterangan nilai 0 menunjukkan tingkat kerentanan pencemaran rendah, sedangkan nilai 1 berarti tingkat kerentanan pencemaran tinggi. Banyak peneliti menggunakan metode ini karena efektif dan efisien.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Litologi

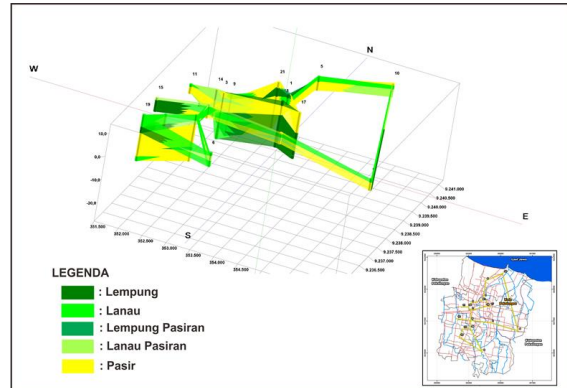
Untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah penelitian dilakukan korelasi litologi dengan menggunakan data bor pada daerah penelitian. Dari data bor, dapat diketahui jenis litologi daerah penelitian berupa lempung, lanau, lempung pasir, lanau pasir, pasir.

Korelasi diagram pagar berarah selatan – utara dari titik 6 melewati seluruh titik 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, dan 21, yang berada pada Kecamatan Pekalongan Barat, Pekalongan Selatan, Pekalongan Utara, dan Pekalongan Timur (Gambar 5). Apabila dikaitkan dengan peta geologi, sayatan ini melintasi endapan aluvium. Dari data bor tersebut ditemukan lapisan pasir yang sangat tebal pada titik 19 dan 20 menipis ke arah titik 8. Lapisan pasir juga ditemukan di titik 5 dan menerus ke titik 17, 18, 3, 4, 11, dan 8. Lapisan pasir bertindak sebagai akuifer. Akuifer merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sehingga mampu menyimpan dan mengalirkan air (Danaryanto dkk, 2005). Lapisan lempung tebal ditemukan di titik 17 dan menerus ke titik 18. Lempung ditemukan setempat di titik 19 dan 15, 21, 8. Lapisan lempung bertindak sebagai akuiklud. Akuiklud berarti lapisan batuan yang mampu menyimpan tetapi tidak dapat mengalirkan air (Danaryanto dkk, 2005). Lapisan lanau pasir ditemukan setempat di titik 10, 20, 2, 6 dan titik 14 yang menerus ke titik 3, 8, dan 15. Lapisan lanau ditemukan di titik 19 menerus ke titik 6, 13, 20, 8, 2, 4, 10, 5, dan 1. Lanau ditemukan setempat di titik 9 dan 11. Lapisan lempung pasir ditemukan setempat di titik 1, 9, dan 20. Dari titik bor tersebut didapatkan peta jenis litologi berdasarkan penutup akuifer yaitu terdiri dari pasir, lanau, dan lempung (Gambar 6).

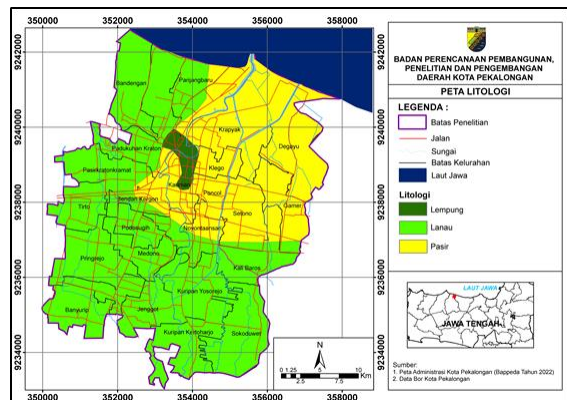
3.2. Kedalaman Muka Air Tanah

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, kedalaman muka air tanah di Kota Pekalongan diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tingkat, yaitu 0-1,5 mbmt; 1,5-3 mbmt; dan >3 mbmt. Di bagian utara, timur dan barat Pekalongan, kedalaman air tanah maksimum 1,5 mbmt dan 1,5-3 mbmt (Gambar 7). Muka air tanah pada sistem akuifer tidak tertekan berkisar anatar 0,2-8,6 mdpl, dengan kedudukan titik terdangkal yaitu 0,2

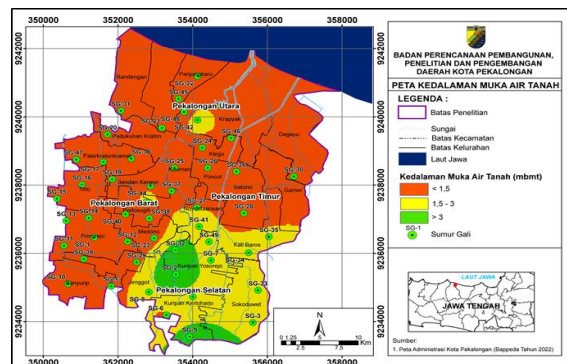
mdpl di Kelurahan Kuripan Yosorejo, Kecamatan Pekalongan Selatan, sedangkan titik terdalam yaitu 8,6 mdpl di Kelurahan Sokoduwet, Kecamatan Pekalongan Selatan. Arah aliran air tanah cenderung dari selatan ke utara (Gambar 8).



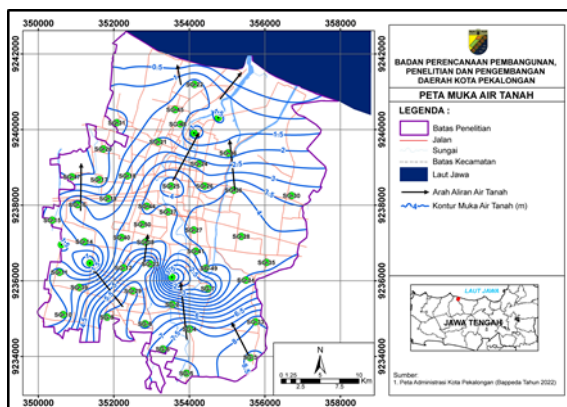
Gambar 5 Korelasi Litostratigrafi



Gambar 6 Peta Jenis Tanah



Gambar 7 Peta Kedalaman Muka Air Tanah

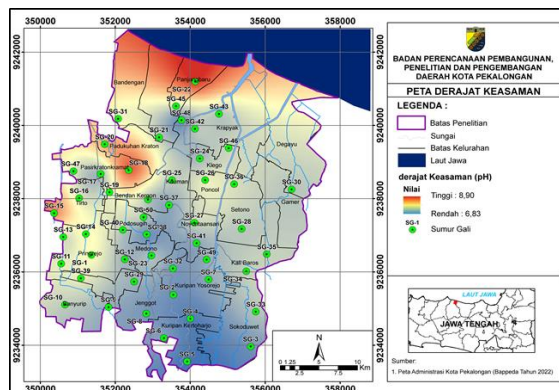


Gambar 8 Peta Kontur Muka Air Tanah

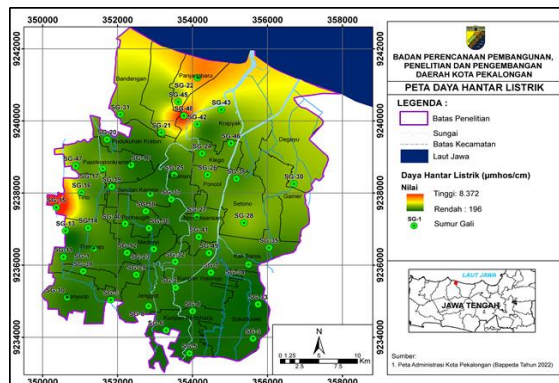
3.3. Kualitas Air Tanah

Derajat keasaman (pH) digunakan untuk membandingkan hasil sampel dengan baku mutu air untuk air bersih PERMENKES NO. 32 Tahun 2017. Baku mutu nilai pH untuk air minum yang disarankan adalah 6,5-8,5. Nilai pH diperoleh dari 50 sampel yang diuji, hasilnya berkisar antara 6,9-8,8 dengan rata-rata 7,5. Dari hasil pengujian pH sampel air tanah, terdapat dua sampel yang melebihi ambang batas yaitu sampel SG-18 berada di Kelurahan Kramatsari, Kecamatan Pekalongan Barat dengan nilai pH 8,6 dan sampel SG-22 berada di Kelurahan Panjang Baru, Kecamatan Pekalongan Utara dengan nilai pH 8,8 (Gambar 9). Nilai DHL daerah penelitian berkisar antara 230-7.850 $\mu\text{mhos/cm}$ dengan rata-rata sebesar 1.211 $\mu\text{mhos/cm}$. Berdasarkan hasil analisis nilai DHL, diketahui persebaran nilai DHL tinggi berada di daerah utara dan di bagian barat wilayah studi. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan 17 sampel yang memiliki nilai DHL $>1.000 \mu\text{mhos/cm}$, yaitu SG-14 di Kelurahan Pringrejo, Pekalongan Barat, SG-15 di Kelurahan Tirto, Pekalongan Barat, SG-16 di Kelurahan Tirto, Pekalongan Barat, SG-17 di Kelurahan Pasirkratonkramat, Pekalongan Barat, SG-21 di Kelurahan Kandang Panjang, Pekalongan Utara, SG-22 di Kelurahan Panjang Baru, Pekalongan Utara, SG-24 di Kelurahan Klego, Pekalongan Timur, SG-26 di Kelurahan Poncol, Pekalongan Timur, SG-28 di Kelurahan Setono, Pekalongan Timur, SG-30 di Kelurahan Gamer, Pekalongan Timur, SG-31 di Kelurahan Bandengan, Pekalongan Utara, SG-42 di Kelurahan Krapyak, Pekalongan Utara, SG-43 di Kelurahan Krapyak, Pekalongan Utara, SG-45

di Kelurahan Panjang Baru, Pekalongan Utara, SG-46 di Kelurahan Krapyak, Pekalongan Utara, SG-47 di Kelurahan Pasirsari, Pekalongan Barat, dan SG-48 di Kelurahan Panjang wetan, Pekalongan Utara (Gambar 10).



Gambar 9 Peta pH



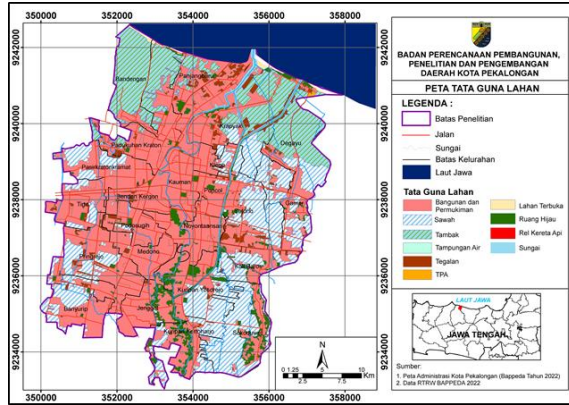
Gambar 10 Peta Daya Hantar Listrik

Kualitas air tanah berupa DHL dapat menjadi indikator adanya pencemaran di wilayah penelitian. Semakin tinggi nilai DHL-nya maka kualitas air tanah semakin menurun, penurunan kualitas air tanah menjadi indikasi pencemaran (Putranto dkk, 2017).

3.4. Tata Guna Lahan

Penggunaan tanah di Kota Pekalongan dibedakan menjadi tanah sawah dengan luas 11,08 km^2 , dengan penyebaran 24,04%. Tambak memiliki luas 6,61 km^2 , dengan penyebaran 14,33%. Tampung air memiliki luas 3.762 m^2 , dengan penyebaran 0,01%. Tegalan memiliki luas 1,48 km^2 , dengan penyebaran 3,12%. TPA memiliki luas 2,28 ha, dengan penyebaran 0,05%. Bangunan dan pemukiman memiliki luas sekitar 23,46 km^2 , dengan penyebaran 50,9%. Sungai memiliki luas 0,89 km^2 , dengan persentase 1,92%. Ruang hijau memiliki luas

sekitar 2,37 km², dengan persentase sebesar 5,05%. Luas lahan terbuka sekitar 0,15 km², dengan persentase 0,34%. Rel kereta api dan jaringan jalan (Gambar 11).



Gambar 11 Peta Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan tentu berkaitan erat dengan pencemaran, karena penggunaan lahan tinggi berpotensi menghasilkan kontaminan yang dapat meningkatkan potensi pencemaran (Ribeiro dkk, 2003). Penggunaan lahan tinggi dalam hal ini seperti industri, pemukiman, kebun, TPA, dan sawah dapat menjadi sumber pencemar, karena aktivitas di lingkungan tersebut menghasilkan limbah antropogenik yang dapat mencemari air tanah (Hilmawan dkk, 2021).

3.5. Kerentanan Metode GOD

1. Jenis Akuifer (*Groundwater Occurance*)

Jenis akuifer yang ada di daerah penelitian yaitu akuifer tidak tertekan (*unconfined aquifer*). Berdasarkan metode GOD jenis akuifer tidak tertekan diberikan pembobotan dengan nilai 1, di mana semakin besar bobotnya maka potensi terjadi pencemaran juga semakin besar. Karena akuifer tidak tertekan posisinya dekat dengan permukaan sehingga potensi tercemarnya sangat tinggi. Hasil analisis parameter G dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 12.

Tabel 2 Nilai Bobot Jenis Akuifer

Jenis Akuifer	Nilai
Akuifer tidak tertekan	1

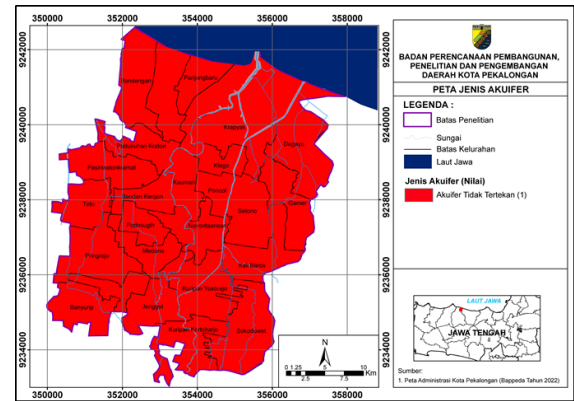
2. Litologi Penutup Lapisan Akuifer (*Overlying strata*)

Dari hasil korelasi litostratigrafi diketahui bahwa air tanah ditutupi oleh lapisan lain yang berperan sebagai lapisan penutup. Lapisan

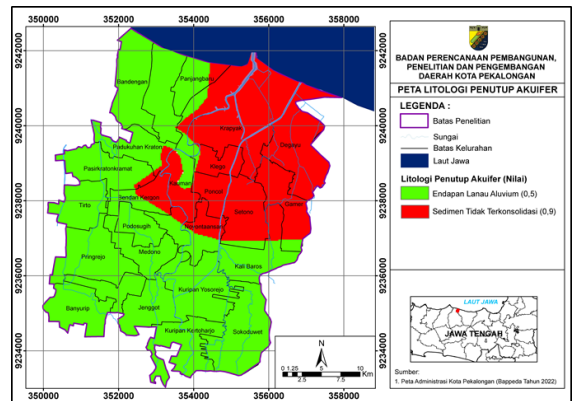
penutup akuifer yang terdapat di daerah penelitian berupa endapan lanau dan lempung yang digolongkan ke dalam endapan lanau aluvium dengan nilai 0,5, dan pasir aluvial yang dimasukkan ke dalam sedimen tidak terkonsolidasi dengan nilai 0,9. Litologi yang memiliki bobot tinggi dapat diartikan memiliki permeabilitas yang baik, tetapi potensi kerentanannya juga tinggi. Untuk detail parameter dan persebarannya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 13.

Tabel 3. Nilai Bobot Jenis Litologi Penutup Akuifer

Jenis Akuifer	Nilai
Endapan lanau aluvial	0,5
Sedimen tidak terkonsolidasi	0,9



Gambar 12 Peta Jenis Akuifer (G)



Gambar 13 Peta Litologi Penutup (O)

3. Kedalaman Muka Air Tanah Dangkal (*Depth to groundwater table*).

Kedalaman muka air tanah < 2 mbmt yang diberi warna merah memiliki nilai bobot 1, tersebar hampir di seluruh wilayah penelitian meliputi Kecamatan Pekalongan, Barat, Utara, sebagian Kecamatan Pekalongan Timur, dan Selatan. Bagian barat dan utara daerah penelitian

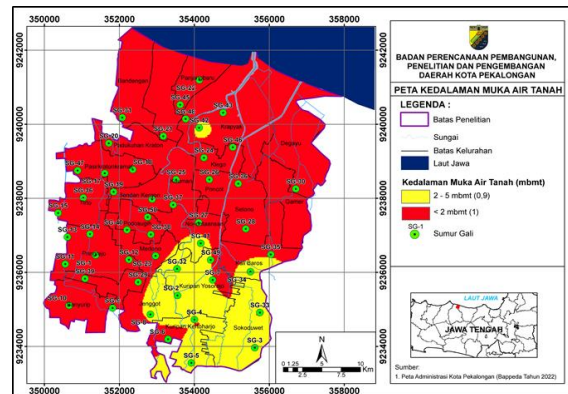
memiliki elevasi rendah dan daerah sungai dan rawa. Kedalaman muka air tanah ditandai dengan warna kuning sebesar 2-5 mbmt dengan nilai bobot 0,9 yang tersebar di bagian selatan wilayah studi yang termasuk wilayah perkotaan yang cukup padat penduduknya dengan ketinggian 10-15 mbmt. Semakin dangkal kedalamannya maka tingkat pencemarannya juga semakin tinggi. Kedalaman muka air tanah dijelaskan dalam Tabel 4 dan Gambar 14.

Tabel 4. Nilai Bobot Kedalaman Muka Air Tanah

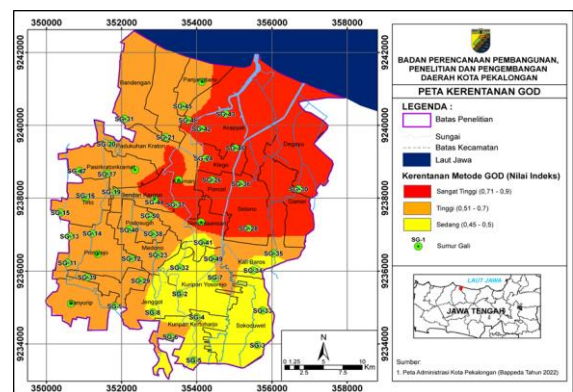
Kedalaman muka air tanah (m)	Nilai bobot
<2	1
2,1-5	0,9

Berdasarkan analisis kerentanan air tanah terhadap pencemaran yang dilakukan dengan metode GOD diketahui terdapat 3 zona kerentanan air tanah di daerah penelitian, yaitu, zona kerentanan sedang, zona kerentanan tinggi dan zona kerentanan sangat tinggi. Kerentanan sedang (0,45-0,5) secara keseluruhan berada di selatan wilayah penelitian. Zona ini memiliki litologi lanau dengan kedalaman muka air tanah 2-5 m. Zona ini di validasi dengan penggunaan lahan berupa ruang hijau, sungai, sawah, bangunan, dan pemukiman. Nilai DHL di wilayah ini berkisar antara 286-766 μ hos/cm. Kerentanan tinggi (0,51-0,7) secara keseluruhan berada di bagian barat, utara dan sedikit di bagian timur wilayah penelitian. Zona ini memiliki litologi lanau dengan kedalaman muka air tanah <2 dan 2-5 m. Zona ini di validasi dengan penggunaan lahan berupa ruang hijau, sungai, tambak, sawah, bangunan, dan pemukiman. Nilai DHL di wilayah ini berkisar antara 414-7850 μ hos/cm. Kerentanan sangat tinggi (0,71-0,9) secara keseluruhan berada di bagian timur dan utara wilayah penelitian. Zona ini memiliki litologi pasir dengan kedalaman muka air tanah <2 dan 2-5 m. Zona ini di validasi dengan penggunaan lahan berupa ruang hijau, sungai, tegalan, tambak, sawah, bangunan, TPA, dan pemukiman. Penggunaan lahan tinggi dapat menjadi sumber pencemar. Nilai DHL di wilayah ini berkisar antara 483-6.040 μ hos/cm. Nilai DHL bisa menjadi indikasi

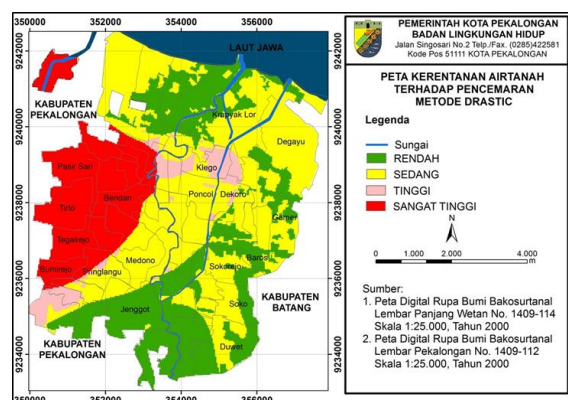
adanya kontaminan dalam air tanah, tetapi bukan satu-satunya faktor. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kerentanan pencemaran air tanah.. Penjelasan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6. Persebaran zona tersaji pada Gambar 15.



Gambar 14 Peta Kedalaman Muka Air Tanah (D)



Gambar 15 Peta Kerentanan Air Tanah Metode GOD



Gambar 16 Peta Kerentanan DRASTIC (Badan Lingkungan Hidup Kota Pekalongan, 2014)

Tabel 5 Tingkat Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran dan Persebarannya (Metode GOD)

Kerentanan	Sifat	Persebaran
0,45 - 0,5 (Sedang)	Beberapa polutan yang dilepaskan secara terus-menerus dapat mencemari.	<ol style="list-style-type: none"> Jenggot (Pekalongan Selatan) Kuripan Yosorejo (Selatan) Kalibaros (Timur) Sokoduwet (Selatan) Kuripan Keroharjo (Pekalongan Selatan) Noyotansari (Timur) Medono (Pekalongan Barat)
0,51-0,7 (Tinggi)	Dapat tercemar oleh semua polutan, kecuali yang memerlukan daya serap tinggi dan mudah berubah, dalam waktu berbagai skenario.	<ol style="list-style-type: none"> Jenggot (Pekalongan Selatan) Kuripan Yosorejo (Pekalongan Selatan) Kalibaros (Timur) Kuripan Keroharjo (Pekalongan Selatan) Noyotansari (Timur) Banyurip (Selatan) Pringrejo (Barat) Medono (Barat) Podosugih (Barat) Tirto (Barat) Pasirkratonkramat (Barat) Bendan Kergon (Barat) Setono (Timur) Gamer (Timur) Padukuhan Kraton (Utara) Bandengan (Utara) Panjang Baru (Utara) Kauman (Timur) Klego (Timur) Krapyak (Utara) Sapuro Kebulen (Barat) Kandang Panjang (Utara) Panjang Wetan (Utara) Buaran Keradenan (Selatan)
0,71-0,9 (Sangat Tinggi)	Dapat tercemar oleh semua polutan dalam waktu relatif singkat	<ol style="list-style-type: none"> Bendan Kregon (Barat) Kauman (Timur) Pasirkratonkramat (barat) Padukuhan Kraton (Utara) Krapyak (Utara) Degayu (Utara) Klego (Timur) Poncol (Timur) Setono (Timur) Gamer (Timur) Noyotansari (Timur) Sapuro Kebulen (Barat) Panjang Wetan (Utara)

Tabel 6 Matriks Hasil Analisis GOD

Parameter	Zona Kerentanan		
	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Jenis akuifer	akuifer bebas	akuifer bebas	akuifer bebas
Jenis penutup akuifer	lanau	lanau	pasir, lanau
Kedalaman MAT (mbmt)	2-5	2-5, <2	<2, 2-5
Luasan (km ²)	8,39	21,54	16,21
Luasan (%)	18,19	46,67	35,14

Tabel 7 Matriks Kerentanan Air Tanah Metode *DRASTIC*

Parameter	Kerentanan			
	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Kedalaman (D)	0-1,5 m, 1,5-3 m, 3-9 m	1,5-3 m	1,5-3 m	1,5-3 m
Jumlah recharge (R)	52-102 mm/tahun, 103-178 mm/tahun	52-102 mm/tahun, 103-178 mm/tahun	52-102 mm/tahun, 103-178 mm/tahun	52-102 mm/tahun, 103-178 mm/tahun
Jenis akuifer (A)	Pasir	Pasir	Pasir	Pasir
Tanah (S)	Lempung	Lempung, Lanau	pasir	Pasir
Topografi (T)	0-2 %	0-2 %	0-2 %	0-2 %
Pengaruh zona tak jenuh air (I)	Lempung	Lempung, Lanau	Lempung	pasir
Konduktivitas hidrolik (C)	8,31 m/hari	8,31 m/hari	8,31 m/hari	8,31 m/hari
Penyebaran	Panjang Wetan, Jenggot, Kuripan, Yosorejo, Kandang Panjang, Kuripan, Kertoharjo, Kalibaros, Noyotaansari	Degayu, Gamer, Krapyak, Poncol, Medono, Pringrejo, Bandengan, Noyotaansari, Kauman, Sapuro, Kebulen, Setono	Klego, Podosugih, Kaumans, Krapyak, Banyurip	Pasirkratonkramat, Tirto, Pringrejo, Bendan, Kergon, Padukuhan, Kraton, Podosugih

Sumber: Badan Lingkungan Hidup Kota Pekalongan (2014)

Tahun 2014, Badan Lingkungan Hidup telah melakukan penelitian analisis kerentanan air tanah menggunakan metode *DRASTIC*. Persebaran zona kerentanan sedang, tinggi, dan sangat tinggi yang menjadi bahan perbandingan dengan penelitian sekarang (Gambar 16). Ada 4 zona yang dihasilkan dari metode *DRASTIC*, yaitu: zona kerentanan rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Perbandingan dari metode *DRASTIC* dan *GOD*, menghasilkan perbedaan yang cukup drastis, di mana sebaran zona dengan kerentanan sedang hasil analisis metode ini lebih luas dan mendominasi daerah penelitian dibanding metode *GOD*. Sebaran zona dengan kerentanan tinggi dari hasil analisis metode ini lebih kecil dari hasil analisis metode *GOD*. Persebaran zona kerentanan sangat tinggi lebih kecil dari hasil analisis metode *GOD* dan persebarannya di Kecamatan Pekalongan Barat dan sedikit Pekaongan Utara. Untuk lebih detailnya dapat di lihat pada tabel 7 di bawah ini.

Dari perbandingan metode *DRASTIC* dan *GOD* yang diterapkan, hasil distribusi masing-masing metode berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh jenis parameter yang digunakan dan bobot nilai yang diberikan. Metode *DRASTIC* menggabungkan 7 parameter dengan bobot 1-5

dan bobot masing-masing parameter 1-10, sedangkan metode *GOD* menggabungkan 3 parameter dengan bobot 0-1. Untuk menentukan jenis metode yang cocok digunakan di daerah penelitian, hal yang harus diperhatikan adalah memahami kondisi daerah penelitian dan mengumpulkan data yang sesuai.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa litologi daerah penelitian berdasarkan penutup akuifer yaitu terdiri dari pasir, lanau, dan lempung. Kedalaman muka air tanah Kota Pekalongan dibagi menjadi 3 (tiga) level yaitu 0-1,5 mbmt; 1,5-3 mbmt; dan > 3 mbmt. Wilayah Pekalongan bagian utara, timur dan barat memiliki kedalaman air tanah kurang dari 1,5 mbmt dan 1,5-3 mbmt. Kerentanan air tanah terhadap pencemaran dengan menggunakan metode *GOD*, menghasilkan 3 zona tingkat kerentanan air tanah yaitu: Zona kerentanan sedang (0,45-0,5), bersifat mampu tercemar oleh sebagian polutan yang dibuang terus menerus, zona ini tersebar sekitar 18,19% dari total wilayah penelitian, yang meliputi kelurahan Jenggot, Kuripan Yosorejo, Sokoduwet, Kuripan Kertoharjo (Pekalongan Selatan). Kalibaros, Noyotansari (Pekalongan Timur).

Medono (Pekalongan Barat). Zona kerentanan tinggi (0,51-0,7) yang dapat terkontaminasi oleh semua polutan kecuali yang membutuhkan daya serap tinggi dan mudah berubah. Zona ini tersebar sekitar 46,67% dari total wilayah penelitian, yang meliputi kelurahan Jenggot, Kuripan Yosorejo, Sokoduwet, Kuripan Kertoharjo, Banyurip, Buaran Kradenan (Pekalongan Selatan). Kalibaros, Noyontaansari, Setono, Gamer, Kauman, Klego (Pekalongan Timur). Medono, Pringrejo, Podosugih, Tirto, Pasirkratonkramat, Bendan Kergon, Sapuro Kebulen (Pekalongan Barat). Padukuhan Kraton, Bandengan, Panjang Baru, Krapyak, Panjang Wetan, Kandang Panjang (Pekalongan Utara). Zona kerentanan sangat tinggi (0,71-0,9), bersifat mampu tercemar oleh semua polutan dalam waktu yang singkat. Zona ini tersebar sekitar 35,14%, yang meliputi Kelurahan Noyontaansari, Setono, Gamer, Kauman, Klego, Poncol (Pekalongan Timur). Pasirkratonkramat, Bendan Kergon, Sapuro Kebulen (Pekalongan Barat). Padukuhan Kraton, Degayu, Krapyak, Panjang Wetan (Pekalongan Utara). Untuk mengurangi dampak dari kerentanan disarankan untuk daerah kerentanan tinggi sampai sangat tinggi melakukan pemantauan kualitas air tanah secara berkala, dan pemantauan muka air tanah. Pengawasan pembuangan limbah industri dan sosialisasi dan bimbingan pengelolaan limbah yang baik. Bila perlu denda untuk yang membuang limbah tanpa pengolahan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian dan Pengembangan Kota Pekalongan melalui pendanaan Program Riset Unggulan Daerah tahun 2022.

6. REFERENSI

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., dan Petty, R.J. 1985. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. EPA.
- Badan Lingkungan Hidup Kota Pekalongan. 2014. Laporan Akhir Studi Kerentanan Air Tanah Kota pekalongan. Pekalongan.
- Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan. 2021. Kota Pekalongan Dalam Angka 2021. Pekalongan. BPS Kota Pekalongan.
- Civita, M. V. 2010. The combined approach when assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination. *Journal Water Resource and Protection*. 2 : 14-28.
- Condon, W.H., Pardyanto, L., Ketner, K.B., Amin, T.C., Gafoer, S., dan Samodra, H. 1996. Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Effendi, A.T. 1985. Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Pekalongan. Direktorat Geologi Tata Lingkungan. Bandung.
- Foster, S., dan Hirata, R. 1988. Groundwater Pollution Risk Assessment; A Methodology Using Available Data. PAN American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), Lima, Peru.
- Fraga, C.M., Fernandes, L.F.S.F., Pacheco, F.A.L., Reis, C., dan Moura, J.P. 2013. Exploratory assesment of groundwater vulnerability to pollution in the Sardo River Basin, Northeast of Portugal. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*. 66(1): 49-58.
- Hatori, C.A. 2008. Studi Kerentanan Air Laut di Kota Semarang. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada. tidak dipublikasikan.
- Hilmawan, D., Alghifari, M.F., dan Sari, A.A. 2021. Analisis Kualitas Air Tanah dengan Studi Kerentanan Air Tanah Metode Susceptibility Index dan Hidrogeokimia Terhadap Pencemaran di TPA Sarimukti dan Sekitarnya. Manacita.
- Lobo-Ferreira, J.P., Chachadi, A.G., Diamantino, C., dan Henriques, M.J. 2007. Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using the GALDIT method: part 1, application to the Portuguese Monte Gord aquifer. In: Lobo-Ferreira JP, Ferreira VJMP (eds) *Proceedings water in Celtic countries: quantity, quality and climate variability*,

- IAHS Publication 310. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford. Hal: 161–171.
- Pamungkas, D. W. 2017. Penyusunan Zona Risiko Kerentanan Air Tanah Menggunakan Metode GOD dan AVI di Kota Semarang. <http://eprints.undip.ac.id/52965/> (Diakses 29 Maret 2022).
- Paramnesi, P.A., dan Riza, A.I. 2020. Dampak Pencemaran Limbah Batik Berdasarkan Nilai Kompensasi Ekonomi di Hulu dan Hilir Sungai Asem Binatur. *Kajen*. 4(1): 58-72.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2017. Standar Baku Mutu Kesehatan lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum. Indonesia.
- Permatasari M.N., Ariadi, H., Madusari, B.D., dan Soeprpto, H. 2021. Kajian Kualitas Air Sungai meduri Pekalongan Akibat Pembuangan Limbah Cair Batik Berdasarkan Indikator Biologi. *Journal of Aquaculture Science*. 6 (2): 130-136.
- Putranto, T.T., Hadiyanto, dan Hati, A.C. 2020. Studi Penentuan Sumur Resapan Sebagai Upaya Pengendalian Banjir di Kota Pekalongan Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*. 18 (2): 78-90
- Putranto, T.T., Widiarso, D.A., dan Susanto, N. 2017. Assessment of Groundwater Quality to Achieve Sustainable Development in Semarang Coastal Areas. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 79: 012001
- Putranto, T.T., Widiarso, D.A., dan Yuslihanu, F. 2016. Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Kontaminan Menggunakan Metode DRASTIC di Kota Pekalongan. *Teknik*. 37 (1): 26-31
- Ribeiro, L., Serra, E., Paralta, E., dan Nascimento, J. 2003. Nitrate Pollution in Hardrock Formations: Vulnerability and Risk Evaluation by Geomathematical Methods in Serpa-Brinches Aquifer (South Portugal). *Proceeding International Conference on Groundwater in Fractured Rocks*, 7: 377–378.
- Susanto, B. 2019. Pencemaran Kota Pekalongan Akibat Limbah Batik Terekam Citra Satelit Seperti Kuah Sotong. <https://jateng.tribunnews.com/2019/04/09/tercemarnya-sungai-kota-pekalongan-akibat-limbah-batik-terekam-citra-satelit-seperti-kuah-sotong?page=all> (Diakses 28 Maret 2022)
- Stempvoort, D.V., Ewert, L., dan Wassenaar, L. 1993. Aquifer Vulnerability Index; A Gis-Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping. *Canadian Water Resources Journal*. 18(1): 25-37.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Vrba, J dan Zaporozec, A. 1994. Aquifer Vulnerability Index: A Gis-Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping, *Canadian Water Resources Journal*. 18 (1): 25-37.