

PENILAIAN KERENTANAN AIRTANAH MENGGUNAKAN METODE GALDIT (STUDI KASUS : KAWASAN PERTANIAN GARAM PADEMAWU, MADURA-INDONESIA)

GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT USING GALDIT METHOD (CASE STUDY: PADEMAWU SALT POND AREA, MADURA-INDONESIA)

Wisnu Arya Gemilang, Gunardi Kusumah dan Ulung Jantama Wisna

Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDMKP, KKP
Jl. Raya Padang-Painan Km.16 Bungus, Padang, Sumatera Barat, Indonesia 45245
e-mail : wisnu.gemilang@yahoo.co.id

Diterima tanggal: 14 April 2017 ; diterima setelah perbaikan: 7 Mei 2017 ; Disetujui tanggal: 12 Desember 2017

ABSTRAK

Pencemaran kualitas airtanah di pesisir Pademawu mencapai level yang sangat memprihatinkan. Pemasalahan utama yaitu tumpang tindih jenis pemanfaatan lahan tambak garam dengan lahan pemukiman yang berpengaruh terhadap peningkatan degradasi lingkungan. Salah satu dampak negatifnya adalah kerentanan airtanah di sekitar kawasan pertanian garam. Adanya peningkatan kadar salinitas airtanah menjadi asin di sumur-sumur di kawasan pemukiman merupakan bukti terjadinya degradasi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat kerentanan airtanah di pesisir Pademawu. Penilaian tingkat kerentanan airtanah menggunakan model GALDIT dengan melakukan pengukuran dan perhitungan terhadap enam parameter GALDIT yang meliputi *Groundwater occurrence aquifer type, Hydraulic conductivity, Level above mean sea level, Distance from coast, Impact of existing intrusion and Aquifer thickness*. Tingkat kerentanan airtanah pesisir Pademawu terbagi menjadi tiga kelas yaitu kerentanan tinggi, menengah dan rendah. Hasil perhitungan analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter jarak air tanah terhadap garis pantai (D) bernilai 74% diinterpretasikan sangat mempengaruhi tingkat kerentanan airtanah. Tingkat kerentanan airtanah tinggi berada pada area terdekat dengan pantai dan kawasan pertanian garam, berangsur berubah menjadi rendah ke arah Utara. Pembatasan penggunaan airtanah dan lahan pertanian garam di kawasan pesisir Pademawu merupakan salah satu langkah tepat mengurangi pengaruh airlaut terhadap kualitas airtanah.

Kata kunci: Airtanah, GALDIT, kerentanan, Madura, sensitivitas.

ABSTRACT

Pollution of Groundwater quality in Pademawu coastal area is very alarming. The main problem is landuse overlapping between salt pond and settlement area which influences environment degradation enhancement. One of negative impacts is groundwater vulnerability in the salt pond area. The salt content enhancement affects the more saline wells around the settlement area which proves the environment degradation has occurred. This study aims to determine the groundwater vulnerability level in Pademawu coastal area. GALDIT method was employed to assess the groundwater vulnerability level by which calculates the six GALDIT parameters that are groundwater occurrence aquifer type, hydraulic conductivity, level above mean sea level, distance from coast, impact of existing intrusion and aquifer thickness. The groundwater vulnerability divided into 3 classes, which are high, moderate, and low vulnerability. The sensitivity analysis result shows that the distance between groundwater source and the coast (D) has reached 74 %. It tremendously influences the groundwater vulnerability level. The high level of vulnerability is found in the area near the coast and salt pond which is deteriorated towards north. The limitation of groundwater utilization and salt pond area in Pademawu coastal area is one of the precise ways declining the intrusion of sea water to the groundwater quality condition.

Keywords: Groundwater, GALDIT, vulnerability, Madura, sensitivity.

PENDAHULUAN

Air adalah elemen dasar dari kegiatan perkembangan sosial ekonomi dan merupakan hal terpenting untuk kesehatan masyarakat dan pembangunan berkelanjutan. Sebanyak 97% dari air di bumi merupakan air asin yang berasal dari laut dan hanya 3% air tawar yang dapat digunakan (Mahesha *et al.*, 2004). Air tanah telah dianggap sebagai sumber air minum yang penting karena kerentanannya terhadap polusi relatif rendah dibandingkan dengan air permukaan (Arzu & Fatma, 2013). Beberapa tahun terakhir, pemanfaatan air tanah semakin meningkat pada tingkat yang lebih cepat yang menyebabkan penipisan air tanah. Kontaminasi air tanah karena berbagai sumber antropogenik tumbuh pada tingkat yang lebih cepat, sehingga tidak lagi sesuai untuk digunakan yang sebelumnya telah sesuai (Murali & Elongatan, 2013).

Kawasan pesisir Kecamatan Pademawu merupakan salah satu bagian terbesar dan terluas menjadi sentra produksi garam terdapat di Madura. Penggunaan lahan Kabupaten Pamekasan berdasarkan hasil pengamatan dari citra satelit ALOS tahun 2012 dengan skala 1:50.000 di klasifikasikan dalam delapan kelas. Pembagian penggunaan lahan di Kabupaten Pamekasan meliputi : mangrove, pemukiman, sawah, sungai/danau, tambak, tanah terbuka, tegalan dan vegetasi/hutan. Hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa sampai saat ini penggunaan lahan untuk tambak garam masih terkonsentrasi di pesisir Selatan (Pademawu, Galis dan Tlanakan) dengan kawasan terluas berada di Kecamatan Galis (1.108,41 Ha) dan Pademawu (740,96 Ha) (Efendy *et al.*, 2014).

Kondisi penggunaan lahan sebagai tambak garam tersebut menimbulkan beberapa penyesuaian terhadap keadaan alam. Perbedaan karakteristik arsitektur tradisional Madura dari masyarakat agraris pertanian dengan masyarakat petani garam menambah keragaman variasi tipologis karakteristik permukiman yang disesuaikan dengan kondisi mata pencaharian yang mereka tekuni (Citrayati *et al.*, 2008). Salah satu ancaman utama yang dihadapi yaitu terjadinya pencemaran air tanah meliputi polusi/pencemaran dan degradasi akibat aktivitas manusia, sehingga membuat air tawar langka (Efe, 2002). Pola pembentukan tata ruang yang terjadi dipengaruhi letak tambak garam yang cenderung mengelilingi permukiman dapat menjadi pemicu terjadinya degradasi lingkungan.

Kondisi geologi pantai selatan Kabupaten Pamekasan terdiri dari tiga formasi batuan. Ketiga formasi

batuan tersebut yaitu endapan *alluvial* (Qa) tersusun atas kerikil, kerakal, pasir, lempung dan lumpur, sedangkan untuk formasi Pamekasan (Qpp) terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping (Situmorang *et al.*, 1992). Kondisi tersebut memicu potensi pencemaran menjadi semakin tinggi, dimana polutan dari tambak garam yang meresap kedalam tanah dapat dengan cepat menyebar karena karakteristik permeabilitas material pasiran yang tergolong cepat (15-45 m/hari) (Todd, 1980).

Penilaian kerentanan telah diakui karena kemampuannya untuk menggambarkan daerah yang lebih mudah terkontaminasi daripada yang lain akibat aktivitas antropogenik pada/ atau di dekat permukaan bumi. Studi kerentanan dapat memberikan informasi yang berharga bagi para pemangku kepentingan yang bekerja untuk mencegah kerusakan lingkungan lebih lanjut (Mendoza & Barmen, 2006). Evaluasi akuifer menggunakan indeks kerentanan merupakan salah satu elemen kunci dalam pengambilan keputusan dan dianggap multi-kriteria bagian pengambilan keputusan di perairan sungai dan sistem pengelolaan air limbah (Kholgi, 2010). Kerentanan adalah fakto relatif, non-dimensi dan tak terukur yang tergantung pada karakteristik akuifer, serta geologi dan kondisi hidrogeologi akuifer (Antonakos & Lambrakis, 2007). Akuifer pesisir, akan tetapi selain pencemaran dari permukaan, memiliki kerentanan terhadap intrusi air asin yang berasal dari laut. Selain itu, perubahan airtanah meningkat karena intrusi air laut oleh pengaruh keseimbangan antara muka airtanah dengan muka air laut (Karanth, 1987).

Upaya untuk mengurangi efek negatif intrusi air asin, peta kerentanan intrusi air asin dapat diciptakan untuk menunjukkan daerah yang mungkin sangat rentan. Model indeks GALDIT yang diterapkan untuk menentukan kerentanan air tanah terhadap kontaminasi dari kegiatan antropogenik dan intrusi air laut (Kura *et al.*, 2015). Faktor yang paling penting dalam mengendalikan intrusi air asin adalah adanya airtanah (tipe akuifer; tidak terkekang, terbatas dan bocor terbatas), konduktivitas hidrolik akifer, kedalaman sampai tingkat air tanah di atas laut, jarak dari pantai, berdampak pada status intrusi slatwater yang ada dan ketebalan akuifer (Tasnim & Tahsin, 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerentanan akuifer yang ada dikawasan pesisir Kecamatan Pademawu dengan menggunakan model indeks kerentanan airtanah yaitu GALDIT.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian masuk dalam kawasan pesisir Kecamatan Pademawu, Kabupaten Pamekasan, Madura dan berbatasan dengan beberapa Kecamatan lainnya diantaranya Kec. Galis, Tlanakan dan Larangan (Gambar 1). Secara administratif lokasi penelitian berada pada koordinat $7^{\circ} 14' 18,0''$ LS dan $113^{\circ} 31' 48,5''$ BT. Wilayah penelitian masuk dalam kawasan dengan kemiringan lereng 0° - 15° dengan luasan 7.189 Ha. Kawasan pesisir Kecamatan Pademawu masuk dalam Kabupaten Pamekasan, Madura dan berbatasan dengan beberapa Kecamatan lainnya diantaranya Kec. Galis, Tlanakan dan Larangan (Gambar 1).

Menurut Poespowardoyo (1986), dalam peta hidrogeologi lembar VIII Surabaya (Jawa) bahwa daerah penelitian tersusun atas litologi endapan alluvium berupa perselingan endapan lempung dan pasir, setempat mengandung bahan organik atau batugamping koral, dengan kelulusan kecil sampai sedang. Jenis akuifer daerah penelitian masuk dalam kelompok akuifer produktivitas kecil dan daerah airtanah langka. Selain itu daerah penelitian bagian Utara masuk dalam jenis akuifer produktiv kecil, setempat berarti maksudnya setempat airtanah dalam

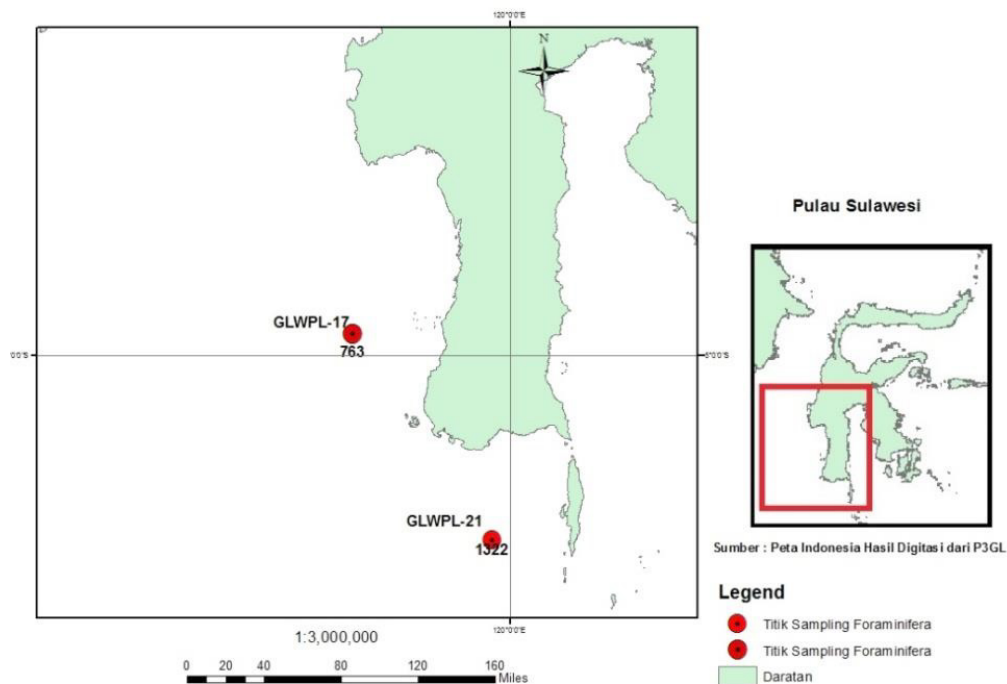
jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah lembah atau zona pelapukan batuan padu.

Survey Hidrogeologi

Pemetaan serta pengukuran beberapa parameter hidrogeologi dilakukan terhadap 67 titik pengamatan baik berupa sumur gali milik warga maupun sumur produksi milik PDAM. Kegiatan survey meliputi pengamatan singkapan batuan permukaan yang dapat bertindak sebagai akuifer. Pengukuran parameter hidrogeologi meliputi pengukuran permukaan air tanah, daya hantar listrik (DHL), pH dan suhu. Pengukuran permukaan airtanah pada sumur gali penduduk menggunakan alat water level. Sementara parameter lainnya berupa DHL, pH dan suhu air diukur dilapangan dengan memakai alat *handy water checker Toa*. Perekaman setiap titik lokasi pengamatan dan pengukuran menggunakan alat *global positioning system* (GPS).

Pengambilan terhadap 12 sampel airtanah yang terbagi menjadi sampel air sumur gali penduduk, air sumur produksi dan air pada tambak garam. Percontohan air tersebut kemudian dilakukan analisis di laboratorium Teknik Lingkungan ITB. Metode analisis kimia air di laboratorium didasarkan pada *Standar methods for examination of water and wastewater* (APHA, 1998).

Peta Lokasi Pengambilan Sampel Foraminifera di Selat Makassar



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Figure 1. Research Sites.

Parameter kimia yang dilakukan analisis meliputi Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , F^{-} , NO_2^{-} , NO_3^{-} dan CaCO_3 . Beberapa parameter tersebut digunakan untuk analisis fasies hidrokimia airtanah di daerah penelitian.

Model Galdit

Metode GALDIT dengan enam parameter hidrogeologi telah banyak digunakan untuk melakukan penilaian skala besar intrusi air laut (Kardan *et al.*, 2017). Dalam studi lain, indeks GALDIT digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan yang berhubungan dengan kawasan pesisir berupa intrusi air laut (Recinos *et al.*, 2015). Penentuan bobot dan rating dari enam parameter komponen dalam model GALDIT tergantung pada kondisi lokal dan lapangan untuk menilai tingkat kerentanan akuifer air tanah. Nilai bobot dan rangking untuk tiap parameter GALDIT dapat dilihat pada dalam Table 1.

Nilai kedalaman muka airtanah dan jarak terhadap pantai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, kedua faktor tersebut merupakan faktor paling penting dalam menentukan tingkat kerentanan akuifer terhadap air laut. Oleh karena itu, penting untuk memperkirakan kedua parameter dengan lebih presisi. Gambar 2 menunjukkan peta komponen GALDIT yang disesuaikan pada Tabel 1. Setelah menentukan nilai bobot dari setiap parameter,

rumus dibawah ini diterapkan untuk memperkirakan nilai indeks GALDIT. Nilai peringkat indeks GALDIT mulai dari 2.5 hingga 10 dengan klasifikasi seperti pada Tabel 2.

$$GALDIT = \frac{\sum_{i=1}^6 W_i R_i}{\sum_{i=1}^6 W_i}$$

Dimana nilai R = peringkat dan W = bobot

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas diterapkan untuk mengetahui ketepatan atau kesesuaian dari setiap parameter model GALDIT. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi pentingnya parameter dalam metode kerentanan dan mencoba untuk mengurangi jumlah parameter (Rahman, 2008). Dua jenis uji sensitivitas digunakan untuk analisis sensitivitas pada proses penghilangan peta (Lodwick *et al.*, 1990) jenis uji sensitivitas kedua adalah analisis sensitivitas *single-parameter* dikenalkan oleh Napolitano dan Fabbrian (Napolitano & Fabbri, 1996). Metode ini dilakukan untuk mengevaluasi dampak dari setiap parameter dalam metode kerentanan yang diterapkan untuk metode DRASTIC (Babiker *et al.*, 2005 ; Jayadi *et al.*,

Tabel 1. Model Parameter GALDIT dan Bobot
Table 1. Parameter Model GALDIT and Weight

Parameter	Bobot	2.5	5	7.5	10
G (Groundwater occurrence aquifer type)	1	Limited	Leaky confined	Unconfined	Confined
A (Hydraulic conductivity)	3	<5	5-10	10-40	>40
L (Level above mean sea)	4	>2	1.5-2	1-1.5	<1
D (Distance from coast)	4	>1000	750-1000	500-750	<500
I (Impact of existing intrusion)	1	<1	1-1.5	1.5-2	>2
T (Aquifer thickness)	2	<5	5-7.5	7.5-10	>10



Gambar 2. Litologi Akuifer Daerah Penelitian.
Figure 2. Aquiferology of aquifer Region Research.

Tabel 2. Klasifikasi Indeks Kerentanan GALDIT
 Table 2. Classification of GALDIT Vulnerability Index

Indeks GALDIT	Indeks Kerentanan
Low	<5
Medium	5-7.5
High	>7.5

2010). Untuk memperkirakan efektivitas bobot setiap parameter, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$W = \frac{P_r P_w}{V} * 100$$

Dimana W adalah bobot efektif setiap parameter, Pr dan Pw adalah nilai peringkat dan bobot setiap parameter dan V adalah keseluruhan nilai indeks kerentanan (Babiker *et al.*, 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Hidrogeologi

Kedalam muka airtanah yang ada di wilayah penelitian cukup bervariasi, sesuai dengan pembagian litologi penyusunnya. Wilayah yang tersusun atas litologi endapan alluvial memiliki kedalaman airtanah 1,98 – 7,2 m, sedangkan pada kawasan formasi Pamekasan (Qpp) memiliki kedalaman 7,26 - 15,95 m. Semakin kearah utara daerah penelitian kedalam airtanah semakin dalam dengan litologi penyusun batugamping pada formasi Madura (Tpm) mencapai kedalaman 15,95 – 27 m. Bagian selatan daerah penelitian merupakan kawasan pesisir yang dekat dengan laut, sedangkan morfologi bagian Utara merupakan kawasan perbukitan. Goa-goa yang ada di bagian utara daerah penelitian merupakan tempat aliran airtanah hasil pelarutan dari batu gamping (Gambar 2a).

Beberapa lokasi mata air yang ada di bagian utara digunakan sebagai sumur produksi. Di atas akuifer batugamping terdapat endapan pamekasan berupa batupasir, batugamping hasil pelapukan dari batuan yang lebih tua (Gambar 2b). Endapan *alluvial* dijumpai di daerah rendah pinggir pantai, yang didominasi oleh batuan hasil pelapukan berupa batupasir, lanau hingga lempung (Gambar 2c). Airtanah bebas pada endapan *alluvial* bersifat payau hingga asin, sedangkan semakin kearah utara umumnya *relative* lebih tawar dibandingkan dengan airtanah pada akuifer *alluvial*.

Di daerah endapan *alluvial* atau dekat laut dan

merupakan kawasan terluas pertanian garam, memiliki nilai DHL air tanah berkisar 15.000 – 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ menempati sebaran terluas di daerah penelitian. Sedangkan pada akuifer endapan pamekasan (Qpp) memiliki DHL 5.000 – 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, dan semakin ke utara cenderung rendah mencapai <1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$.

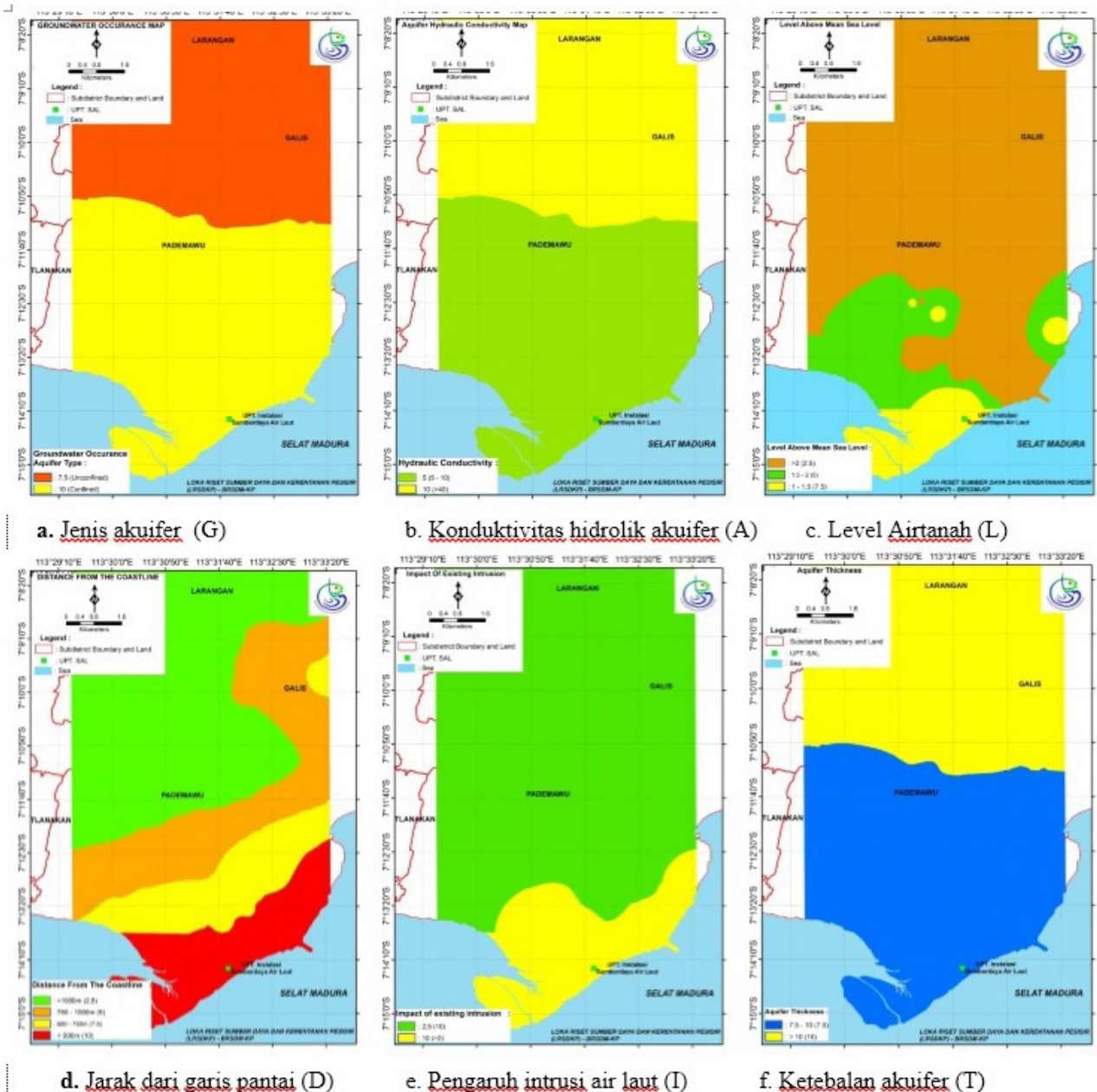
Model GALDIT

Hasil perhitungan terhadap indeks kerentanan GALDIT dapat memperkirakan kerentanan akuifer terhadap pengaruh intrusi air laut. Perhitungan indeks kerentanan GALDIT berdasarkan nilai setiap parameter yang disesuaikan dengan kondisi saat pengamatan dan pengukuran dilapangan. Hasil perhitungan dari setiap parameter GALDIT kemudian dilakukan kombinasi dengan persamaan GALDIT. Kategori GALDIT ditentukan berdasarkan estimasi dari setiap parameter dan mengacu pada Tabel 2, sehingga dapat ditampilkan peta indeks kerentanan model GALDIT pada Gambar 3. Namun setiap parameter GALDIT dibuat peta sesuai nilai rate dari setiap parameter, sehingga diketahui tingkat kerentanan wilayah tertinggi pada setiap parameternya (Gambar 3).

Berdasarkan hasil estimasi nilai setiap parameter bahwa parameter jarak airtanah terhadap garis pantai merupakan faktor yang signifikan dalam keseluruhan kerentanan akuifer. Kerentanan akuifer pada bagian Selatan dan Tenggara daerah penelitian memiliki kerentanan akuifer tinggi. Pada bagian tersebut tersusun atas jenis akuifer bebas atau tidak tertekan sehingga pada umumnya akuifer lebih rentan terhadap kontaminasi atau pencemaran. Selain itu akuifer pada bagian Selatan dan Tenggara sangat rentan terhadap kontaminasi intrusi airlaut karena jarak yang sangat dekat dengan garis pantai.

Penilaian Kerentanan Indeks GALDIT Menggunakan Paramater Kualitas Perairan

Akuifer pesisir merupakan akuifer yang memiliki level tinggi terhadap kerentanan, sehingga diperlukan untuk melakukan penilaian terhadap nilai kerentanan berdasarkan parameter kualitas. Hasil analisis dari 65



Gambar 3. Peta Hasil Analisis Berdasarkan 6 Parameter GALDIT.
 Figure 3. Map of Analysis Results Based on 6 Parameters GALDIT.

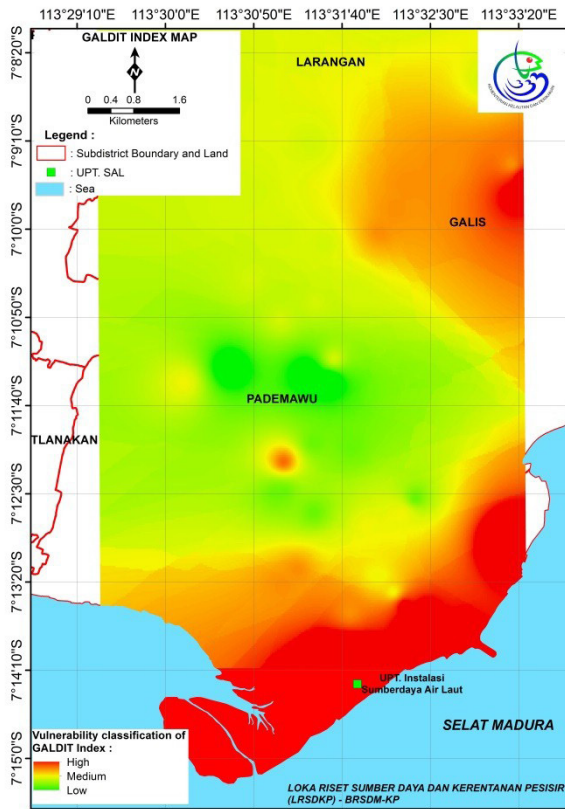
Tabel 3. Korelasi Antara Parameter Kualitas dengan Metode GALDIT
 Table 3. Correlation Between Quality Parameters with GALDIT Method

Koefisien korelasi				
INDEX	NO ₃	Na ⁺	Cl ⁻	DHL
GALDIT	0,194	0,29	0,305	0,539

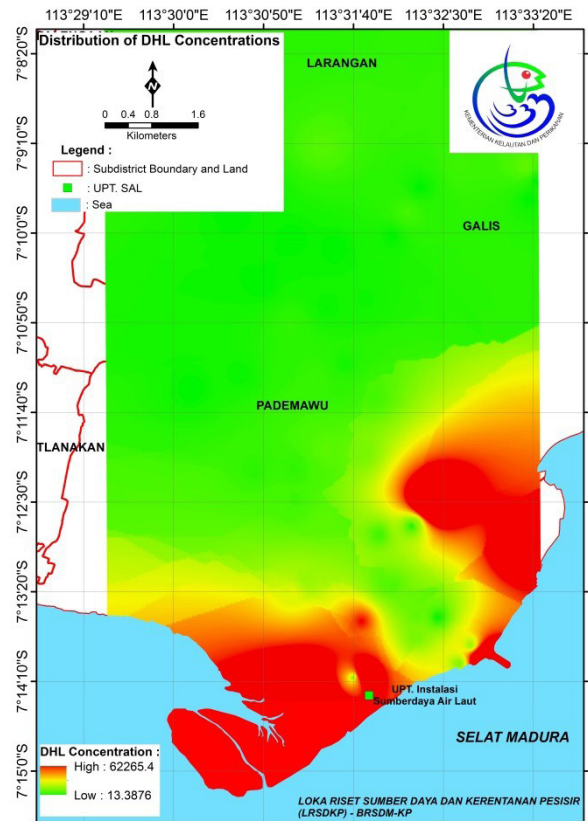
sampel kualitas airtanah yang dilakukan pengukuran pada Agustus 2015 yang digunakan untuk menghitung faktor-faktor korelasi (Gambar 5). Hasil penentuan tingkatan kerentanan, dari kedua metode dibandingkan dalam hal DHL, Na, NO₃ dan Cl menggunakan analisis statistik dan regresi. Salinitas adalah parameter yang berhubungan dengan kimia terlarut komponen. Pada

penelitian ini parameter salinitas diwakili oleh nilai kation Natrium (Na) dan anion Klorida (Cl). Selain itu DHL juga dipilih untuk mewakili tingkat salinitas suatu airtanah, semakin jauh dari garis pantai secara teoritis nilai DHL akan semakin kecil (Saila *et al.*, 2013).

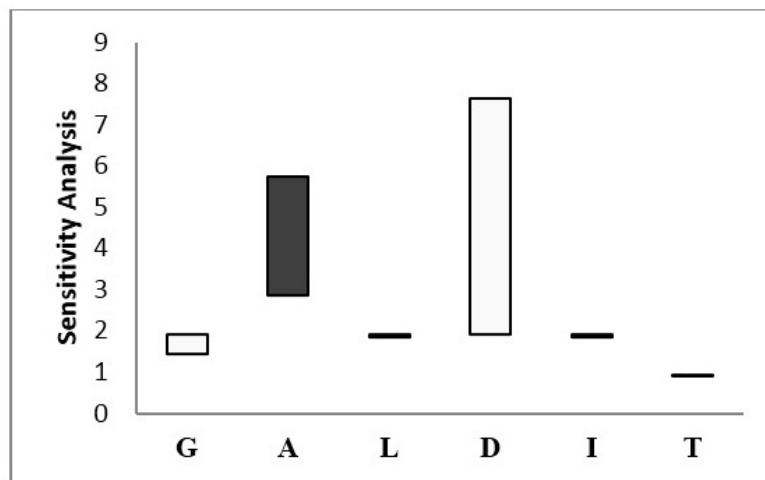
Nitrat adalah salah satu jenis kontaminan yang mudah



Gambar 4. Peta Kerentanan Model GALDIT.
Figure 4. Vulnerability Map of GALDIT Model.



Gambar 5. Peta Sebaran Nilai DHL.
Figure 5. Map of DHL Value Distribution.



Gambar 6. Hasil Analisis Sensitivitas untuk Metode GALDIT.
Figure 6. Sensitivity Analysis Result for GALDIT Method.

mencemari airtanah dari permukaan. Oleh karena itu, parameter nitrat dalam lahan pertanian dapat dijadikan sebagai indikator bagaimana kontaminasi nitrat dapat dengan mudah mencemari airtanah, sehingga dijadikan sebagai konsep penentuan tingkat kerentanan. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap korelasi nilai parameter kualitas terhadap nilai indeks kerentanan GALDIT Tabel 3. Indeks kerentanan GALDIT

memiliki hubungan yang sama pada parameter kualitas, setidaknya berkorelasi dengan nitrat dan Na. Selain itu GALDIT model kerentanan sangat berhubungan erat dengan nilai DHL, dengan nilai korelasi lebih tinggi untuk model kerentanan GALDIT.

Analisis Sensitivitas

Nilai efektivitas untuk bobot model GALDIT

diperkirakan menggunakan metode yang diusulkan oleh (Babiker *et al.*, 2005). Indeks kerentanan untuk GALDIT pada (Gambar 6) . Berdasarkan peta terbaru, bahwa terhadap nilai efektifitas setiap parameter, model GALDIT menunjukkan perbedaan, nilai tertinggi pada model GALDIT berada pada parameter D (jarak airtanah terhadap garis pantai) yang mencapai 74%. Nilai terendah ditunjukkan pada parameter ketebalan akuifer pada model GALDIT.

KESIMPULAN

Kerentanan airtanah kawasan pesisir Kecamatan Pademawu berdasarkan model GALDIT terbagi menjadi tiga kelas kerentanan yaitu high, medium dan low. Tingkat kerentanan tinggi memiliki luas mencapai lebih dari 50%, secara keseluruhan berada pada bagian dekat dengan garis pantai. Bagian Utara atau jauh dari garis pantai menunjukkan tingkat kerentanan rendah. Berdasarkan model GALDIT menunjukkan bahwa jarak airtanah terhadap garis pantai memiliki peran sangat tinggi dalam tingkat kerentanan airtanah, Model GALDIT menunjukkan nilai regresi 53% antara indeks kerentanan GALDIT dengan DHL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) Balitbang KP atas DIPA Anggaran Penelitian tahun 2015 terkait penelitian yang dilakukan di Pademawu, Madura. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Hendra Bakti M.T dan Ananta Purwo, M.T., yang telah membimbing kami baik dilapangan maupun pada saat proses pengolahan data. Ucapan terimakasih juga tidak lupa diucapkan kepada seluruh warga Kecamatan Pademawu, Madura yang telah membantu proses pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. P. H. A. (1998). *Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 th Edition. Washington D. C: American Public Health Association, 1998.
- Antonakos, A. K., & Lambrakis, N. J. (2007). Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. *Journal of Hydrology*, 333(2), 288-304.
- Arzu Firat, E., & Fatma, G. (2013). DRASTIC-based methodology for assessing groundwater vulnerability in the Gümüşhaciköy and Merzifon basin (Amasya, Turkey). *Earth sciences research journal*, 17(1), 33-40.
- Babiker, I. S., Mohamed, M. A., Hiyama, T., & Kato, K. (2005). A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment*, 345(1), 127-140.
- Citrayati Noviana., Antariksa & Ema Yunita Titisari. (2008). Pemukiman Masyarakat Petani Garam Di Desa Pinggir Papas, Kabupaten Sumenep. *Arsitektur e-Journal*, 1(1): 1-14.
- Efe, S. T. (2002). Urban warming in Nigerian cities. The case of warri metropolis. *African Journal of Environmental Studies*, 3(1-2), 160-168.
- Efendy, M., Sidik, R. F., & Muhsoni, F. F. (2014). PEMETAAN POTENSI PENGEMBANGAN LAHAN TAMBAK GARAM DI PESISIR UTARA KABUPATEN PAMEKASAN. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 7(1), 1-11.
- Javadi, S., Kavehkar, N., Mousavizadeh, M. H., & Mohammadi, K. (2010). Modification of DRASTIC model to map groundwater vulnerability to pollution using nitrate measurements in agricultural areas. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 239-249.
- Karant, K. R. (1987). Ground water assessment: development and management. Tata McGraw-Hill Education.
- Kardan Moghaddam, H., Jafari, F., & Javadi, S. (2017). Vulnerability evaluation of a coastal aquifer via GALDIT model and comparison with DRASTIC index using quality parameters. *Hydrological Sciences Journal*, 62(1), 137-146.
- Kholghi, M. (2010). Multi-criterion decision-making tools for wastewater planning management. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3, 281-286.
- Kura, N. U., Ramli, M. F., Ibrahim, S., Sulaiman, W. N. A., Aris, A. Z., Tanko, A. I., & Zaudi, M. A. (2015). *Assessment of groundwater vulnerability to anthropogenic pollution and seawater intrusion in a small tropical island using index-based methods*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(2), 1512-1533.
- Lodwick, W. A., Monson, W., & Svoboda, L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical informations systems: suitability analysis. *International Journal of Geographical Information System*, 4(4), 413-428.

- Mahesha, N. N., & Rajendra Prasad, N. R. (2004). Physico-chemical characteristics of bore well water in Arsikere taluk, Hassan. *Indian Journal of Environmental Protection*, 24(12, Co), 897-904.
- Mendoza, J. A., & Barmen, G. (2006). Assessment of groundwater vulnerability in the Río Artiguas basin, Nicaragua. *Environmental Geology*, 50(4), 569-580.
- Murali, K., & Elangovan, R. (2013). Assessment of Groundwater Vulnerability in Coimbatore South Taluk, Tamilnadu, India Using Drastic Approach. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(6), 1.
- Napolitano, P., & Fabbri, A. G. (1996). *Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS*. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences, 235, 559-566.
- Rahman, A. (2008). *A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India*. *Applied geography*, 28(1), 32-53.
- Recinos, N., Kallioras, A., Pliakas, F., & 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.
- Saila, Mellisa., Muhajjir & Azmeri. (2013). *Pengaruh Intrusi Air Laut Terhadap Akuifer Pantai Pada Kawasan Wisata Pantai Iboih Sabang*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7. 137- 143p.
- Situmorang, R.I., Agustianto, D.A & Suparman, M. (1992). *Peta Geologi Lembar Waru -Sumenep Jawa. Bandung*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Tasnim, Z., & Tahsin, 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), 27-40.
- Todd, D. K. (1980). *Groundwater hydrology* (p. 535). New York: Jon Wiley & Sons Inc.