

KERENTANAN AIR TANAH DI KAWASAN PERTANIAN GARAM PESISIR PADEMAWU, MADURA BERDASARKAN KARAKTERISTIK HIDROGEOKIMIA DAN INDEKS KUALITAS AIR

GROUNDWATER VULNERABILITY ON SALT POND IN PADEMAWU COASTAL AREA, MADURA BASED ON HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND WATER QUALITY INDEX

Wisnu Arya Gemilang¹ dan Hendra Bakti²

¹ Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP-KKP)

² Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Kawasan pesisir Pademawu yang beralih fungsi menjadi pusat pertanian garam menimbulkan beberapa dampak negatif yang salah satunya adalah permasalahan kerentanan sumber daya air tanah. Beberapa sumur gali milik penduduk sudah berubah menjadi payau hingga asin. Evaluasi terhadap kualitas air tanah di kawasan tersebut sangat dibutuhkan untuk mengetahui kerentanan air tanah. Penilaian kerentanan air tanah dilakukan berdasarkan parameter hidrogeokimia dan indeks kualitas air *Water Quality Index* (WQI). Fasies hidrokimia air tanah didominasi oleh fasies CaHCO_3 kemudian NaHCO_3 dan NaCl . Nilai rasio Na/Cl dan Cl/HCO_3 menunjukkan bahwa dalam air tanah daerah penelitian telah terjadi proses pencampuran air laut ke dalam akuifer dengan kategori penyusupan air laut sedikit hingga agak tinggi. Kondisi tersebut didominasi oleh proses infiltrasi air tambak garam ke dalam akuifer. Nilai *Water Quality Index* (WQI) berkisar 46,69-736,42, kategori WQI *good water* mendominasi wilayah penelitian sebanyak 45,45%, *excellent* 27,28%, *poor water* 18,18% dan satu sampel air masuk kategori 9,09%. Lokasi dengan kategori

poor water dan *very poor water* berada di sumur gali penduduk yang berdekatan dengan garis pantai dan tambak garam. Pengaturan tataguna lahan antara kawasan pemukiman dan tambak garam sangat dibutuhkan sehingga tidak memperluas area kerentanan air tanah di pesisir Pademawu.

Kata kunci: Kerentanan, air tanah, pesisir, hidrogeokimia, *water quality index*, Madura.

ABSTRACT Pademawu coastal area has changed into salt farming center that caused some negative impacts to groundwater resources. Some wells in this area have brackish and salty water. Groundwater vulnerability assessment based on hydrogeochemical parameters and Water Quality Index (WQI) have been conducted to identify the vulnerability index. Hydrochemical facies of groundwater is dominated by CaHCO_3 , NaHCO_3 , and NaCl . Ratios of Na / Cl and Cl / HCO_3 show that a mixture of sea water within aquifers has been occurred and categorized as low and slightly high seawater intrusion. This may have been caused by the process of salt-pond water infiltration within aquifers. The WQI is ranged from 46.69-736.42, the category of good water WQI dominates the study area as much as 45.45%, excellent 27.28%, poor water 18.18% and one of water samples reached 9.09%. Categories of poor and very poor water were observed in the wells of residents around the coastline and salt ponds. Land use reorganizing between residential areas and salt ponds is urgently essential to minimize the vulnerable area of groundwater in the Pademawu coast.

Keywords: Vulnerability, groundwater, coastal, hydrochemical, water quality index, Madura.

Naskah masuk : 16 November 2018
Naskah direvisi : 7 Januari 2019
Naskah diterima : 20 Mei 2019

Wisnu A Gemilang
Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP-KKP)
Email : wisnu.gemilang@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan sumber daya penting, terlebih air tanah tawar dan berkualitas bagi masyarakat pesisir di dunia (Huizer et al., 2018). Namun, sumber daya air tanah tawar di pesisir semakin banyak dipengaruhi oleh intrusi air laut terutama disebabkan oleh ekstraksi air tanah yang berlebihan dan kenaikan permukaan air laut (Ferguson and Gleeson, 2012). Zona pesisir merupakan area yang kompleks dan dinamis antara daratan dan laut (Michael et al., 2017). Air tanah di daerah pesisir memiliki kerentanan terhadap salinisasi oleh perkembangan alami dan faktor antropogenik. Intrusi air laut menjadi perhatian utama terhadap penggunaan air tanah yang aman (Gopinath et al., 2018).

Masalah salinisasi dan pencemaran air tanah adalah masalah kritis yang umum terjadi pada lingkungan dan sosial ekonomi terutama di daerah padat penduduk (Abu-alnaeem et al., 2018). Masalah ini dapat disebabkan oleh faktor alam sebagai bentuk interaksi air dengan batuan, kondisi hidrodinamik, dampak dari akuifer yang berdekatan dan intrusi air laut (Mohammed et al., 2012). Selain itu, kegiatan antropogenik seperti peningkatan air asin karena eksploitasi air tanah, pembuangan limbah yang tidak benar, kegiatan intensif pertanian, industrialisasi yang tidak direncanakan dan perluasan kota (Huang et al., 2013).

Terkonsentrasinya produksi garam di pesisir selatan Kabupaten Pamekasan meliputi 3 (tiga) kecamatan yaitu Kecamatan Galis, Pademawu dan Tlanakan. Daerah-daerah tersebut berbatasan langsung dengan pantai dan relatif datar sehingga memudahkan dalam pengelolaan tambak dan proses pemasukan air laut ke tambak garam melalui mekanisme pasang surut (Efendy et al., 2014). Kondisi penggunaan lahan sebagai tambak garam tersebut menimbulkan beberapa penyesuaian terhadap keadaan alam. Perbedaan karakteristik mata pencaharian tradisional Madura dari masyarakat petani tembakau dengan masyarakat petani garam menambah variasi tipologis karakteristik pemukiman sehingga menambah keragaman. Pola pembentukan tata ruang yang terjadi dipengaruhi letak tambak yang cenderung mengelilingi pemukiman (Citrayati et al., 2008).

Kawasan pemukiman yang berdampingan dengan lahan pertanian garam di daerah Pademawu dapat

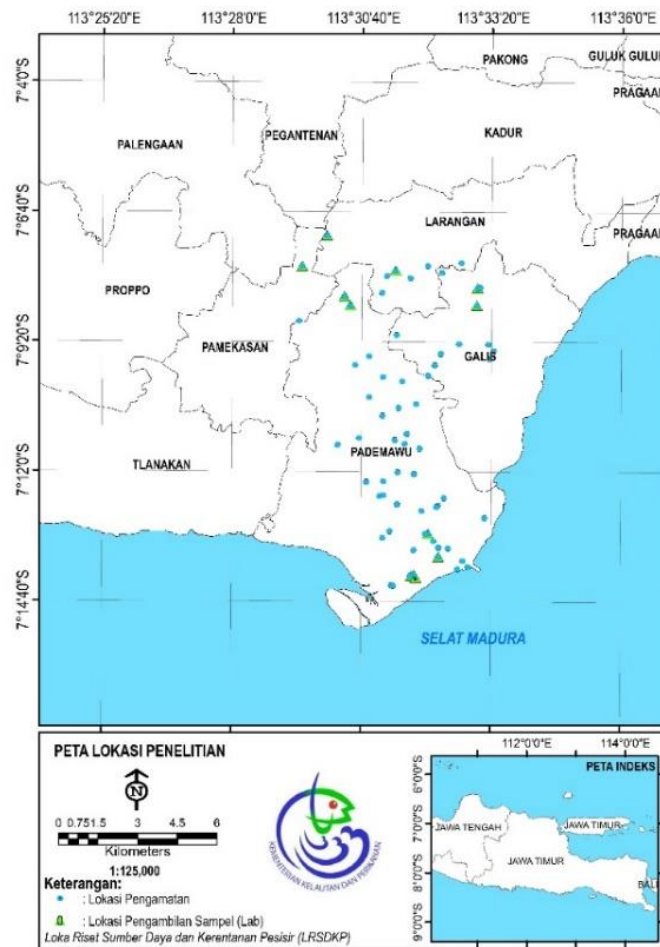
menimbulkan beberapa ancaman pencemaran lingkungan. Hal ini ditunjukkan dengan semakin bertambahnya sumur penduduk yang berubah menjadi payau (Gemilang and Kusumah, 2016). Kualitas air pada akuifer pesisir dinilai menggunakan beberapa metode yang berbeda. Beberapa metode umum digunakan mempelajari kualitas air pada akuifer termasuk metode hidrogeokimia (Mustapha et al., 2012). Studi pemantauan air tanah yang komprehensif berdasarkan pada implementasi kebijakan, dibutuhkan di setiap area yang akan digunakan sebagai sumber air minum (Saeedi et al., 2010).

Sumber daya air tanah bersifat dinamis dan terpengaruh oleh faktor-faktor seperti perluasan kegiatan irigasi, industrialisasi dan urbanisasi, maka pemantauan dan melestarikan sumber daya air ini sangat penting (Chatterjee et al., 2010). *Water Quality Index* (WQI) secara numerik merangkum informasi dengan mudah dari beberapa parameter kualitas air menjadi satu nilai yang dapat digunakan untuk menilai variasi spasial dan temporal dalam kualitas air secara keseluruhan (Krishan et al., 2016). *Water Quality Index* (WQI) didefinisikan sebagai peringkat yang mencerminkan pengaruh gabungan dari parameter kualitas air yang berbeda.

WQI dihitung dari sudut pandang kesesuaian air tanah untuk konsumsi manusia (Ramakrishnaiah et al., 2009). Oleh karena itu penelitian terhadap karakteristik hidrokimia dan penilaian *Water Quality Index* di pesisir Kec. Pademawu sangat penting. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang sifat fisik dan kimia air tanah di daerah pemukiman untuk mengetahui dampak keberadaan tambak garam terhadap kualitas air tanah serta membahas kesesuaiannya untuk konsumsi manusia berdasarkan nilai *Water Quality Index* (WQI).

LOKASI PENELITIAN

Kecamatan Pademawu terletak di wilayah selatan dari Kabupaten Pamekasan, dengan luas 71,9 km² atau sekitar 9% dari luas Kabupaten. Letak Kecamatan Pademawu tidak jauh dari pesisir, maka ketinggian wilayah di Kecamatan Pademawu tidak ada yang lebih dari 10 meter. Ketinggian wilayah studi hampir seragam dan dapat diklasifikasikan sebagai daerah dataran alluvial atau pesisir dengan ketinggian berkisar 0 – 50 m di atas permukaan laut (BPS, 2016). Secara administratif lokasi penelitian berada pada



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

koordinat S $7^{\circ} 14' 40.0'' - 7^{\circ} 40' 0''$ dan E $113^{\circ} 25' 48.5'' - 113^{\circ} 36' 0''$ (Gambar 1).

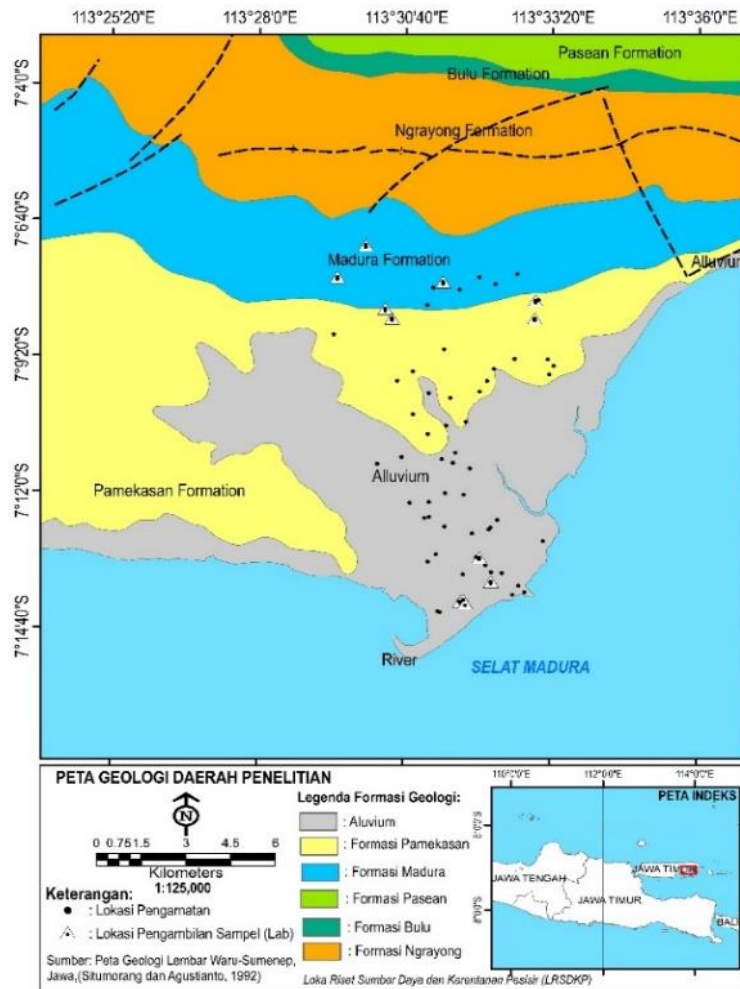
Kondisi geologi pantai selatan Kabupaten Pamekasan terdiri dari tiga formasi batuan. Ketiga formasi batuan tersebut yaitu Endapan Alluvial (Qa) tersusun atas kerikil, kerakal, pasir, lempung dan lumpur, sedangkan untuk Formasi Pamekasan (Qpp) terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping. Formasi batuan bagian utara daerah penelitian dan juga merupakan wilayah yang memiliki sumber daya airtanah yang baik yaitu Formasi Madura (Tpm) tersusun atas batugamping terumbu dan batugamping dolomitan (Gambar 2) (Situmorang et al., 1992). 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 produktif kecil, setempat berarti yang artinya air tanah dalam jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah lembah atau zona pelapukan batuan padu.

METODE

Pengamatan Lapangan

Pemetaan serta pengukuran parameter fisika dan kimia air tanah dilakukan pada 66 stasiun pengamatan berupa sumur gali yang merupakan jenis akuifer tidak tertekan dan beberapa sumur bor produksi. Pengukuran parameter fisika airtanah meliputi kedalaman muka airtanah, daya hantar listrik (DHL), pH dan suhu. Alat pengukuran parameter tersebut menggunakan alat penguji air TOA dan tiap titik pengamatan



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian.

dilakukan perekaman koordinat menggunakan *global positioning system* (GPS). Sebanyak 11 sampel airtanah dari keseluruhan stasiun pengamatan tersebut dilakukan analisis di laboratorium Teknik Lingkungan ITB. Metode analisis kimia air di laboratorium didasarkan pada standar metode pengujian air dan air limbah (Eaton et al., 1999). Untuk mengetahui kualitas hasil analisis tersebut dilakukan perhitungan *charge balance error* (CBE) dengan rumus (Freeze and Cherry, 1979):

$$CBE = \frac{\sum Zm_c - \sum Zm_a}{\sum Zm_c + \sum Zm_a} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- Z : valensi ion
- m_c : molalitas kation
- m_a : molalitas anion

Parameter kimia yang dilakukan analisis meliputi Kalsium (Ca²⁺), Magnesium (Mg²⁺), Natrium (Na²⁺), Kalium (K⁺), Bikarbonat (HCO³⁻), Klorida (Cl⁻), Sulfat (SO₄²⁻), Besi (Fe²⁺), Mangan (Mn²⁺), Flor (F⁻), Nitrat (NO₃⁻), Nitrit (NO₂⁻) dan Kalium Karbonat (CaCO₃). Perhitungan *Water Quality Index* (WQI) terbagi atas 3 langkah perhitungan, tahapan pertama masing-masing dari 9 parameter (Kandungan padatan terlarut/TDS, Cl, HCO₃, SO₄, NO₃, Ca, Mg, Na, K) yang diberikan bobot sesuai dengan WHO standar untuk air minum (Tabel 1). Perhitungan WQI (*Water Quality Index*) langkah pertama yaitu menentukan nilai SI untuk setiap parameter kimia menggunakan persamaan (1), setelah itu menentukan nilai WQI menggunakan persamaan di bawah ini (2):

$$SI = Wixqi \dots\dots\dots(2)$$

$$WQI = \sum SIi \dots\dots\dots(3)$$

Notasi S_i merupakan *sub-index* dari masing-masing parameter, W_i merupakan bobot relative dan q_i merupakan peringkat berdasarkan konsentrasi setiap parameter dan i merupakan nomor sampel.

Tabel 1. Bobot (w_i) dan bobot relatif (W_i) setiap parameter kimia.

Parameter	Standar WHO	Bobot (w_i)	Bobot relatif (W_i)
pH	8,5	3	0,103
TDS	500	5	0,179
Cl	250	5	0,179
SO ₄	250	5	0,179
Na	200	4	0,143
K	12	2	0,071
HCO ₃	120	1	0,036
Ca	75	3	0,107
Mg	50	3	0,107

Perhitungan nilai WQI biasanya diklasifikasikan kedalam lima kategori (Tabel 2) yang meliputi: sangat baik, baik, buruk, sangat buruk dan tidak layak untuk dikonsumsi manusia (Sahu and Sikdar, 2008). Prosedur perhitungan nilai WQI telah banyak dijelaskan oleh beberapa penulis lainnya (Dwivedi and Pathak 2007; Saeedi et al., 2010; Yidana and Yidana 2009).

Tabel 2. Klasifikasi kualitas air tanah berdasarkan nilai WQI.

Kisaran Nilai WQI	Tipe Air
<50	Sangat baik
50-100.1	Baik
100-200.1	Buruk
200-300.1	Sangat buruk
>300	Tidak layak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrogeokimia Airtanah

Parameter fisika kimia air tanah daerah penelitian berdasarkan 11 sampel air tanah, menunjukkan dominasi kation air tanah $Ca > Mg > Na > K$ pada sebagian besar sampel. Hasil analisis kation menunjukkan bahwa dalam semua tipe unsur Ca mendominasi, diikuti oleh Mg, Na dan K. Kondisi tersebut merupakan pengaruh faktor hidrokimia yang dimiliki, terutama berasal dari formasi geologi daerah penelitian (Kumar *et al.*, 2014). Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa ion Cl^- , Ca^{2+} , HCO_3^- dan Mg^{3+} merupakan ion yang mendominasi pada sampel air. Hal ini menunjukkan bahwa ion-ion tersebut

kemungkinan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti litologi, lokasi pengambilan sampel dan parameter lainnya (Setiawan, 2014).

Tabel 3. Statistik parameter fisika kimia airtanah.

Parameters	Maks	Min	Rata-rata
TDS mg/l	753	25,9	371,57
DHL	1075	54,9	539,42
Salinitas	0,05	0,01	0,03
pH	7,8	6,71	7,28
Ca ²⁺	180	57,3	91,16
Mg ⁺	343	0,549	48,36
Cl ⁻	3728	5,58	453,84
Na ⁺	2018	5,5	27,71
K ⁺	13,8	1,8	5,51
HCO ₃ ⁻	427	5,05	251,78
SO ₄	194	0,022	23,04

Nilai *charge balance error* (CBE) dari sembilan contoh berdasarkan persamaan (1) memiliki harga CBE antara -7,91% hingga 8,71% dengan rata-rata sebesar 1,81%. Dari 11 percontohan tersebut, terdapat 1 sampel yang memiliki harga CBE lebih besar dari 5%. Harga CBE yang dapat diterima apabila <5% (Freeze and Cherry, 1979). Menurut Kehew, 2001 harga CBE lebih besar dari 5% selain disebabkan oleh kesalahan yang terjadi selama analisis, juga dapat disebabkan oleh adanya kation atau anion dengan konsentrasi relatif besar yang tidak teranalisis.

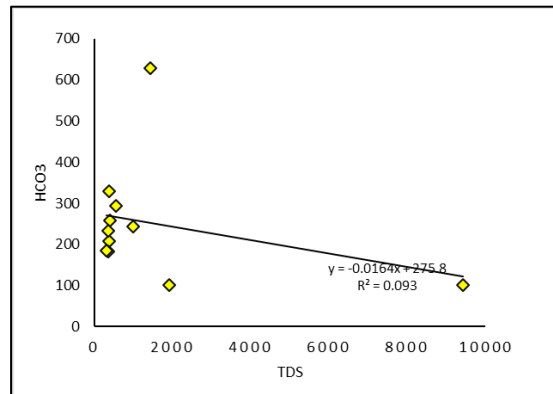
Nilai Cl merupakan unsur anion yang mendominasi area penelitian dengan rata-rata 453,84 mg/l. Konsentrasi maksimum nilai Cl ditemukan di sepanjang pesisir Kec.Pademawu yang berbatasan dengan laut dan merupakan area pertanian garam. Kondisi tersebut mengindikasikan asal-usul unsur Cl dapat dipengaruhi oleh proses penyusupan air laut maupun infiltrasi endapan garam ke dalam tanah serta bisa disebabkan oleh limbah industri atau domestik (Kumar *et al.*, 2014).

Nilai rata-rata unsur SO₄ mencapai 23,04 mg/l dengan konsentrasi tertinggi berada pada area pesisir. Kondisi tersebut hasil dari proses

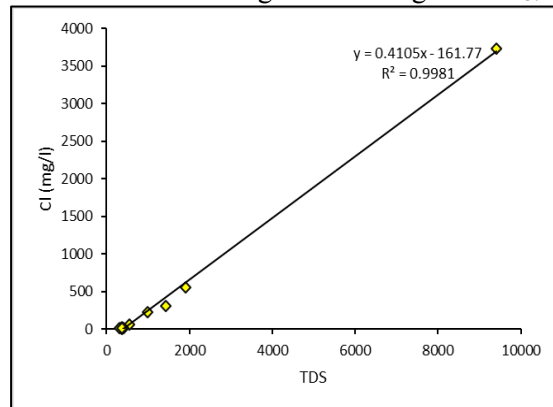
pencucian dan aktivitas antropogenik (Revelle, 1941). $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ merupakan tipe yang merepresentasikan daerah penelitian sebesar 82% dari keseluruhan sampel yang dianalisis. $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ dan $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ masing-masing bernilai 18% dan 0%. Hasil analisis anion tersebut membuktikan bahwa daerah penelitian terkena intrusi air laut atau infiltrasi air tambak garam yang dicirikan oleh persentase tinggi nilai HCO_3 dan Cl. Reaksi dominan dan proses geokimia yang mengendalikan kimia air tanah dapat diidentifikasi menggunakan rasio molar ion. Secara umum HCO_3 dalam sistem air tanah mewakili air tawar, sedangkan konsentrasi Cl adalah sebagian besar dikendalikan oleh air laut (Kumar et al., 2014).

Hasil grafik hubungan antara TDS dengan Cl dan HCO_3 pada daerah penelitian menunjukkan korelasi positif, namun nilai korelasi yang mendekati 1 berada pada grafik hubungan TDS terhadap Cl (Gambar 3a, b). Berdasarkan grafik korelasi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa sistem air tanah tidak tertekan di daerah penelitian dikendalikan oleh pengaruh air laut. Keberadaan tambak garam disekitar lokasi sumur-sumur gali dapat dijadikan sebagai salah satu faktor pemicu sistem air tanah di daerah pesisir Pademawu dan sekitarnya terpengaruh proses infiltrasi air laut. Selain itu banyak sampel yang menunjukkan grafik hubungan linear untuk unsur Na terhadap Cl yang mengindikasikan beberapa sampel air tanah dipengaruhi oleh air laut (Gambar 3c).

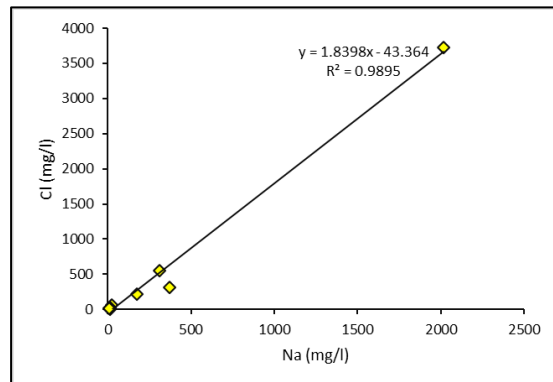
Nilai rasio Cl/HCO_3 , memperlihatkan nilai $< 0,5$ hampir di seluruh sampel air tanah daerah penelitian, kecuali pada tiga percontoh dengan nilai rasio $> 0,5$ (Gambar 4a). Nilai rasio $\text{Cl}/\text{HCO}_3 < 0,5$ dapat diinterpretasikan bahwa air tanah tidak dipengaruhi oleh air laut (Revelle, 1941). Hasil rasio Na/Cl pada daerah penelitian menunjukkan terdapat 2 sampel air tanah memiliki rasio $\text{Na}/\text{Cl} > 1$. Kondisi nilai rasio tersebut mengindikasikan bahwa sampel air tanah mengalami proses hidrolisis (He et al., 2013). Air tanah relatif mengalami perjalanan jauh, tetapi tidak atau sedikit terpengaruhi air laut. Sampel air tanah dengan nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} < 1$ terdapat 9 sampel yang mengindikasikan adanya proses pencampuran air laut ke dalam akuifer (Shammas and Jacks, 2007). Secara umum nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} < 1$ didominasi oleh sampel air tanah yang berada di kawasan pesisir Kec Pademawu yang merupakan kawasan pemukiman dan pertanian garam dengan jarak



Gambar 3a. Hubungan TDS dengan HCO_3 .

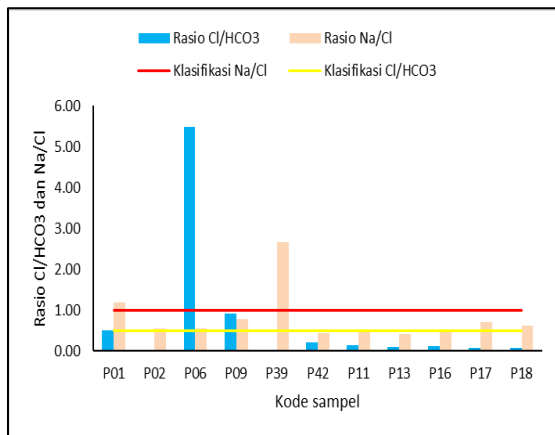


Gambar 3b. Hubungan TDS dengan Cl.

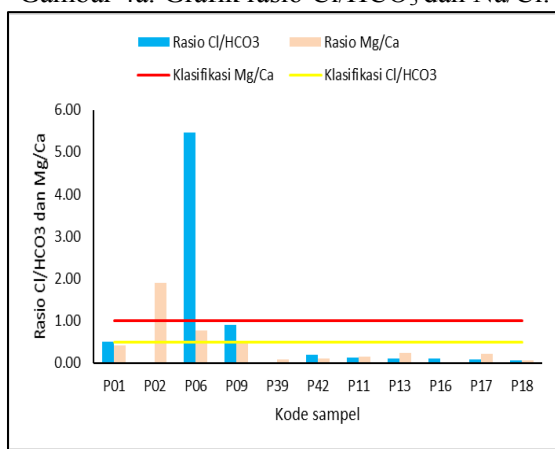


Gambar 3c. Hubungan Na dengan Cl.

< 1 km dari garis pantai. Kondisi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa dekatnya jarak antara sumur air tanah dengan garis pantai menyebabkan air tanah pada sumur gali tersebut mengalami proses pencampuran dengan air laut. (Gambar 4b). Namun berdasarkan nilai rasio Mg/Ca didominasi nilai rasio < 1 (Gambar 4b) hal tersebut mengindikasikan bahwa air tanah di daerah penelitian belum terjadi intrusi air laut kedalam akuifer. Hal tersebut dapat diartikan bahwa proses nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} < 1$ bukan pengaruh intrusi air laut



Gambar 4a. Grafik rasio Cl/HCO₃ dan Na/Cl.



Gambar 4b. Grafik rasio Cl/HCO₃ dan Mg/Ca.

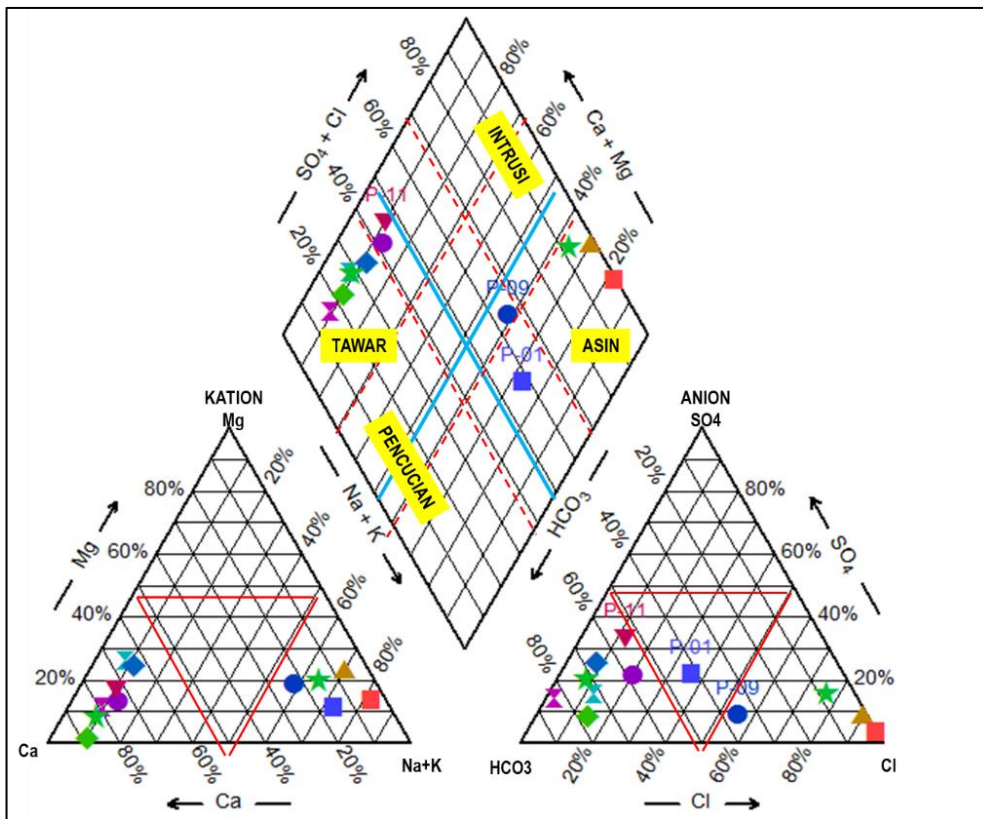
namun dipengaruhi oleh proses infiltrasi air laut pada pertanian garam kedalam akuifer.

Fasies Hidrogeokimia

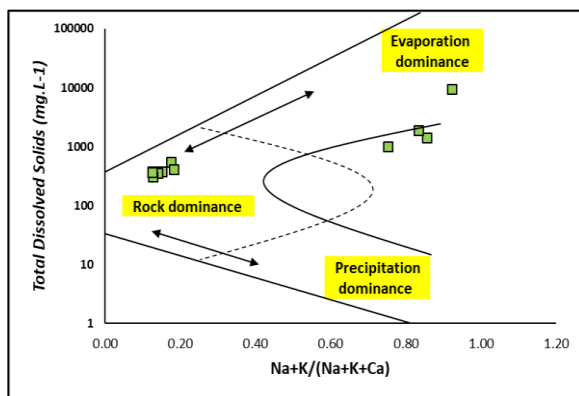
Hasil analisis kimia, fasies air tanah di daerah penelitian terbagi menjadi 3 jenis fasies air tanah (Gambar 5). Fasies air tanah daerah penelitian meliputi fasies Ca-HCO₃, Na-HCO₃ dan Na-Cl, penentuan fasies air tanah tersebut berdasarkan urutan nilai masing-masing kation dan anion yang dominan. Secara umum fasies hidrokimia daerah penelitian didominasi tipe Ca-HCO₃ sebanyak 64% dari keseluruhan sampel airtanah, selanjutnya tipe Na-Cl (27%) dan tipe Na-HCO₃ (8%). Tipe fasies airtanah Ca-HCO₃ berada pada area litologi Formasi Pamekasan (Qpp) tersusun atas konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping, sedangkan fasies Na-Cl dan Na-HCO₃ tersusun atas material endapan alluvial (Qa) (Setiawan et al., 2010). Fasies Ca-HCO₃ menunjukkan bahwa air dominan telah berinteraksi dengan batugamping dan batugamping dolomitan (Setiawan et al., 2010).

Air tanah jenis ini juga memiliki komposisi kimia yang mirip dengan air hujan (Siftianida et al., 2016). Air dengan kandungan bikarbonat umumnya berasal dari air tanah dangkal dan jenis air tanah muda. Sumber utama ion HCO₃ dalam air tanah adalah CO₂ terlarut dalam air hujan dan ketika terinfiltrasi pada lapisan tanah akan melarutkan lebih banyak lagi CO₂ (Muchammad et al., 2017). Peningkatan suhu atau penurunan tekanan menyebabkan penurunan kelarutan CO₂ dalam air, penguraian bahan organik dan SO₄ oleh bakteri memungkinkan melepas CO₂ selama proses disolusi. Air berubah dengan pelarutan mineral karbonat oleh CO₂ yang melewati tanah dan batuan, sehingga menghasilkan HCO₃. Air berubah dengan CO₂ terlarut mineral karbonat melewati tanah dan batuan, melepaskan HCO₃ (Ramesh and Jagadeeswari, 2013). Tipe air Ca(HCO₃)₂ merupakan tipe air tawar yang belum terkontaminasi air laut, artinya tipe ini menjadikan indikasi air tanah yang berasal dari sumber asal air tanah. Tipe fasies Na-Cl berdasarkan asal usul Cl yang terkandung dalam air tanah dapat dikaitkan dengan air laut yang kaya akan Na-Cl mencemari ke dalam akuifer. Evolusi hidrogeokimia dari fasies Ca-HCO₃ kemudian mengalami perubahan menjadi fasies Na-HCO₃, dan berakhir menjadi fasies Na-Cl. Jenis fasies Na-Cl berhubungan dengan batuan penyusun berupa Endapan Aluvial (Qa) dan berada pada kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan laut dan area pertanian garam. Selain itu fasies Na-Cl dipengaruhi oleh faktor jarak terhadap laut dan area tambak garam. Tipe fasies Ca-HCO₃ yang merupakan ciri khas pada air tanah tawar dan relatif berada pada kedalaman dangkal. Fasies Ca-HCO₃ menunjukkan bahwa air dominan telah berinteraksi dengan batugamping dan batugamping dolomitan (Setiawan et al., 2010).

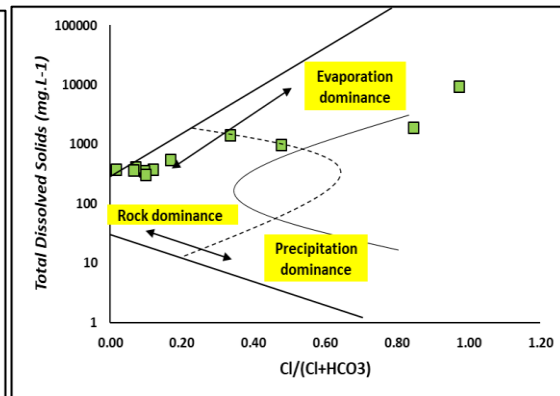
Sejumlah proses selain pertukaran ion juga dapat ditemukan selama pergerakan bawah permukaan airtanah. Metode yang paling logis untuk mengidentifikasi proses umur relatif seperti faktor penguapan, litologi (formasi) dan curah hujan adalah plot Gibb's (Gibbs, 1970). Hasil plot dari data geokimia pada diagram Gibb's yang memperlihatkan rasio dari Na⁺⁺ K⁺⁺/(Na⁺⁺ K⁺⁺ Ca²⁺) untuk kation dan Cl/(Cl+HCO₃) untuk anion (Gambar 6a, b). Diagram Gibb's relatif digunakan untuk mengetahui hubungan antara komposisi airtanah dengan karakteristik litologi akuifer (Gibbs, 1970). Dominasi curah hujan, dominasi



Gambar 5. Diagram piper fasies airtanah daerah penelitian.



Gambar 6a. Gibbs rasio I untuk kation.



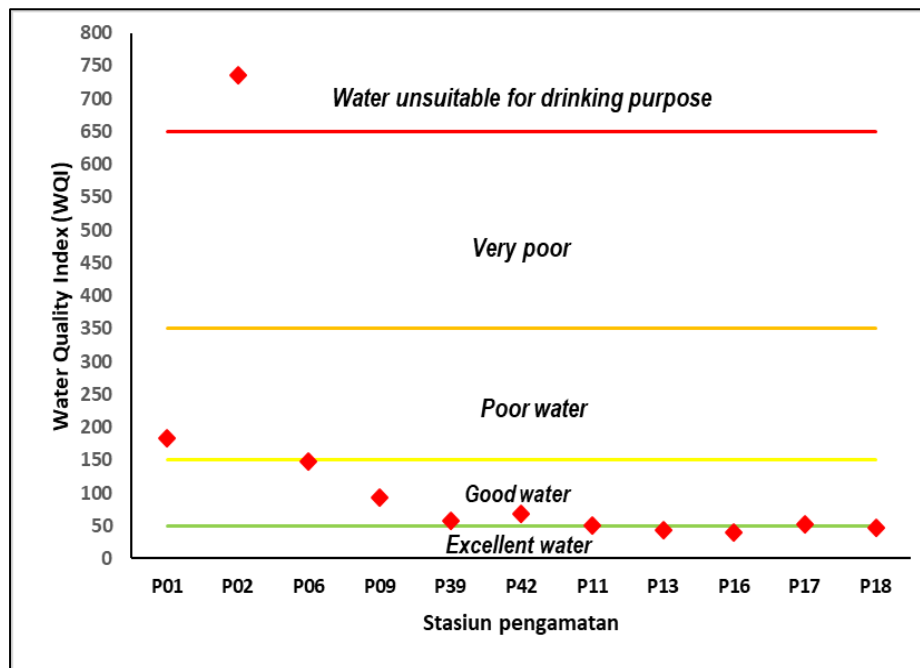
Gambar 6b. Gibbs rasio II untuk anion.

penguapan dan dominasi interaksi batuan dengan air tanah adalah tiga bidang yang berbeda dari plot Gibbs diagram. Interaksi batuan dengan air tanah mendominasi area penelitian, hal tersebut menunjukkan interaksi antara kimia batuan dan kimia dari proses perkolasi air tanah.

Klasifikasi Kualitas Air tanah

WQI (Water Quality Index) didefinisikan sebagai teknik penilaian yang memberikan pengaruh gabungan dari masing-masing parameter kualitas air pada kualitas air secara keseluruhan untuk

konsumsi manusia (Mitra et al., 2006). Parameter kualitas air tanah yang digunakan sesuai dengan ketersediaan data serta parameter yang relatif penting dalam menentukan kualitas air untuk konsumsi manusia. Standar yang ditetapkan untuk penilaian kategori kualitas air sesuai dengan pedoman WHO (WHO 2008). Perhitungan WQI dimulai dengan menentukan bobot ke parameter yang diukur berdasarkan tingkat kepentingannya. Hasil perhitungan WQI pada daerah penelitian menghasilkan nilai dengan rentang 39,01 – 736,42 sehingga masuk dalam 4 tipe kategori kualitas air



Gambar 7. Klasifikasi WQI daerah penelitian.

tanah sangat baik (excellent), kategori baik (good water), kategori buruk (poor water) dan kategori tidak layak untuk menjadi air minum (Gambar 7).

Secara umum kategori air tanah di kawasan pesisir Pademawu didominasi oleh kategori air tanah baik (good) sebanyak 45,45% dari keseluruhan sampel di daerah penelitian. Kategori sangat baik (excellent) 27,28%, kategori buruk 18,18% (poor water) dan satu contoh air tanah (9,09%) di sumur warga di sekitar area pertanian garam masuk kategori air tanah tidak layak untuk digunakan sebagai air minum (water unsuitable for drinking purpose). Klasifikasi index kualitas air tanah di daerah penelitian pada area pesisir dan kawasan pertanian garam didominasi kategori baik hingga tidak layak, sumur gali yang berdekatan dengan tambak garam masuk dalam kategori tidak layak untuk air minum (P02). Area yang tidak berbatasan dengan kawasan tambak garam masuk dalam kategori air tanah yang baik hingga sangat baik. Area tersebut berada dibagian utara dari pesisir Kec. Pademawu, area tersebut banyak digunakan sebagai pertanian tembakau oleh masyarakat sekitar.

Beberapa sumber air tanah yang berasal dari sumur produksi di area penelitian (P42, P11, P13) masuk dalam kategori sangat baik hingga baik. Namun hal tersebut selain jarak yang jauh dari

pesisir dan pertanian garam, sumur-sumur produksi tersebut mengambil air tanah, sehingga kontaminasi dari permukaan, baik secara antropogenik maupun alami tidak mempengaruhi akuifer tersebut. Area utara daerah penelitian juga tersusun atas litologi Formasi Pamekasan (Qpp) yang terdiri atas batupasir dan batugamping, sehingga kemungkinan besar akuifer hanya dipengaruhi oleh proses reaksi kimia batuan terhadap airtanah. Sumur-sumur produksi yang ada di daerah penelitian digunakan oleh warga untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, sehingga masyarakat pesisir Kecamatan Pademawu yang memiliki air sumur dengan rasa payau hingga asin, dapat menggunakan air sumur produksi tersebut.

KESIMPULAN

Komposisi kimia air tanah di kawasan pesisir Pademawu menunjukkan dominasi kation air tanah $Ca > Mg > Na > K$. Konsentrasi maksimum ion Cl ditemukan di sepanjang pesisir Kec. Pademawu, yang mengindikasikan proses infiltrasi endapan air garam ke dalam tanah. Sistem air tanah di daerah penelitian dikendalikan oleh pengaruh air tambak garam berdasarkan korelasi TDS terhadap Cl dan HCO_3 . Fasies airtanah daerah penelitian meliputi fasies $Ca-HCO_3$, $Na-HCO_3$ dan $Na-Cl$. Nilai rasio $Na/Cl < 1$ didominasi oleh sampel airtanah yang berada di

kawasan pemukiman dan pertanian garam. Kawasan tersebut berjarak <50m dari lokasi tambak garam dan <0.5km dari garis pantai, yang mengindikasikan adanya proses pencampuran air garam ke dalam akuifer. Klasifikasi indeks kualitas air tanah di area pesisir dan kawasan pertanian garam didominasi kategori baik hingga tidak layak. Sumur gali yang berdekatan dengan tambak garam masuk dalam kategori tidak layak sebagai sumber air minum.

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 Pesisir Pademawu. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Gunardi Kusumah M.T dan tim peneliti Geoteknologi LIPI Bandung yaitu Prof. Robert M Delinom, Dr Rachmat Fajar Lubis dan Ananta P, M.T yang telah membimbing kami baik di lapangan maupun pada saat proses pengolahan data. Ucapan terimakasih juga tidak lupa diucapkan kepada seluruh warga Kecamatan Pesisir Pademawu dan segenap staf Instalasi Pengolahan Sumber Daya Air Laut (IPSAL) Madura yang telah membantu dalam proses pengambilan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Abu-alnaeem, M. F., Yusoff, I., Ng, T. F., Alias, Y., Raksmeiy, M., 2018. Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study. *Sci. Total Environ.* 615, 972–989. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.320

Chatterjee, R., Tarafder, G., Paul, S., 2010. Groundwater quality assessment of Dhanbad district, Jharkhand, India. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 69, 137–141. DOI: 10.1007/s10064-009-0234-x

Citrayati, N., Antariksa, Titisari, E. Y., 2008. Permukiman Masyarakat Petani Garam Di Desa Pinggir Papas, Kabupaten Sumenep. *Arsit. E-Journal* 1, 1–14.

Dwivedi, S. L., Pathak, V., 2007. A preliminary assignment of water quality index to Mandakini River, Chitrakoot. *Indian J. Environ. Prot.* 27, 1036–1038.

Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E., 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, ProcAmerPubHhealth Ass.

Efendy, M., Sidik, R. F., Muhsoni, F. F., 2014. Pemetaan potensi pengembangan lahan tambak garam di pesisir utara kabupaten pamekasan. *J. Kelaut.* 7, 1–11.

Ferguson, G., Gleeson, T., 2012. Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nat. Clim. Chang.* DOI: 10.1038/nclimate1413

Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall.

Gemilang, W. A., Kusumah, G., 2016. Gejala Intrusi Air Laut Di Daerah Pesisir Padelegan, Pademawu Dan Sekitarnya. *J. Kelaut. Indones. J. Mar. Sci. Technol.* 9, 99–106.

Gibbs, R. J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science* (80-.). 170, 1088–1090. DOI: 10.1126/science.170.3962.1088

Gopinath, S., Srinivasamoorthy, K., Vasanthavigar, M., Saravanan, K., Prakash, R., Suma, C. S., Senthilnathan, D., 2018. Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in parts of Nagapattinam district of Tamil Nadu and the Union Territory of Puducherry, India. *Carbonates and Evaporites* 33. DOI: 10.1007/s13146-016-0300-y

He, H. Y., Li, X. G., 2013. Hydrochemical characteristics and evolution laws of shallow groundwater in Shuangliao city. *J. Chem. Pharm. Res.* 5, 283–288.

Huang, G., Sun, J., Zhang, Y., Chen, Z., Liu, F., 2013. Impact of anthropogenic and natural processes on the evolution of groundwater chemistry in a rapidly urbanized coastal area, South China. *Sci. Total Environ.* 463–464, 209–221. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.05.078

Huizer, S., Radermacher, M., De Vries, S., Oude Essink, G. H. P., Bierkens, M. F. P., 2018. Impact of coastal forcing and groundwater recharge on the growth of a

- fresh groundwater lens in a mega-scale beach nourishment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 1065–1080. DOI: 10.5194/hess-22-1065-2018
- Krishan, G., Singh, S., Cp, K., Pk, G., Gurjar, S., Nc, G., Chaudhary, A., 2016. Assessment of Groundwater Quality for Drinking Purpose by Using Water Quality Index (WQI) in Muzaffarnagar and Shamli Districts , Uttar Pradesh , 7, 1–4.
- Kumar, P. J. S., Elango, L., James, E. J., 2014. Assessment of hydrochemistry and groundwater quality in the coastal area of South Chennai, India. *Arab. J. Geosci.* 7, 2641–2653. DOI: 10.1007/s12517-013-0940-3
- Michael, H. A., Post, V. E. A., Wilson, A. M., Werner, A.D., 2017. Science, society, and the coastal groundwater squeeze. *Water Resour. Res.* DOI: 10.1002/2017WR020851
- Mitra, B. K., Sasaki, C., Keijirou, E., 2006. Spatial and Temporal Variation of Ground Water Quality in Sand Dune Area of Aomori Prefecture in Japan. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* 1. DOI: 10.13031/2013.20673
- Mohammed, E., Abdennabi, E., Mahjoub, H., Albert, C., Boubker, E., 2012. Messinian salinity crisis impact on the groundwater quality in Kert aquifer NE Morocco: Hydrochemical and statistical approaches. *Int. J. Water Resour. Environ. Eng.* 4, 339–351. DOI: 10.5897/IJWREE12.002
- Muchammad, A. N., Alam, B. Y. C. S., Yuningsih, E. T., 2017. Hidrogeokimia Airtanah Pada Daerah Pantai: Studi Kasus Dataran Rendah Katak, Desa Sumber Agung, Kabupaten Banyuwangi. *Ris. Geol. dan Pertamb.* 27, 39–46. DOI: 10.14203/risetgeotam2017.v27.442
- Mustapha, A., Zaharin Aris, A., Juahir, H., Firuz Ramli, M., 2012. Surface water quality contamination source apportionment and physicochemical characterization at the upper section of the Jakara Basin, Nigeria. *Arab. J. Geosci.* 6, 4903–4915. DOI: 10.1007/s12517-012-0731-2
- Poespowardoyo, S. R., 1986. Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar VIII Surabaya (Jawa). Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., Ranganna, G., 2009. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur taluk, Karnataka state, India. *E-Journal Chem.* 6, 523–530. DOI: 10.1155/2009/757424
- Ramesh, K., Jagadeeswari, P. B., 2013. Contamination of Groundwater Due to Solid Waste Disposal and Textile Effluent in and Around Erode City, Tamil Nadu. *Int. J. Res. Chem. Environ.* 3, 262–271.
- Revelle, R., 1941. Criteria for recognition of the sea water in ground-waters. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union* 22, 593–597. DOI: 10.1029/TR022i003p00593
- Saeedi, M., Abessi, O., Sharifi, F., Meraji, H., 2010. Development of groundwater quality index. *Environ. Monit. Assess.* 163, 327–335. DOI: 10.1007/s10661-009-0837-5
- Sahu, P., Sikdar, P. K., 2008. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. *Environ. Geol.* 55, 823–835. DOI: 10.1007/s00254-007-1034-x
- Setiawan, T., 2014. Proses hidrogeokimia pengontrol salinitas air tanah tidak tertekan di utara Cekungan Air Tanah Jakarta. *J. Lingkung. Dan Bencana Geol.* 5, 39–51.
- Setiawan, T., P, D. J., Brahmantyo, B., Irawan, D.E., 2010. Analisis Hidrokimia Untuk Interpretasi Sistem Hidrogeologi Daerah Kars. *Widyariset* 13, 1–8.
- Shammas, M. I., Jacks, G., 2007. Seawater intrusion in the Salalah plain aquifer, Oman, in: *Environmental Geology*. pp. 575–587. DOI: 10.1007/s00254-007-0673-2
- Siftianida, I. I., Wijatna, A. B., Pratikno, B., 2016. Aplikasi Isotop untuk Pendugaan

Daerah Resapan Air Mata Air di Kecamatan Cijeruk, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi* 12, 97–106.

Situmorang, R. L., Agustianto, D. A., Suparman, M., 1992. Peta Geologi Lembar Waru-Sumenep, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Yidana, S. M., Yidana, A., 2009. Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environ. Earth Sci.* 59, 1461–1473. DOI: 10.1007/s12665-009-0132-3