

Aplikasi Metode GALDIT untuk Analisis Kerentanan Airtanah terhadap Intrusi Air Laut di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah

Thomas Triadi Putranto^{1*}, Narulitas Santi¹, Aldino Maulana Rizki¹, Nestri Martini¹

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, e-mail: putranto@ft.undip.ac.id

ABSTRAK

Rembang merupakan suatu wilayah yang berada di daerah pesisir pantai. Jumlah penduduk di Kabupaten Rembang terus meningkat dari 259.290 jiwa – 262.320 jiwa. Kabupaten Rembang memiliki potensi terjadinya intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan suatu masalah yang diakibatkan pengambilan airtanah secara berlebihan, yang sering terjadi di wilayah pesisir. Dampak dari intrusi air laut dapat mempengaruhi perkembangan ekonomi, sosial, dan budaya di wilayah pesisir serta kuantitas dan kualitas airtanah. GALDIT salah satu metode kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang digunakan untuk memetakan kerentanan intrusi air laut. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui wilayah yang memiliki potensi terjadinya intrusi air laut di daerah penelitian. Penelitian ini dilaksanakan dengan pemetaan geologi, pemetaan hidrogeologi, analisis kualitas airtanah, validasi metode GALDIT dengan TDS, DHL dan Klorida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada daerah penelitian tersebut memiliki litologi yang berupa batugamping, batupasir, batulempung, andesit porfir, dan aluvium. Berdasarkan hasil analisis kerentanan intrusi air laut menggunakan metode GALDIT didapatkan 3 tingkat kerentanan yaitu sedang-sangat tinggi. Kerentanan sedang memiliki indeks GALDIT 2,5-5, sebagian besar berada di Kecamatan Bulu, Gunem, Sumber, Sulang, dan sedikit di Kecamatan Rembang dan Kaliori. Kerentanan tinggi memiliki indeks GALDIT 5-7,5, sebagian besar berada di Kecamatan Kaliori dan Rembang. Kerentanan sangat tinggi memiliki Indeks GALDIT > 7,5, berada di pesisir utara Kecamatan Rembang dan Kaliori. Validasi data TDS, DHL, dan Klorida yang dilakukan memiliki kecocokan tinggi di bagian utara daerah penelitian. Tingkat kerentanan yang sangat tinggi sesuai dengan persebaran penduduk dan peta tata guna lahan dimana pada Kecamatan Kaliori dan Rembang memiliki penduduk yang cukup banyak dan penggunaan lahan terdiri dari bangunan dan pemukiman.

Kata Kunci: Rembang, GALDIT, Intrusi Air Laut, Airtanah

ABSTRACT

Rembang is an area located in the coastal area. The population in Rembang Regency continued to increase, from 259,290 to 262,320. Rembang Regency had the potential for seawater intrusion. Seawater intrusion was a problem caused by excessive groundwater extraction, which often occurs in coastal areas. The impact of seawater intrusion can affect economic, social, and cultural development in coastal areas as well as the quantity and quality of groundwater. GALDIT was a method of groundwater vulnerability to pollution that was used to map the vulnerability of seawater intrusion. The purpose of this study was to determine areas that had the potential for seawater intrusion in the study area. This research was carried out by geological mapping, hydrogeological mapping, groundwater quality analysis, and validation of the GALDIT method with TDS, DHL, and chloride. The results showed that the research area had lithology in the form of limestone, sandstone, andesite porphyry, claystone and alluvium. Based on the results of the vulnerability analysis of seawater intrusion using the GALDIT method, there are 3 levels of vulnerability, namely moderate-very high. Moderate vulnerability had a GALDIT index of 2.5–5, mostly in Bulu, Gunem, Sumber, and Sulang sub-districts, and a little in Rembang and Kaliori sub-districts. High vulnerability had a GALDIT index of 5–7.5, mostly in Kaliori and Rembang sub-districts. Very high vulnerability areas had a GALDIT Index of > 7.5, located on the north coast of Rembang and Kaliori sub-districts. The validation of the TDS, DHL, and chloride data carried out has a high match in the northern part of the study area. The very high level of vulnerability was in accordance with the distribution of the population and the land use map, where the Kaliori and Rembang sub-districts had a large population and the land use consists of buildings and settlements.

Keywords: Rembang, GALDIT, Seawater Intrusion, Groundwater

Citation: Putranto, T. T., Santi, S., Rizki, A. M., & Martini, N. (2022). Aplikasi Metode GALDIT untuk Analisis Kerentanan Airtanah terhadap Intrusi Air Laut di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20 (4). 925-936, doi: 10.14710/jil.20.4.925-936

1. Pendahuluan

Kabupaten Rembang terletak di pesisir utara Pulau Jawa. Wilayah penelitian meliputi 6 (enam) Kecamatan di Kabupaten Rembang yaitu Rembang, Kaliori, Sulang, Sumber, Gunem, dan Bulu. Jumlah penduduk di Kabupaten Rembang terus meningkat dari 259.290 jiwa – 262.320 jiwa (BPS Kab Rembang, 2019-2021). Daerah pesisir memiliki kepadatan penduduk dua kali lipat dibanding kepadatan rata-rata dunia (Kantamaneni dkk, 2017). Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan peningkatan permintaan air di daerah ini. Airtanah menjadi sumber utama airtawar untuk memenuhi kebutuhan air domestik, industri, dan pertanian (Prusty, 2020 dalam Hamed dkk, 2018). Airtanah merupakan air yang berada di bawah permukaan tanah atau di lapisan batuan. Terdapat lebih dari 98% semua jenis air berasal dari bawah permukaan tanah, dengan sisa air yaitu air sungai, danau dan lainnya. Airtanah merupakan komponen dari suatu daur hidrologi yang memiliki banyak aspek seperti aspek biologi, geologi serta fisik (Hasan dkk, 2021; Rejekiingrum, 2009). Pemompaan airtanah yang berlebihan akan mengganggu keseimbangan hidrodinamik antara airtawar dan air laut sehingga dapat menyebabkan air laut masuk bergerak akibat pemompaan (van Camp dkk, 2014). Kenaikan muka air laut ke permukaan dikarenakan penggunaan airtanah secara terus menerus dapat menyebabkan terjadinya intrusi air laut (Suhartono dkk, 2013). Intrusi air laut merupakan masalah yang sering terjadi pada daerah pesisir. Dampak dari intrusi air laut dapat mempengaruhi kualitas airtanah dan kuantitas airtanah menjadi buruk (Ardaneswari dkk, 2016).

Akuifer di daerah pesisir sangat sensitif terhadap beberapa faktor yaitu kenaikan permukaan laut, gelombang badai, perubahan iklim, dan erosi garis pantai (Barlow, 2003). Selain itu faktor yang mempengaruhi intrusi air laut adalah faktor geologi dimana litologi, geomorfologi, dan struktur menjadi peranan penting karena air yang masuk ke dalam akuifer pesisir tergantung sifat batuan (Michael dkk, 2013).

Banyak metode yang digunakan para peneliti dunia untuk evaluasi kerentanan airtanah terhadap pencemaran seperti DRASTIC, EPIK, SINTACS, dan GOD (Aller dkk, 1987, Doerflinger dkk, 1999, Vrba dan Zaporozec, 1994, dan Foster, 1987). Untuk memetakan kerentanan intrusi air laut di wilayah pesisir metode yang digunakan yaitu metode GALDIT. Metode GALDIT pertama kali dievaluasi oleh Chachadi dan Lobo-Ferreira tahun 2001. Metode GALDIT menggambarkan keadaan akuifer yang diselidiki dan dikategorikan kedalam parameternya serta diberi bobot yang sesuai (Moghaddam dkk, 2017). Terdapat enam parameter dalam metode GALDIT seperti *groundwater occurrence* (jenis akuifer), *aquifer hydraulic*

conductivity (konduktivitas akuifer hidrolik), *level of groundwater above sea level* (kedalaman muka airtanah di atas muka air laut), *distance from the shore* (jarak terhadap garis pantai), dan *thickness of aquifer* (ketebalan akuifer) (Tasnim dan Tahsim, 2016). Untuk mendapatkan hasil maksimal peta kerentanan GALDIT divalidasi dengan daya hantar listrik (DHL), zat padat terlarut (TDS), dan Klorida. Penelitian kerentanan dengan metode GALDIT bertujuan untuk mengetahui tingkatan intrusi air laut pada Kabupaten Rembang. Data lapangan dianalisis untuk mendapatkan hasil dari masing-masing parameter GALDIT. Dari hasil tersebut dapat diketahui daerah yang memiliki potensi intrusi air laut yang tinggi, serta dari hasil penelitian tersebut dapat digunakan untuk pencegahan instruksi air laut.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di 6 (enam) Kecamatan di Kabupaten Rembang yaitu Kecamatan Rembang, Kalori, Sulang, Sumber, Bulu, dan Gunem. Secara administrasi lokasinya berada di antara Kabupaten Pati dan Tuban, Jawa Timur. Batas daerah penelitian berada di antara 525876-559624 mE dan 9237932-9261491 mS.

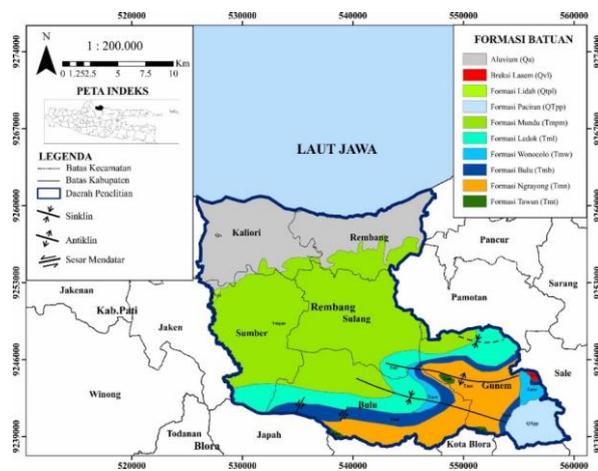
Berdasarkan peta geologi regional (Kadar dan Sudijono, 1993), daerah penelitian tersusun atas beberapa formasi batuan. Formasi dari yang tertua hingga muda yaitu Formasi Tawun (Tmt) tersusun atas batulempung, batugamping, batupasir, batulanau, dan kalkarenit. Formasi Ngrayong (Tmtn) tersusun atas batupasir, serpih, batulempung, batulanau dengan sisipan batugamping. Formasi Bulu (Tmb) tersusun atas litologi batugamping putih abu-abu dengan butir berukuran pasir dan kadang berlapis tipis, pada bagian bawah dicirikan dengan banyaknya fragmen fosil dan bagian tengah dicirikan dengan keterdapatan sisipan napal. Formasi Wonocolo (Tmw) tersusun atas batulempung dengan sisipan batugamping tipis dan pada bagian bawah terdapat batupasir glaukonit yang menjadi ciri dari formasi ini. Formasi Ledok (Tml) tersusun atas batulempung abu-abu, napal, dan batugamping kalkarenit berlapis tipis, serta kadang ditemukan batupasir glaukonit. Formasi Mundu (Tmpm) tersusun atas napal masif berwarna abu-abu keputihan yang kaya akan fragmen foraminifera planktonik.

Formasi Paciran (Tpp) tersusun atas batugamping masif dengan permukaan bergelombang yang disebabkan pelapukan, biasanya memiliki sifat dolomitan, mengandung koral alga dan foraminifera. Formasi Selorejo (QTps) tersusun atas perselingan batugamping dan batupasir yang kaya akan fosil rombakan foraminifera planktonik. Formasi Lidah (QTI) tersusun atas batulempung abu-abu kehitaman bersisipan batupasir fragmen moluska. Formasi Gunungapi Lasem (Qla) tersusun

atas batuan beku. Aluvium (Qa) tersusun atas pasir, lempung, dan kerikil. Sebaran formasi batuan dapat dilihat pada Gambar 1. Menurut Said dan Sukrisno (1988) dalam peta hidrogeologi regional, daerah penelitian berdasarkan terdapatnya airtanah dan produktivitas akuifer dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu daerah akuifer dengan aliran melalui ruang antarbutir dengan produktivitas akuifer produktif sedang penyebaran setempat dan akuifer produktif sedang penyebaran luas, daerah akuifer dengan aliran melalui celah dan rekahan, daerah akuifer (bercelah atau sarang) produktifitas kecil dan daerah langka airtanah.

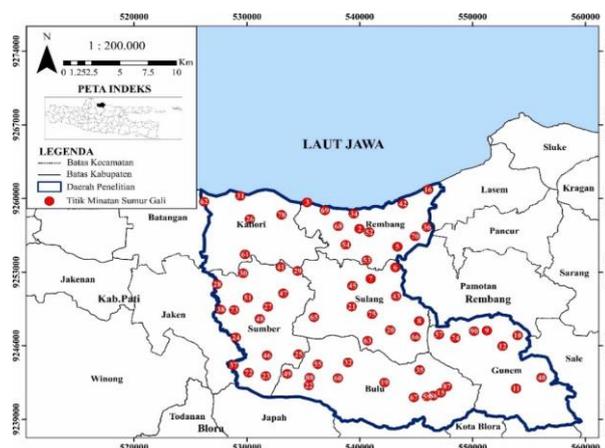
2.2 Bahan

Data dalam penelitian ini merupakan data sekunder dan data primer. Data sekunder terdiri dari peta geologi yang berkaitan dengan litologi daerah penelitian untuk mengetahui lapisan batuan apa yang bertindak sebagai akuifer. Data jarak antara air laut dengan daratan, bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh air laut terhadap akuifer. Data konduktivitas hidrolika dan peta tata guna lahan untuk mengetahui penggunaan lahan yang berpengaruh terhadap intrusi air laut. Semakin banyak lahan pemukiman maka semakin besar eksploitasi airtanah sehingga berakibat terjadinya intrusi air laut dan penurunan muka tanah (Barzegar dkk, 2021).



Gambar 1. Peta geologi

Data primer diperoleh langsung dari lapangan meliputi data 66 sumur gali (Gambar 2), dengan informasi koordinat, kedalaman muka airtanah, kedalaman sumur, elevasi (m), dan pengambilan sampel (uji kualitas). Persebaran lokasi titik sumur yang diambil sampelnya ditentukan oleh berbagai jenis kondisi geologi dan hidrogeologi wilayah penelitian. Dari 66 sampel, di ambil sebanyak 8 sampel sumur gali dan dianalisis di laboratorium khusus DHL, TDS, Klorida. Data-data tersebut dianalisis menggunakan software Ms. Excel 2010, *surfer 11* dan *ARC GIS 10.3*.



Gambar 2. Peta titik minatan sumur gali di daerah penelitian

2.3 Metode

Metode GALDIT memiliki enam parameter hidrogeologi yang banyak digunakan dalam penelitian intrusi air laut (Moghaddam dkk, 2017 dalam Gemilang dkk, 2017). Metode GALDIT digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan di daerah pesisir berupa intrusi air laut (Recinos dkk, 2015 dalam Gemilang dkk, 2017). Setiap parameter diberikan nilai bobot tergantung seberapa besar pengaruhnya terhadap kerentanan intrusi air laut dengan nilai terbesar 4 dan terkecil 1 (Tabel 1). Setiap parameter dibagi menjadi beberapa kelas kemudian diberi skor (tabel 1). Nilai bobot dari keenam parameter tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut

$$GALDIT\ Index = \frac{\sum_{i=1}^6 (W_i \times R_i)}{\sum_{i=1}^6 W_i} \quad (1)$$

Keterangan:

W = Bobot

R = Skor

Hasil akhir kerentanan indeks GALDIT dibagi menjadi 4 (empat) kelompok yaitu kerentanan sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah (Chachadi dan Ferreira, 2001). Hasil tingkat kerentanan dapat dilihat pada table 2 berikut. Semakin tinggi indeksnya semakin tinggi potensi kerentanan terhadap intrusi.

Konduktivitas hidrolika adalah kemampuan batuan untuk melewati air melalui rongganya tanpa perubahan sifat fisiknya (Zahra, 2020). Konduktivitas hidrolik a mempengaruhi besarnya pergerakan air laut, semakin besar nilai (K) maka, semakin banyak pergerakan air (Tasnim dan Tahsim, 2016). Berikut adalah klasifikasi konduktivitas hidrolika air dari berbagai batuan (Tabel 3).

Tabel 1. Pembobotan parameter GALDIT (Chachadi dan Ferreira, 2001 dalam Tasnim dan Tahsin, 2016).

FAKTOR	ASPEK DETAIL	SKOR	BOBOT
Jenis akuifer (G)	Akuifer tertekan	10	1
	Akuifer bebas	7,5	
	Akuifer semi tertekan	5	
	Akuifer menggantung	2,5	
Konduktivitas hidrolika akuifer (A)	> 40 m/hari	10	3
	10-40 m/hari	7,5	
	5-10 m/hari	5	
	<5 m/hari	2,5	
Kedalaman muka airtanah (L)	< 1 m	10	4
	1-1,5 m	7,5	
	1,5-2 m	5	
	>2 m	2,5	
Jarak garis pantai (D)	< 500 m	10	4
	500-750 m	7,5	
	750-1.000 m	5	
	> 1.000 (m)	2,5	
Dampak intrusi air laut (I) (Cl ⁻ / [HCO ₃ ⁻¹ + CO ₃ ⁻²]).	> 2 epm	10	1
	1,5-2 epm	7,5	
	1-1,5 epm	5	
	< 1 m	2,5	
Tebal akuifer (T)	> 10 m	10	2
	7,5 - 10 m	7,5	
	5-7,5 m	5	
	< 5 m	2,5	

Tabel 2. Tingkat kerentanan intrusi air laut berdasarkan hasil akhir indeks GALDIT (Chachadi dan Ferreira, 2001 dalam Tasnim dan Tahsin, 2016).

Rentang GALDIT	Indeks	Tingkat Kerentanan Intrusi Air Laut
> 7,5		Kerentanan Sangat Tinggi
5 - 7,5		Kerentanan Tinggi
2,5 - 5		Kerentanan Sedang
< 2,5		Kerentanan Rendah

Tabel 3. Klasifikasi konduktivitas hidrolik air dari berbagai batuan (Bisri, 2012).

Material (batuan)	K (m/hari)
Pasir Kasar	45
Pasir Sedang	12
Pasir Halus	3
Kerikil	450
Kerikil Sedang	270
Kerikil Kasar	150
Lanau	0,08
Lempung	0,0002
Dolomit	0,001
Batugamping	0,94
Batupasir Sedang	3,1
Batupasir Halus	0,2

Setelah didapatkan peta kerentanan intrusi air laut. untuk mendukung hasil analisis dilakukan validasi dengan berbagai paramater berikut:

1. Daya Hantar Listrik (DHL)

DHL merupakan suatu sifat kimia air dalam menghantarkan listrik. Pengukuran dari DHL merupakan nilai garam terlarut yang menggambarkan keasinan dari suatu air (Waspodo dkk, 2019). Terdapat klasifikasi untuk menentukan kualitas air berdasarkan DHL dari Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin, 1986 (Tabel 4).

Tabel 4. Klasifikasi DHL dengan kualitas air (Panitia AdHoc Intrusi Air Asin, 1986).

Kualitas Air	Daya Hantar Listrik ($\mu\text{mhos/cm}$)
Tawar	<1.500
Agak Payau	1.500-5.000
Payau	5.000-15.000
Asin	15.000-50.000
Brine	>50.000

2. Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) atau padatan yang terlarut merupakan padatan dengan ukuran yang lebih kecil dari bentukan padatan yang tersuspensi (Kustiyaningsih dan Irawanto, 2020). Terdapat klasifikasi untuk menentukan kualitas air berdasarkan TDS dari Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin, 1986 (Tabel 5).

Tabel 5. Klasifikasi TDS (Panitia AdHoc Intrusi Air Asin, 1986).

Kualitas Air	Total Dissolved Solid (mg/L)
Tawar	<1.000
Agak Payau	1.000-3.000
Payau	3.000-10.000
Asin	10.000-35.000
Brine	>35.000

3. Klorida dan Bikarbonat

Ion klorida mendominasi di air laut tetapi tersedia dalam jumlah kecil di airtanah. Bikarbonat tersedia dalam jumlah besar di airtanah tetapi terjadi dalam jumlah kecil di air laut (Tasnim dan Tahsin, 2016). Klorida dan bikarbonat merupakan salah satu unsur geokimia yang banyak pada air asin sehingga termasuk dalam salah satu parameter dampak intrusi air laut pada metode GALDIT. Analisis kimia seperti klorida (Tabel 6) dilakukan untuk melengkapi pengukuran dengan tujuan validasi dari metode GALDIT (Zaarour, 2017).

Tabel 6. Bobot untuk dampak intrusi air laut dengan Cl⁻ (Eminoglou dkk, 2017 dalam Lubis dkk, 2018).

Cl ⁻ (mg/L)	Skor
> 500	10
250 - 500	7,5
100 - 250	5
< 100	2,5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil pemetaan yang dilakukan didapatkan beberapa jenis litologi, yaitu;

1. Batulempung Non-Karbonat

Litologi tersebut termasuk dalam Formasi Tawun yang memiliki umur yaitu Miosen Tengah hingga Miosen Akhir (Pringgoprawiro, 1983). Keterdapatannya litologi batulempung non-karbonat yaitu berada di Kecamatan Gunem bagian timur.

2. Batupasir Non-Karbonat

Litologi tersebut termasuk kedalam Formasi Ngrayong yang merupakan anggota dari Formasi Tawun dengan umur pembentukan dari formasi tersebut yaitu Miosen Tengah (Pringgoprawiro, 1983). Keterdapatannya batupasir non-karbonat yaitu sepanjang Kecamatan Bulu hingga Kecamatan Gunem.

3. Batugamping Kalkarenit

Litologi tersebut termasuk dalam Formasi Bulu yang memiliki umur berkisar pada Miosen Tengah (Pringgoprawiro, 1983). Keterdapatannya batupasir non-karbonat yaitu sepanjang Kecamatan Bulu hingga Kecamatan Gunem.

4. Batupasir Karbonat

Litologi tersebut termasuk dalam Formasi Ledok yang memiliki umur yaitu Miosen Akhir hingga Pliosen Awal (Pringgoprawiro, 1983). Keterdapatannya litologi batupasir karbonat yaitu berada di daerah Gunem bagian timur laut.

5. Batulempung Karbonat

Litologi tersebut termasuk dalam Formasi Mundu yang memiliki umur yaitu Pliosen Awal hingga Pliosen

Akhir (Pringgoprawiro, 1983). Keterdapatannya litologi batulempung karbonat yaitu berada di Kecamatan Sulang dan Sumber.

6. Batugamping Organik

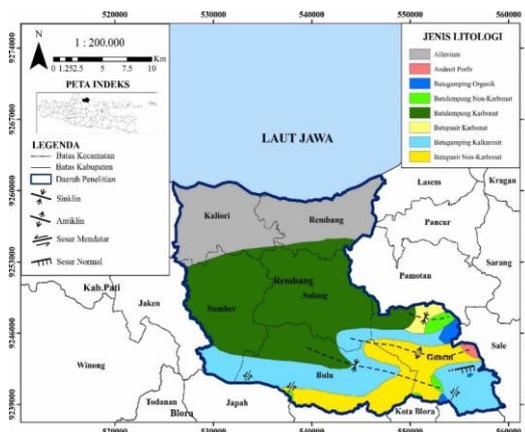
Formasi Paciran dengan umur pembentukan tersebut yaitu Pliosen Awal hingga Pliosen Akhir (Pringgoprawiro, 1983). Keterdapatannya litologi batugamping organik yaitu berada di Kecamatan Gunem bagian timur dan bagian selatan yang hanya terdiri dari beberapa titik lokasi.

7. Andesit Porfir

Diperkirakan asal dari andesit porfir merupakan dari Gunungapi Lasem yang berasal dari Formasi Batuan Gunungapi Lasem (Qvl) (Kadar dan Sudjono, 1983), dikarenakan gunungapi yang paling dekat dengan lokasi penelitian yaitu Gunungapi Lasem serta hasil dari produk gunungapi Lasem berupa lava andesit. Litologi tersebut berada di bagian timur Kecamatan Gunem.

8. Aluvium

Aluvium memiliki umur yaitu Holosen dengan formasi yang berupa Formasi Aluvium (Qa) (Kadar dan Sudjono, 1983). Litologi tersebut dominan di daerah pesisir yaitu Kecamatan Rembang dan Kaliori.



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Penelitian

3.2 Kerentanan Metode GALDIT

Penelitian dengan metode GALDIT berbeda dengan metode lainnya yang berfokus pada kerentanan terhadap pencemaran airtanah, pada metode ini lebih memfokuskan terhadap intrusi air laut. Penelitian dilakukan dengan menggabungkan enam parameter.

1. Jenis Akuifer (Parameter 'G')

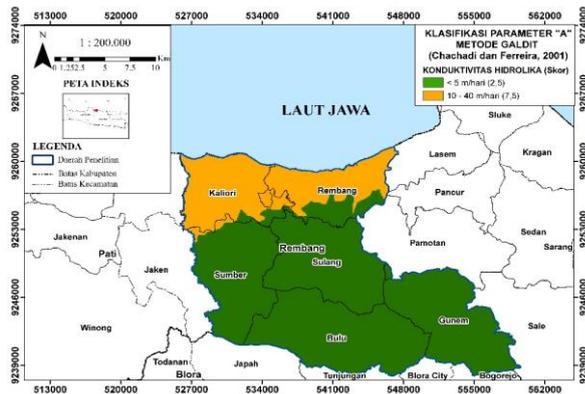
Pada daerah penelitian hanya didapatkan satu jenis akuifer yaitu akuifer bebas dengan bobot 7,5 dari 10 (Chachadi dan Ferreira, 2001) (Tabel 1). Akuifer bebas dicirikan memiliki tekanan lebih rendah dibandingkan akuifer tertekan sehingga lebih rentan terhadap intrusi air laut (Tables dkk, 2016) (Gambar 4).

2. Konduktivitas Hidrolik Akuifer (Parameter 'A')

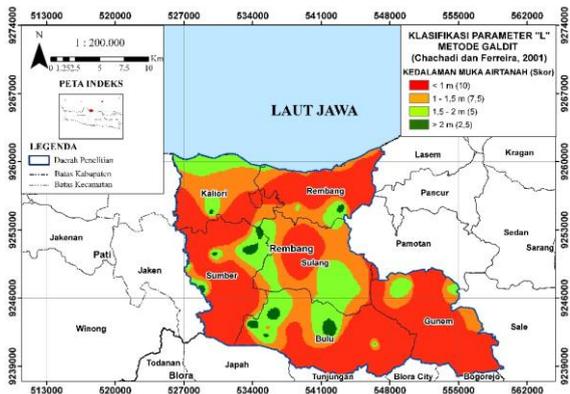
Berdasarkan referensi dari klasifikasi Bisri, 2012 didapatkan bahwa konduktivitas akuifernya yaitu kurang dari 5 m/hari untuk litologi selain aluvium, dan litologi aluvium memiliki konduktivitas hidrolik yaitu 10 - 40 m/hari (Gambar 5), berdasarkan klasifikasi Chachadi dan Ferreira, 2001 (Tabel 1) yaitu untuk konduktivitas kurang dari 5 m/hari memiliki bobot 2,5 dan 7,5 untuk konduktivitas 10 - 40 m/hari.



Gambar 4. Peta Jenis Akuifer



Gambar 5. Peta Konduktivitas Hidrolika Akuifer



Gambar 6. Peta Kedalaman Muka Airtanah

3. Kedalaman Muka Airtanah Diatas Muka Air Laut (Parameter 'L')

Menentukan parameter L dalam penelitian, dilakukan perhitungan dengan pengurangan dari elevasi sumur gali dengan muka airtanah. Hasil dari perhitungan tersebut (Gambar 6) didapatkan nilai yang bervariasi dari kedalaman kurang dari 1 m hingga lebih dari 2 m (Chachadi dan Ferreira, 2001) (Tabel 1). Hal tersebut menandakan bahwa muka airtanah sebelumnya mulai menurun dan mulai mempermudah intrusi air laut. L merupakan faktor penting dalam mengevaluasi intrusi air laut karena tekanan hidroliknya mampu mendorong kembali muka air laut.

4. Jarak Garis Pantai (Parameter 'D')

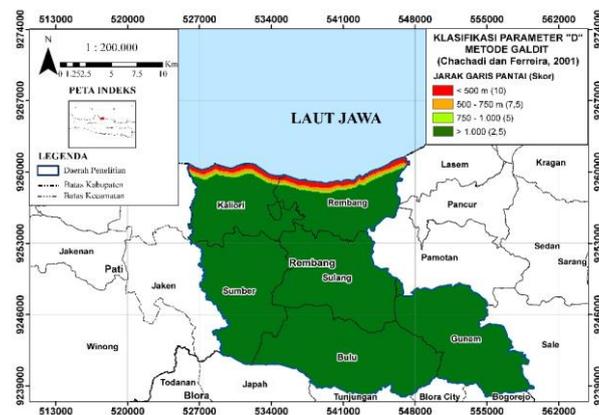
Pada parameter ini terdiri dari 4 macam dengan masing masing jarak tertentu (Chachadi dan Ferreira, 2001) yaitu berjarak <math>< 500\text{ m}</math> sampai $> 1.000\text{ m}$ atau 1 km (Tabel 1). Semakin dekat dengan garis pantai potensi intrusi semakin tinggi (Gambar 7). Jarak <math>< 500\text{ m}</math> berada di pesisir Kecamatan Kaliore dan Rembang dengan bobot 10.

5. Dampak Intrusi Air Laut (Parameter 'I')

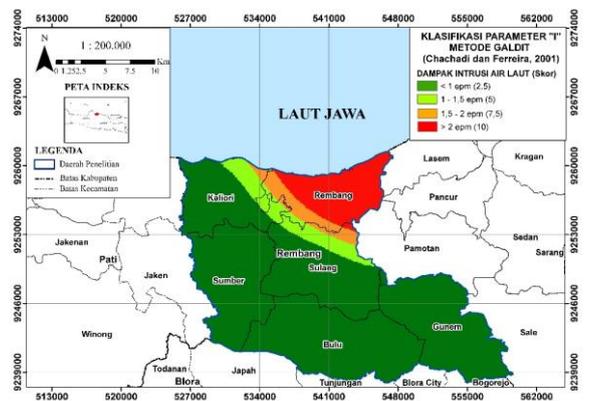
Pada parameter dampak intrusi air laut, yang diambil yaitu geokimia airtanah yang terdapat di daerah penelitian (Tabel 7). Hasil dari geokimia berupa senyawa perhitungan antara unsur klorida yang dibagi dengan senyawa bikarbonat dan karbonat yang sebelumnya dijumlahkan ($\text{Cl}^- / [\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}]$). Dari perhitungan tersebut diklasifikasikan menurut klasifikasi Chachadi dan Ferreira, 2001 (Tabel 1), menghasilkan 4 tingkatan (Gambar 8).

6. Tebal Akuifer (Parameter 'T')

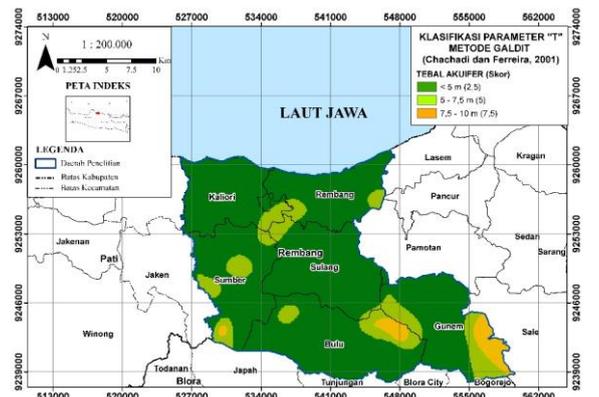
Tebal akuifer didapatkan dari kedalaman dasar sumur di kurang kedalaman muka airtanah. Tebal akuifer daerah penelitian yaitu <math>< 5\text{ m}</math>, $5 - 7.5\text{ m}$, $7.5 - 10\text{ m}$ (Gambar 9). Ketebalan akuifer berperan penting dalam mencegah intrusi air laut. Semakin tebal akuifer maka semakin kecil resiko intrusi air laut (Najib dkk, 2012 dalam Trabelsi dkk, 2016).



Gambar 7. Peta Jarak Garis Pantai



Gambar 8. Dampak Intrusi Air Laut.



Gambar 9. Peta Tebal Akuifer

Table 7. Data Geokimia

Kode Sampel	Lokasi Penelitian	X	Y	CO ₃ ⁻ (epm)	HCO ₃ ⁻ (epm)	Cl ⁻ (epm)	Cl ⁻ /[HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ⁻] (epm)
RG-42	Pasarbagi, Rembang	543818	9259514	0,0	26,7	119	4,23
RG-24	Jatihadi, Sumber	529015	9246789	0,0	14,4	2,14	0,14
RG-26	Dresiwetan, Kaliori	530262	9258044	0,0	18,7	13,1	0,66
RG-51	Jadi, Sumber	530080	9250548	0,0	10,8	0,79	0,07
RG-21	Kaliombo, Sulang	539278	9249730	0,0	13,8	5,71	0,39
RG-49	Mlatirejo, Bulu	533583	9243329	0,0	14,6	4,8	0,31
RG-12	Trembes, Gunem	552656	9245970	0,0	10,3	1,17	0,11
RG-40	Suntri, Gunem	556120	9242968	0,0	13,7	1,96	0,14

Berdasarkan enam parameter *GALDIT*, dilakukan pembobotan pada masing-masing parameternya. Hasil dari pengolahan tersebut berupa peta persebaran potensi intrusi air laut di daerah penelitian (Gambar 10). Dari hasil analisis (Tabel 9), kerentanan intrusi air laut yang sangat tinggi terdapat di sepanjang daerah pesisir Kecamatan Kaliori dan Rembang.

Tabel 9. Klasifikasi Kerentanan Airtanah daerah penelitian (Chachadi dan Ferreira, 2001).

Tingkat Intrusi Air Laut	Rentang Indeks GALDIT	Keterangan
Kerentanan Sedang	2,5 - 5	Dominasi berada di Kecamatan Bulu, Gunem, Sumber dan Sulang, namun ada beberapa berada di Kecamatan Rembang dan Kaliori.
Kerentanan Tinggi	5 - 7,5	Dominasi berada pada Kecamatan Kaliori dan Rembang
Kerentanan Sangat Tinggi	> 7,5	Berada pada wilayah pesisir pada Kabupaten Rembang, lebih tepatnya pada pesisir wilayah Kecamatan Rembang dan Kaliori

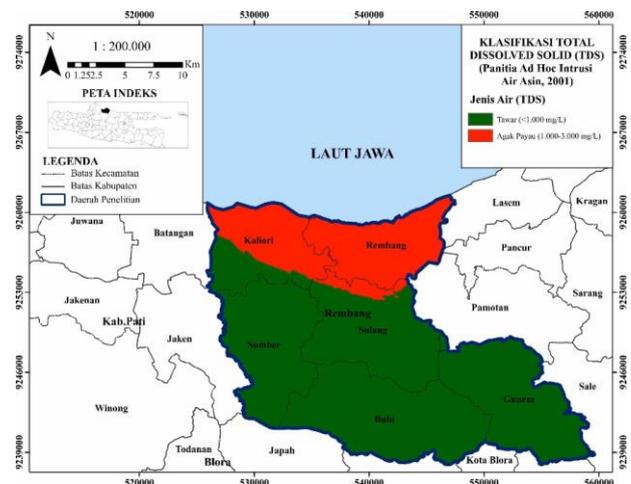
3.3 Validasi dengan TDS, DHL dan Klorida

Validasi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan metode *GALDIT* dengan kualitas airtanah, terutama kualitas yang dipengaruhi oleh aspek pesisir ataupun aspek kimia yang dimiliki oleh air laut. Validasi pada metode *GALDIT* dilakukan pada 3 jenis kualitas, yaitu berupa DHL, TDS dan unsur klorida.

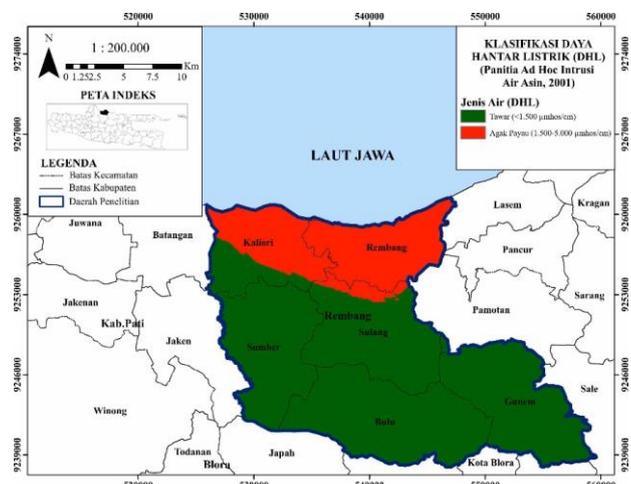
Pada daerah penelitian, dilakukan pengujian airtanah pada sumur gali untuk mengetahui nilai DHL. Menentukan nilai DHL di daerah penelitian yaitu dengan klasifikasi dari Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin, 1986 (Tabel 4) (Gambar 11). Daerah yang memiliki nilai DHL cukup tinggi sekitar 1.500 – 5.000 µmhos/cm, disebut air agak payau (Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin, 1986).

Menentukan nilai TDS untuk kualitas air yang berada di daerah penelitian yaitu dengan klasifikasi dari Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin, 1986 (Tabel 5). Berdasarkan data lapangan (Gambar 12), daerah yang memiliki nilai TDS yang cukup tinggi sekitar 1.000 – 3.000 mg/L, disebut air yang agak payau (Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin, 1986). Nilai DHL dan TDS memiliki korelasi yang erat, nilai TDS yang

tinggi terindikasi adanya pencampuran atau intrusi air laut (Listyani dan Putranto, 2020).



Gambar 11. Peta Daya Hantar Listrik

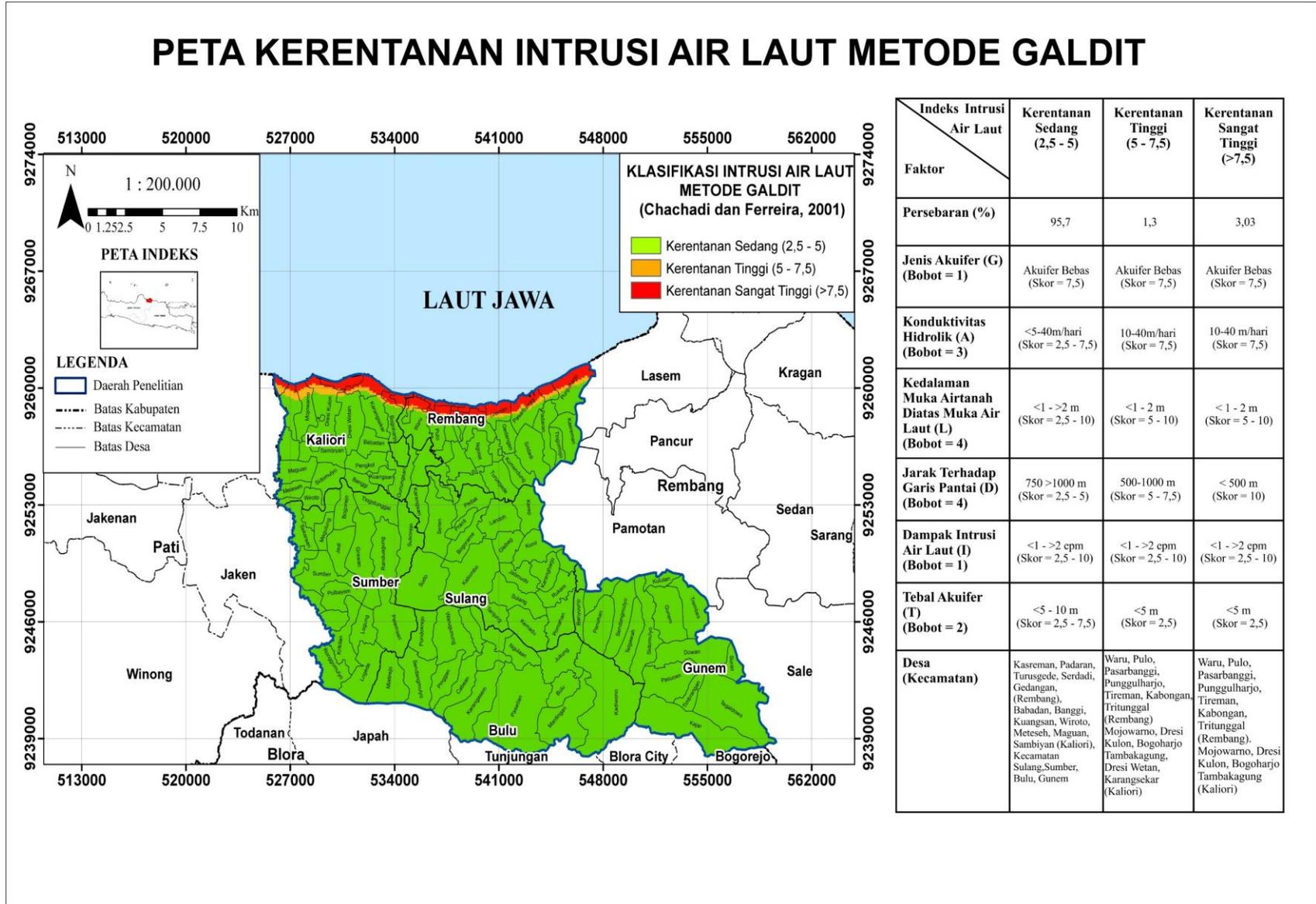


Gambar 12. Peta Zat Padat Terlarut

Dari data lapangan yang diuji di laboratorium, semakin ke arah pesisir memiliki nilai Klorida yang cukup tinggi yaitu lebih dari 500 mg/L, dan berada di Kecamatan Rembang dan utara dari Kecamatan Kaliori (Tabel 6) (Gambar 13).

Berdasarkan pada ketiga peta validasi yang berupa peta TDS, DHL dan TDS didapatkan bahwa daerah yang memiliki nilai TDS dan DHL yang agak payau merupakan daerah utara Kabupaten Rembang,

PETA KERENTANAN INTRUSI AIR LAUT METODE GALDIT



yaitu Kecamatan Rembang, Kaliori dan beberapa bagian dari Kecamatan Sulang dan Sumber. Hal tersebut didukung oleh nilai klorida di kecamatan tersebut yang tinggi serta sangat tinggi (Tabel 10).

Tabel 10. Perbandingan nilai dengan masing-masing validasi di daerah penelitian

Daerah Penelitian	TDS (mg/L)	DHL (µmhos/cm)	Cl ⁻ (mg/L)
Kec. Rembang	1.075 - 2.860	1.445 - 4.290	232 - 1.035
Kec. Kaliori	1.308 - 1.367	1.962 - 2.050	223 - 278
Kec. Sulang	475 - 1.337	713 - 2.005	18,5 - 328
Kec. Sumber	365 - 1.159	548 - 2.340	13,4 - 372
Kec. Bulu	345 - 739	518 - 1.108	5,5 - 81,6
Kec. Gunem	351 - 515	526 - 773	7,2 - 33,4

Keterangan:

- Nilai DHL dan TDS Agak Payau
- Nilai Klorida Sangat Tinggi

Salinitas daerah penelitian berkisar < 0,5 ‰ dan 0,5 - 6,6 ‰. Salinitas yang tinggi tersebar di kecamatan rembang, kaliori, sulang, sumber, gunem utara dan bulu. Salinitas tinggi mengindikasikan adanya intrusi air laut, namun salinitas yang tinggi juga dapat terbentuk akibat air fosil (Iwaco dkk, 1994 dalam listyani 2020). Persebaran nilai salinitas dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Peta Salinitas Airtanah

3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi geologi daerah penelitian didominasi oleh batuan sedimen namun ada beberapa bagian yaitu di bagian selatan daerah penelitian yang merupakan jenis batuan karbonat. Pada batuan tersebut terdapat struktur yang berkembang yaitu berupa lipatan, kekar dan sesar yang berada di Kecamatan Bulu dan Gunem.

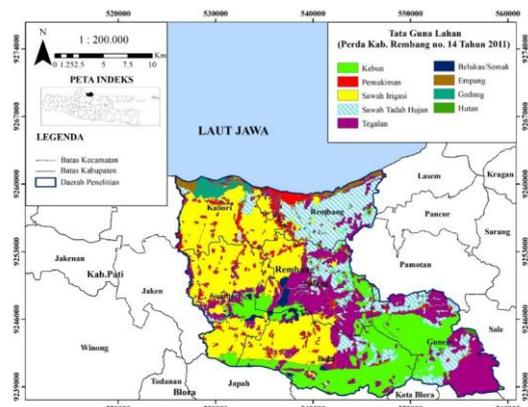
Berdasarkan dari hasil analisis kerentanan intrusi air laut metode GALDIT didapatkan bahwa daerah yang memiliki kerentanan sangat tinggi berada di pesisir Kecamatan Kaliori dan Kecamatan Rembang.

Kerentanan sangat tinggi mengindikasikan sebagian besar sudah terintrusi air laut.

Kerentanan tinggi terdapat pada Kecamatan Rembang dan Kaliori. Tingginya potensi kerentanan pada Kecamatan tersebut didukung oleh persebaran penduduknya (Tabel 15), yaitu Kecamatan Rembang memiliki kepadatan penduduk yang paling tinggi yaitu 1.493 km² dengan persentase penduduknya yaitu 14,24% dari 100% penduduk Kabupaten Rembang. Kecamatan Kaliori dengan kepadatan penduduk yaitu 690km² dengan jumlah penduduk yaitu 6,54% dari 100% total penduduk di Kabupaten Rembang.

Tabel 15. Distribusi kepadatan penduduk di kabupaten rembang (BPS Kabupaten Rembang, 2021)

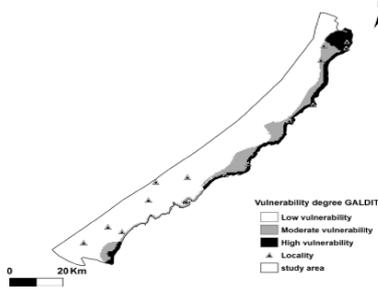
Kecamatan	Persentase Penduduk (%)	Kepadatan Penduduk (km ²)
Sumber	5,70	471
Bulu	4,34	277
Gunem	3,76	286
Sale	6,03	357
Sarang	9,75	670
Sedan	8,56	640
Pamotan	7,71	617
Sulang	6,06	461
Kaliori	6,54	690
Rembang	14,24	1.493
Pancur	4,77	716
Kragan	10,15	975
Sluke	4,57	776
Lasem	7,81	1.092
Kab. Rembang	100	623



Gambar 15. Peta Tata Guna Lahan

Padatnya jumlah penduduk di Kecamatan Rembang berbanding lurus dengan tata guna lahannya yaitu banyaknya bangunan dan pemukiman di area tersebut, serta pada bagian utaranya terdapat tambak dan ladang garam (Gambar 15).

Trablesi dkk, 2019 melakukan penelitian dengan metode yang sama menghasilkan tiga tingkatan kerentanan GALDIT yaitu kerentanan rendah, sedang dan tinggi. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 16 berikut.

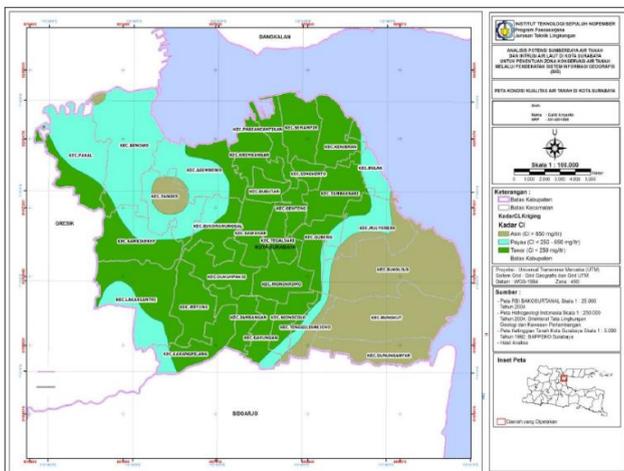


Gambar 16. Peta kerentanan GALDIT (Trablesi dkk, 2019)

Dari segi parameter dan data yang digunakan cukup sama, dimana pada penelitian ini lebih menggunakan data permukaan atau sumur gali. Variabel pendukung parameter GALDIT, seperti parameter konduktivitas hidrolis akuifer, nilai K yang digunakan berdasarkan referensi Bisri, 2012 dilihat dari jenis batuan yang ada di daerah penelitian, sedangkan pada Trablesi dkk, 2019 data konduktivitas hidrolis merupakan hasil dari *pumping test* di beberapa tempat di daerah penelitian, serta penggunaannya tidak hanya pada sumur gali, namun menggunakan sumur bor sebagai data untuk menentukan zonasi intrusi air laut.

Terdapat perbedaan data dari muka airtanah di daerah penelitian dengan Trablesi dkk, 2019, dikarenakan perbedaan waktu pengambilan data. Penelitian sebelumnya muka airtanah di pesisir sekitar -8(-1) m menandakan sudah menurun dikarenakan penggunaan airtanah yang berlebihan, sedangkan penelitian ini muka airtanah di pesisir sekita 1-1,5 m.

Untuk intrusi air laut dibandingkan dengan salah satu pesisir Pulau Jawa, yaitu lokasinya berada di pesisir Kota Surabaya (Ardiyanto dan Mardiyanto, 2016) (Gambar 17). Pada daerah penelitian mencakup hanya beberapa kecamatan, sedangkan pada penelitian sebelumnya mencakup seluruh kecamatan pada Kota Surabaya. Metode yang digunakan pun cukup berbeda, dimana pada penelitian sebelumnya menggunakan klorida (Cl⁻) sebagai salah satu penentu zona intrusi air laut di Kota Surabaya.



Gambar 17. Intrusi air laut Kota Surabaya (Ardiyanto dan Mardiyanto, 2016)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa litologi daerah penelitian berupa batupasir non-karbonat, batugamping kalkarenit, batupasir karbonat, batulempung karbonat, batulempung non-karbonat, batugamping organik, andesit porfir dan aluvium. Pada daerah Kecamatan Rembang dan Kaliori memiliki tingkat kerentanan tinggi-sangat tinggi. Pada daerah Sulang, Sumber, Gunem, dan Bulu memiliki tingkat kerentanan sedang-tinggi.

Hasil validasi dari metode GALDIT dengan ketiga unsur paling dominan di laut terbukti kebenarannya dikarenakan memiliki persamaan. Dimana nilai klorida yaitu berkisar lebih dari 250 mg/L, nilai TDS yang merupakan jenis air agak payau dengan kisaran 1.000 - 3.000 mg/L dan nilai DHL yang dimiliki di Kecamatan Kaliori dan Rembang yaitu 1.500 - 5.000 μ hos/cm berada di bagian utara daerah penelitian yaitu Kecamatan Kaliori dan Kecamatan Rembang. Untuk mencegah intrusi airlaut dimulai dengan memberikan pembatasan pengambilan airtanah berdasarkan undang-undang yang berlaku, serta membuat bendungan kecil atau penampungan sebagai tempat daerah tangkapan air.

Rekomendasi yang dapat diberikan untuk daerah yang memiliki kerentanan sangat tinggi yaitu berupa regulasi pengaturan dari penggunaan lahan, dimana daerah tersebut menjadi daerah yang dilarang untuk pembangunan, serta dilarang penggunaan air tanah dan diberikan alternatif penggunaan airtanah dari daerah kerentanan rendah, pembangunan embung sebagai alternatif. Untuk daerah yang memiliki kerentanan tinggi, daerah tersebut sebaiknya mulai dilakukan pengurangan pengambilan airtanah, jarak sumur dari garis pantai harus diperhatikan. Penanaman mangrove di bibir pantai untuk menahan air laut agar tidak terjadi abrasi, sehingga mengurangi potensi adanya intrusi air laut. Mangrove memiliki kemampuan menyerap zat garam dan seolah menjadi penyaring air laut pada saat pasang sehingga intrusi air laut yang dapat mencemari air tanah tawar dapat terkontrol (Syah, 2020).

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada Penelitian Hibah Strategis Fakultas Teknik 2022 Undip dan Penelitian Prioritas Riset Nasional 2021 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

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

Ardiyanto, G., dan Mardiyanto, A. 2016. Kondisi Intrusi Air Laut Terhadap Kondisi Kualitas Air Tanah di Kota Surabaya. Jurnal Purifikasi. 16(2): 91-101.

Ardaneswari T. A., Yulianto T., dan Putranto, T. T. 2016. Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Data Resistivitas dan Geokimia Airtanah di Dataran Aluvial Kota Semarang. Youngster Physics Journal. 5(4) 335-350.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang, Distribusi dan Kepadatan Penduduk Menurut Kecamatan di

- Kabupaten Rembang 2019. rembangkab.bps.go.id
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang, Distribusi dan Kepadatan Penduduk Menurut Kecamatan Di Kabupaten Rembang 2020. rembangkab.bps.go.id
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Rembang, Distribusi dan Kepadatan Penduduk Menurut Kecamatan Di Kabupaten Rembang 2021. rembangkab.bps.go.id
- Barlow, P. M. 2003. Groundwater in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. U.S. Geological Survey. Virginia.
- Barzegar, R., Razzagh, S., Quilty, J., Adamowski, J., Pour, H. K., and Booji, M. J. 2021. Improving GALDIT based Groundwater Vulnerability Predictive Mapping Using Couple Resampling Algorithms and Machine Learning Models, *Journal of Hydrology*. 598: 126370.
- Bisri. M. 2012. Studi Tentang Pendugaan Airtanah, Sumur Airtanah dan Upaya Dalam konservasi Airtanah. Malang. UB Press.
- Chachadi A. G., dan Ferreira, J. P. L. 2001. Assessing aquifer vulnerability to sea-water intrusion using GALDIT method: Part 2 - GALDIT Indicators Description. Proc. 4th Fourth Inter Celt. Colloq. Hydrol. Manag. Water Resour. 1-12.
- Doerfliger, N., Jeannin, P. Y., and Zwahlen, F. 1999. Water Vulnerability Assessment in KARST Environmental: A New Method of Defining Protection Areas Using a Multi-Attribute Approach and GIS Tools.
- Eminoglou, G., Gkiougkis, I., Kallioras, A., and Pliakas, F. 2017. Updated groundwater vulnerability evaluation at a coastal aquifer system in NE Greece. *Eur. Water* 57: 423-428.
- Foster, S., and Hirata, R. 1988. Groundwater Pollution Risk Assessment; A Methodology Using Available Data. PAN American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), Lima, Peru.
- Gemilang, W.A. Kusumah, G. dan Wisna, U.J. 2017. Penilaian Kerentanan Airtanah Menggunakan Metode GALDIT (Studi Kasus: Kawasan Pertanian Garam Pademawu, Madura-Indonesia), *Jurnal Kelautan Indonesia*, 12(3): 117-125.
- Hamed, Y. Hadji, R. Redhaounia, B. Zighmi, K. Bâali, F. and El Gayar, A. 2018. Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations. *Euro-Mediterranean J. Environ. Integr.* 3: 25.
- Hasan, M. N., Siddique, M. A. B., Reza, A. H. M. S., Khan, R., Akbor, M. A., Elius, I. B., Hasan, A. B., and Hasan, M. 2021. Vulnerability Assessment of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers of Southern Banglades: Water Quality Appraisals. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 16: 100-498.
- Kadar, D. dan Sudijono. 1993. Peta Geologi Lembar Rembang, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi skala 1:100.000.
- Kantamaneni, K., Du, X., Ather, S., and Singh, R. M. 2017. Building Blocks: A Quantitative Approach for Evaluating Coastal Vulnerability. *Water*. 9(12): 905.
- Kustiyarningsih, E., dan Irawanto, R. 2020. Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan *Sagittaria lancifolia*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 7(1): 143-148.
- Listyani R. A. T., dan Putranto, T. T. 2020. Hydrochemical of Groundwater and The Potential of Sea Water Intrusion in Tanah Laut, South Kalimantan. Proc. of 5th International Conference of Geological Engineering Faculty. 1(1): 18-30.
- Lubis, R. F., Purwoarminta, A., Bakti, H., dan Kusumah, G. W. 2018. Penentuan Indeks Kerentanan Airtanah Pesisir Jawa di Wilayah Selat Sunda dengan Menggunakan Metode Galdit. *Riset Geologi dan Pertambangan*. 28(1):49-59.
- Moghaddam, H. K., Jafari, F., dan Javadi, S. 2017. Vulnerability Evaluation of a Coastal via GALDIT Model and Comparison with DRASTIC Index Using Quality Parameters. *Hydrological Science Journal*. 62(1): 137-146.
- Nugroho, N. E., Kusumayudha, S. B., dan Paripurno, E. T. 2019. Anomali Perubahan Muka Airtanah di Daerah Urban. Yogyakarta. *Jurnal Geografi*. 16(1):1-6.
- Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin. 1986. Klasifikasi Keasinan Perairan. Jakarta. Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin.
- Pringgoprawiro, H. 1983. Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara. Suatu Pendekatan Baru Bandung (Doctoral dissertation). Institut Teknologi Bandung.
- Prusty, P., dan Farooq, S. H. 2020. Seawater Intrusion in the Coastal Aquifers of India. *HydroResearch*. 3: 61-74.
- Recinos, N., Kallioras, A., Pliakas, F., dan Schuth, C. 2015. Application of GALDIT index to assess the intrinsic vulnerability to seawater intrusion of coastal granular aquifers. *Environmental Earth Sciences*. 73(3): 1017-1032.
- Rejekiningrum, P. 2009. Peluang Pemanfaatan Airtanah Untuk Keberlanjutan Sumber Daya Air. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 3(2).
- Said, H. D., dan Sukrisno. 1988. Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar VII Semarang Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Satyana, A. H., Erwanto, E., dan Prasetyadi, C. 2004. Rembang-Madura-Kangean Sakala (RMKS) Fault Zone, East Java Basin: the origin and nature of a geologic border. Bandung. Indonesian Association of Geologist. 33rd Annual Convention.
- Setiawan, R., dan Sucipta. 2017. Pemantauan Kedalaman dan Kualitas Airtanah pada Tapak Disposal Demo Tahun 2017. Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PLTR Tahun 2017. 105-114.
- Suhartono E., Purwanto., dan Suripin. 2013. Faktor Penyebab Intrusi Air Laut Terhadap Airtanah Pada Akuifer Dalam di Kota Semarang. *Wahana Teknik Sipil*. 18(2): 76-87.
- Syah, A. F. 2020. Penanaman Mangrove Sebagai Upaya Pencegahan Abrasi di Desa Socah Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*. 6(1): 13-16.
- Tasnim Z., dan Tahsim S. 2016. Application of the Method of GALDIT for Groundwater Vulnerability Assessment: A Case of South Florida. *Asian Journal of Applied Science and Engineering*. 5(1): 2307-9584.
- Trabelsi, N., Ibtissem, T., Imen, H., and Moncef, Z. 2016. Aquifer Vulnerability and Seawater Intrusion Risk Using GALDIT, QGISWI and GIS: Case of Coastal Aquifer in Tunisia. *Environmental Earth Science*. 75(8):669.
- Van Bemmelen, R. W. 1949. The Geology of Indonesia vol I.A. General Geology. The Hague: Martinus Nyhoff. 732.
- Van Camp, M., Mtoni, Y., Mjemah, I. C., Bakundukize, C., and Walraevens, K. 2014. Investigating seawater intrusion due to groundwater pumping with schematic model simulations: the example of the Dar es Salaam coastal aquifer in Tanzania. *J. African Earth Sci.* 96: 71-78.
- 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.

- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., dan Alley, W. M. 2005. Concepts of Groundwater, Water Table, and Flow Systems. Amerika Serikat. USGS.
- Zaarour, T. 2017. Application of GALDIT index in the Mediterranean Region to Assess Vulnerability to Sea Water Intrusion. Sölvegatan (Master Thesis). Lund University Sweden.
- Zahra, F. S., dan Putranto, T. T. 2020. The Assessment of Groundwater Vulnerability towards Contamination using the DRASTIC and NV Indexes in Banjarbaru City, South Borneo, Indonesia. *Indonesia Journal of Geography*, 53(3): 360-372.