

Identifikasi Kontaminasi Air Tanah Oleh Polutan Cl⁻ di Kawasan Pertanian Garam, Kecamatan Pademawu, Pamekasan, Madura Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Identification of Groundwater Contaminated by Cl⁻ Pollutant in Salt Pond Pademawu Sub-District, Pamekasan, Madura, Using Specific Resistance Geo-Electricity Method

WISNU A. GEMILANG^{1*}, ULUNG J. WISHA¹, GUNARDI KUSUMAH²

¹Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir
Jalan Raya Padang-Painan Km,16, Bungus, Padang, Sumatera Barat

²Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman RI
JI M.H. Thamrin No.8 – 1340, Jakarta Pusat
Email: wisnu.gemilang@yahoo.co.id

ABSTRACT

Pademawu Sub-District consist of salt ponds reached 740.96 Ha that is the second largest area in Pamekasan. Land-use overlapping problems between salt ponds and settlement influence the environmental degradation enhancement. The presence of salt ponds is indicated as the cause of increased salinity in well-water around the settlement so that the well-water is salty. To determine the influence of salt pond on groundwater pollution, the information regarding surface characteristics as well as the profile beneath the surface is essential. The method consisted of a hydro-geology survey, hydrochemistry, and geophysics (Geo-Electricity method). The type of groundwater is predominated by chloride (Na-Cl) and carbonate (Na-HCO₃, Ca-HCO₃). Based on groundwater chemistry element calculation, it is observed that there is an influence of salt pond infiltration on groundwater aquifer. The conductivity of groundwater ranged from 15,000–50,000 μ S/cm (categorized into salty water). The specific resistance value of rocks beneath the surface varied between 0.1–300 that is usual in either coastal or alluvial area. The low value of specific resistance associated with alluvial lithology consisted of either brackish water or salt water expected the result of salt pond filtration. The depth of surface saltwater contaminating the aquifer layer ranged from 5 up to 30 meters. The presence of salt ponds influences the level of contamination of Cl⁻ pollutant in shallow groundwater in Pademawu Sub-District, Madura, so it is necessary to re-arrange the land-use system in the coastal area.

Keyword: groundwater pollution, salt pond, Pademawu Sub-District, Specific resistance Geo-Electricity

ABSTRAK

Kecamatan Pademawu terdiri atas kawasan tambak garam seluas 740,96 Ha yang merupakan wilayah terluas kedua di Pamekasan. Pemasalahan tumpang tindih jenis pemanfaatan lahan tambak garam dengan lahan pemukiman berpengaruh terhadap peningkatan degradasi lingkungan. Keberadaan tambak garam diindikasikan sebagai penyebab meningkatnya kadar salinitas pada air sumur di sekitar pemukiman sehingga air sumur terasa asin. Untuk mengetahui pengaruh keberadaan tambak garam terhadap pencemaran air tanah, dibutuhkan informasi mengenai karakteristik permukaan maupun profil bawah permukaan. Metode penelitian yang dipakai terdiri atas survei hidrogeologi, hidrokimia dan geofisika (metode geolistrik). Tipe air tanah didominasi oleh tipe klorida (Na-Cl) dan karbonat (Na-HCO₃, Ca-HCO₃), hasil perhitungan rasio unsur kimia air tanah menunjukkan adanya pengaruh infiltrasi air tambak garam kedalam akuifer air tanah. Nilai DHL air tanah daerah penelitian didominasi nilai dengan kisaran 15.000–50.000 μ S/cm dan masuk dalam sifat air asin. Nilai tahanan jenis batuan bawah permukaan bervariasi antara 0,1–300 Ω m yang umum dimiliki pada kawasan pesisir atau alluvial. Nilai tahanan jenis rendah berasosiasi dengan litologi alluvial yang terdiri atas air payau atau air asin yang diduga hasil infiltrasi dari air tambak garam. Kedalaman muka air asin yang mencemari lapisan akuifer berada pada kisaran kedalaman 5 hingga 30 m. Keberadaan tambak garam memberi pengaruh terhadap tingkat pencemaran polutan Cl⁻ pada air tanah dangkal yang ada di Kecamatan Pademawu, Madura, sehingga dibutuhkan penataan ulang sistem tata guna lahan di kawasan pesisir tersebut.

Kata kunci: pencemaran air tanah, tambak garam, Kecamatan Pademawu, Geolistrik tahanan jenis

1. PENDAHULUAN

Pulau Madura memiliki banyak potensi, baik sumber daya alam maupun budaya. Mata pencaharian masyarakat Madura daerah pesisir yaitu sebagai nelayan dan petani garam. Usaha pertanian garam yang diusahakan masyarakat, berada pada kawasan Madura Timur dan bagian Selatan, mengingat curah hujan yang lebih rendah di kawasan tersebut⁽¹⁾.

Pesisir Selatan Madura dalam memproduksi garam memanfaatkan potensi geografis dengan kemudahan memperoleh bahan baku air laut dari Selat Madura. Penggunaan lahan Kabupaten Pamekasan berdasarkan hasil pengamatan dari citra satelit ALOS tahun 2012 dengan skala 1:50.000 diklasifikasikan dalam delapan kelas. Pembagian penggunaan lahan di Kabupaten Pamekasan meliputi area 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)⁽²⁾. 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 pemukiman yang disesuaikan dengan kondisi mata pencaharian yang mereka tekuni⁽¹⁾.

Kawasan pemukiman yang berdampingan dengan lahan pertanian garam di Kecamatan Pademawu dapat menimbulkan beberapa dampak dan ancaman pencemaran lingkungan. Salah satu ancaman utama yang dihadapi yaitu terjadinya pencemaran air tanah oleh polutan Cl dan degradasi akibat aktivitas manusia, sehingga membuat air tawar menjadi langka⁽³⁾.

Pola pembentukan tata ruang yang terjadi dipengaruhi letak tambak garam yang cenderung mengelilingi pemukiman dapat menjadi pemicu terjadinya degradasi lingkungan. Degradasi lingkungan merupakan salah satu masalah pelik sekaligus yang dihadapi oleh pemerintah propinsi/kabupaten/kota, khususnya di daerah pesisir dan pantai yang diduga akibat pesatnya perkembangan wilayah oleh berbagai hal⁽⁴⁾.

Permasalahan tumpang tindih wilayah pemanfaatan lahan yang terjadi di daerah daratan di sekitar pesisir sebagai tambak garam dengan pemukiman berpengaruh terhadap meningkatnya degradasi lingkungan di sekitar pesisir dan pantai. Dari segi kualitas, saat ini telah terjadi penurunan kualitas air yang cukup

signifikan. Pencemaran akibat limbah domestik dan industri bukan saja terjadi pada air sungai, tetapi juga dapat disebabkan oleh air tanah asin yang berada di daratan.

Keberadaan tambak garam yang ada di beberapa wilayah pesisir menjadi permasalahan yang cukup serius. Adanya tambak garam mengindikasikan terjadinya peningkatan kadar salinitas pada air sumur dan mencemari keberadaan air tanah sehingga air sumur terasa asin. Pencitraan tahanan jenis listrik 2D telah berhasil digunakan untuk mendeteksi batuan dasar, pemetaan geologi dan penyelidikan air tanah^(5,6). Metode geolistrik bisa digunakan untuk menentukan distribusi tahanan jenis bawah permukaan. Teknik pantulan gelombang elektrik vertikal menjadi salah satu metode paling sederhana yang diterapkan dalam penilaian air tanah saat ini⁽⁷⁾.

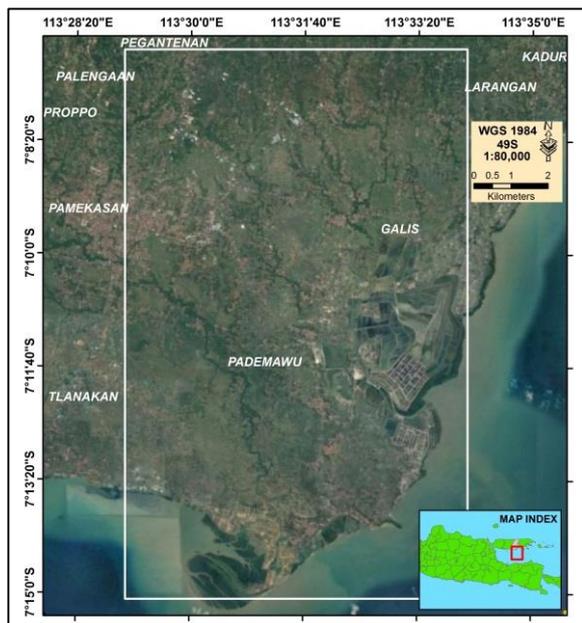
Oleh karena itu untuk memperkuat asumsi pengaruh keberadaan tambak garam terhadap kualitas air tanah di Kecamatan Pademawu diperlukan melakukan penelitian. Penelitian dengan menggunakan metode pengukuran tahanan jenis dipilih untuk mengetahui serta menggambarkan karakteristik akuifer air tanah dan identifikasi zona air tanah yang tercemar. Hasil interpretasi data tahanan jenis digunakan untuk membuktikan pengaruh keberadaan tambak garam terhadap perubahan kualitas air tanah di daerah Pademawu dan sekitarnya.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian termasuk 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° 14' 18,0" Lintang Selatan dan 113° 31' 48,5" Bujur Timur. Wilayah penelitian masuk dalam kawasan dengan kemiringan lereng 0°–15° dengan luasan 7.189 Ha.

Lokasi penelitian berada di pantai Selatan Kab. Pamekasan. Kondisi geologi pantai Selatan tersusun 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, batu pasir, batu lempung dan batu gamping (Gambar 2). Formasi batuan bagian Utara daerah penelitian dan juga merupakan wilayah yang memiliki sumber daya air tanah yang baik yaitu formasi Madura (Tpm) tersusun atas batu gamping terumbu dan batu gamping dolomitan⁽⁸⁾.

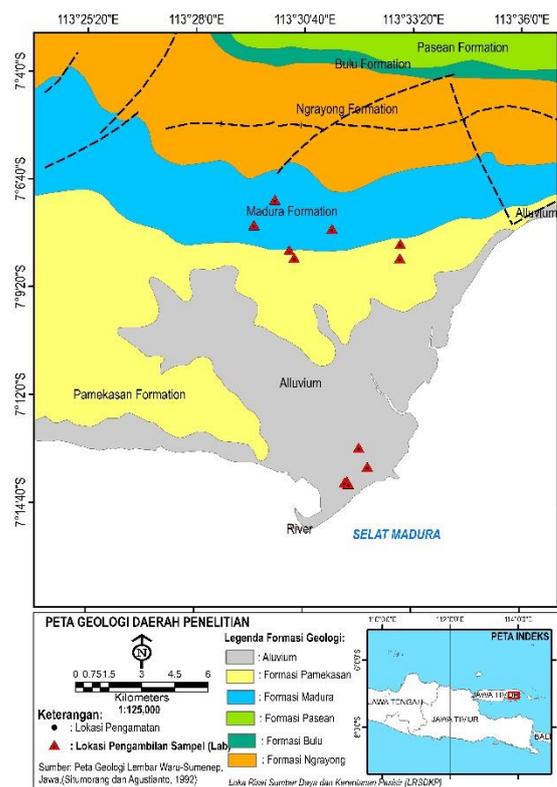


Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2 Survey Hidrogeologi dan Hidrokimia

Pemetaan serta pengukuran beberapa parameter hidrogeologi dilakukan terhadap 67 titik pengamatan baik berupa sumur gali milik warga maupun sumur produksi milik PDAM. Kegiatan survei 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 air tanah pada sumur gali penduduk menggunakan alat water level. Sementara parameter lainnya berupa DHL, pH dan suhu air diukur dilapangan dengan memakai alat *water checker*. Perekaman setiap titik lokasi pengamatan dan pengukuran menggunakan *hand-gps*.

Pengambilan sampel air tanah dilakukan terhadap 12 sampel yang berasal dan dikelompokkan menjadi air sumur gali penduduk, air sumur produksi dan air pada tambak garam. Percontohan air tersebut kemudian dianalisis di laboratorium Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Metode analisis kimia air di laboratorium didasarkan pada *standard methods for examination of water and wastewater*⁽⁹⁾. Parameter kimia yang dilakukan analisis meliputi Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , F^- , NO_2^- , NO_3^- dan $CaCO_3$. Beberapa parameter tersebut digunakan untuk menganalisis fasies hidrokimia air tanah di daerah penelitian.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

2.3 Survey Geolistrik Tahanan Jenis

Metode geolistrik menerapkan teknik yang berbeda dalam penyelidikannya dan instrumen yang digunakan bergantung pada sifat teknik yang digunakan dalam penyelidikan⁽¹⁰⁾. Hal tersebut sangat berguna dalam memberikan informasi rinci tentang ketebalan dan tahanan jenis yang berbeda pada lapisan bawah permukaan⁽¹¹⁾. Prinsip dasar pengukuran tahanan jenis yaitu merambatkan arus listrik dari sumber arus melalui dua buah elektroda ke dalam batuan⁽¹²⁾. Beda potensial yang diakibatkan oleh adanya perbedaan tahanan jenis batuan, diukur di permukaan melalui dua elektroda. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode dipole-dipole. Alat yang dipakai adalah *AGI Supersting R8/IP*. Sementara pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Earth Imager TM*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hidrogeologi Air tanah

Berdasarkan 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 batu gamping koral, dengan kelulusan kecil sampai sedang⁽¹³⁾. Jenis akuifer daerah penelitian masuk dalam kelompok akuifer produktivitas

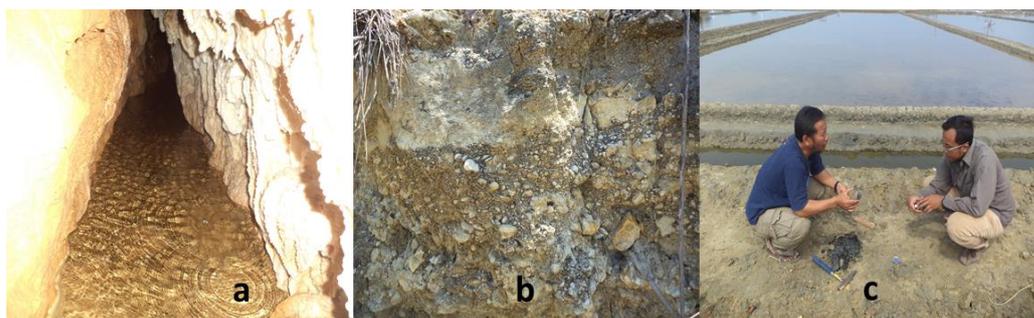
kecil dan daerah air tanah langka. Goa-goa yang ada dibagian Utara daerah penelitian merupakan tempat aliran air tanah hasil pelarutan dari batu gamping. Daerah penelitian bagian utara memiliki beberapa sumur bor yang berada tepat di sungai bawah tanah berproduktivitas sedang-sangat besar, setempat air tanah dalam jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah lembah atau zona pelapukan batuan padu.

Kedalaman muka air tanah yang ada di wilayah penelitian cukup bervariasi, sesuai dengan pembagian litologi penyusunnya. Wilayah yang tersusun atas litologi endapan alluvial memiliki kedalaman muka air tanah 1,98–7,2 m, sedangkan pada wilayah yang tersusun oleh formasi Pamekasan (Qpp) memiliki kedalaman 7,26–15,95 m. Semakin kearah utara daerah penelitian, kedalaman muka air tanah semakin dalam dengan litologi penyusun batu gamping 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. (Gambar 3a).

Beberapa lokasi mata air dan sumur bor yang ada dibagian utara dimanfaatkan sebagai sumur produksi. Di atas akuifer batu gamping terdapat endapan formasi Pamekasan berupa batupasir, batu gamping hasil pelapukan dari batuan yang lebih tua (Gambar 3b). Endapan alluvial dijumpai di daerah rendahan pinggir pantai, yang didominasi oleh endapan sungai/pantai dan batuan hasil pelapukan berupa batupasir, lanau hingga lempung (Gambar 3c). Air tanah bebas pada endapan alluvial bersifat payau hingga asin, sedangkan semakin kearah utara umumnya relatif bersifat lebih tawar.

Di daerah endapan alluvial atau dekat laut, merupakan lokasi terluas yang dimanfaatkan untuk pertanian garam, memiliki nilai DHL air tanah berkisar $15.000\text{--}50.000\mu\text{S}/\text{cm}^2$ yang mendominasi daerah penelitian. Sedangkan pada akuifer formasi Pamekasan (Qpp) memiliki nilai kisaran DHL $5.000\text{--}15.000\mu\text{S}/\text{cm}$, dan semakin ke utara cenderung rendah mencapai nilai $<1.500\mu\text{S}/\text{cm}$.



Gambar 3. Litologi penyusun akuifer

Bagian selatan daerah penelitian didominasi oleh akuifer produktif kecil hingga daerah langka air tanah, dan masuk dalam daerah air tanah payau atau asin⁽¹³⁾. Kedalaman air tanah di wilayah tersebut terhitung dangkal berkisar 2,1–9,7m, berbeda dengan bagian utara daerah penelitian yang didominasi oleh akuifer produktif kecil hingga akuifer produktif sedang dan luas sebarannya. Kedalaman air tanah dangkal di bagian utara mencapai 9,7–27m. Perbedaan jenis akuifer tersebut dipengaruhi oleh litologi penyusun daerah penelitian, dibagian selatan tersusun atas material endapan alluvial hasil pelapukan. Bagian Utara tersusun atas formasi Pamekasan (Qpp) dan formasi Madura (Tpm), berupa batu pasir, batu gamping terumbu maupun dolomitan yang lebih efektif menjadi akuifer air tanah.

Berbeda dengan air tanah di bagian utara, air tanah di bagian selatan yang merupakan kawasan penduduk dan pertanian garam berasal dari air tanah dangkal yang sangat

dipengaruhi oleh air hujan dan air sungai sehingga memiliki volume air yang terbatas. Sistem aliran air tanah pada bagian utara diinterpretasikan dipengaruhi oleh sistem aliran air tanah melalui celah-celah batu gamping hasil pelapukan, dalam bentuk rekahan dan sungai bawah tanah sehingga memiliki volume air lebih besar.

3.2 Hidrokimia Air tanah

Derajat keasaman (pH) air tanah daerah penelitian memiliki nilai berkisar 6,71–8,06, dengan nilai temperatur air antara 26,3–34,1°C. Nilai salinitas air tanah pada kawasan penelitian memiliki kisaran 0,03–4%, sedangkan pada lokasi tambak garam cenderung asin hingga payau dengan nilai salinitas $>0,03\%$. Sementara air tanah pada akuifer bagian utara daerah penelitian masuk dalam kategori salinitas rendah sehingga memiliki rasa tawar. Hasil plot unsur ion utama pada diagram piper untuk

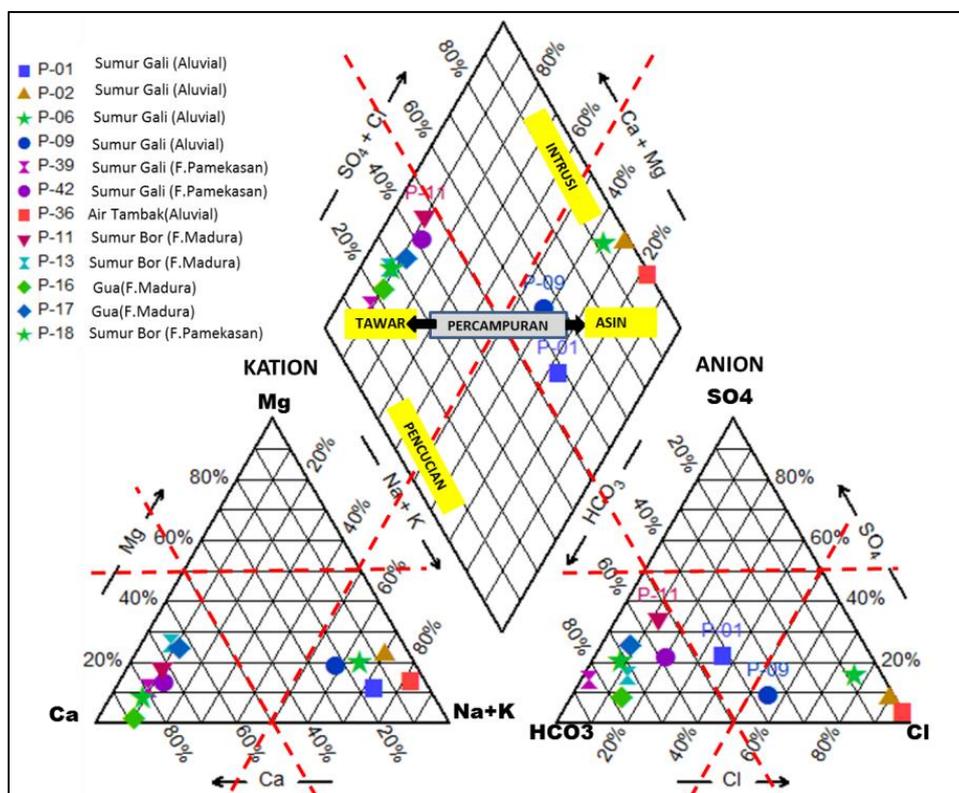
mengetahui karakteristik air tanah di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

Karakteristik air tanah pada daerah penelitian terbagi menjadi 3 jenis yaitu fasies Na-Cl (tipe klorida), Na-HCO₃ dan fasies Ca-HCO₃ (tipe bikarbonat). Ketiga jenis fasies air tanah tersebut sangat mencerminkan litologi penyusun akuifer pada setiap fasies tersebut. Air tanah pada kawasan endapan aluvial (Qa) pertanian garam memiliki tipe air tanah tipe klorida atau fasies Na-Cl. Sedangkan pada akuifer endapan Pamekasan (Qpp) dan Formasi Madura (Tpm) bertipe bikarbonat (Na-HCO₃ dan Ca-HCO₃).

Perhitungan terhadap nilai rasio dari beberapa nilai kation dan anion unsur digunakan untuk mengetahui karakteristik pengaruh air laut maupun pencemaran oleh NaCl terhadap air tanah. Nilai rasio HCO₃/Cl⁻ terhadap 12 sampel air tanah berkisar 0,03 hingga 59,14, sedangkan nilai rasio Cl⁻/ HCO₃ bernilai 0,02–36,55. Selain itu juga diperoleh nilai rasio Na/Cl berkisar antara 0,41–2,67 sedangkan rasio Mg/Cl 0,03–1,66. Nilai masing-masing parameter rasio tersebut dibandingkan dengan nilai TDS untuk mengkorelasi setiap nilai rasio ion tersebut. Nilai TDS pada sampel air di lokasi penelitian berkisar 307–9415 mg/L.

Sifat air tanah dibagian selatan daerah penelitian berdasarkan nilai TDS masuk dalam kelompok air tanah agak asin hingga air tanah sedikit asin menurut USGS⁽¹⁴⁾. Bagian utara daerah penelitian tergolong air tawar karena memiliki nilai TDS <1000 mg/L. Tipe air tanah bagian selatan didominasi oleh fasies Na-Cl dan Na-HCO₃ sedangkan fasies Ca-HCO₃ berada pada bagian utara daerah penelitian. Secara umum, air tawar didominasi oleh kandungan unsur kalsium (Ca) dan air laut dengan magnesium (Mg).

Nilai rasio Mg²⁺/Ca²⁺ digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan muka air tanah terhadap air laut⁽¹⁵⁾. Rendahnya nilai rasio HCO₃⁻/Cl⁻ dan tingginya rasio Mg²⁺/Ca²⁺ mengindikasikan perubahan kondisi air tawar menjadi air asin pada sistem akuifer pantai/pesisir⁽¹⁵⁾. Secara umum nilai rasio HCO₃⁻/Cl⁻ air tanah pada kawasan pertanian garam lebih rendah dibandingkan dengan air tanah yang tidak dipengaruhi oleh air laut, hal tersebut membuktikan bahwa daerah penelitian dipengaruhi oleh air laut.



Gambar 4. Diagram piper hasil plot ion utama air tanah daerah penelitian

Penentuan pengaruh aktivitas intrusi air laut ataupun antropogenik ditentukan berdasarkan rasio Na/Cl. Nilai rasio Na/Cl bagian Selatan

daerah penelitian <1 sehingga mengindikasikan adanya pengaruh air laut atau air asin terhadap air tanah⁽¹⁶⁾. Kondisi selatan daerah penelitian

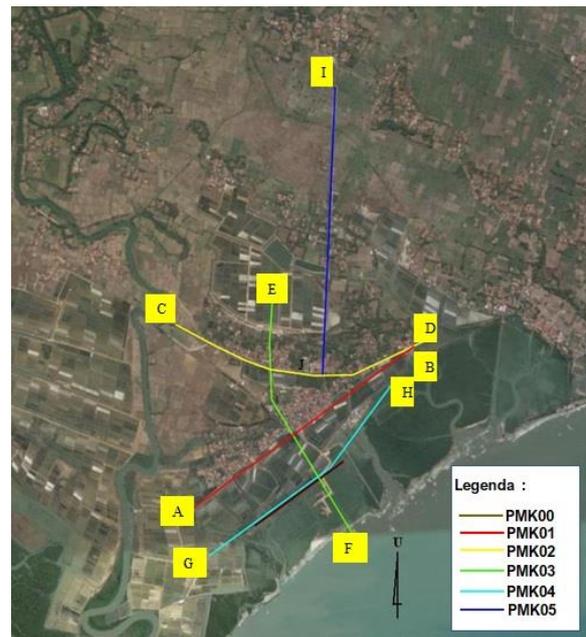
dapat diinterpretasikan kondisi nilai rasio Na/Cl <1 dikarenakan faktor pencemaran air tanah oleh tambak garam yang ada di sekitar lokasi sumur dangkal. Sedangkan pada daerah utara yang merupakan air tanah pada kawasan endapan formasi Pamekasan (Qpp) dan formasi Madura (Tpm) yang jauh dari pantai memiliki rasio Na/Cl <1, hal tersebut dikarenakan rendahnya tingkat pencucian air hujan yang mengalami perkolasi menjadi air tanah⁽¹⁶⁾. Namun ada dua sampel air tanah di bagian utara dan selatan yang memiliki nilai rasio Na/Cl >1 kondisi tersebut menunjukkan adanya proses interaksi antara air tanah dengan batuan melalui proses hidrolisis dan reaksi asam basa⁽¹⁷⁾. Selain itu tingginya nilai rasio Na/Cl juga dipengaruhi oleh proses pertukaran kation antara Ca^{2+} dengan Na^{+} ⁽¹⁸⁾.

Nilai rasio Cl^-/HCO_3^- pada daerah selatan penelitian berkisar 0,5–1,3 sehingga masuk dalam tingkat penyusupan air laut sedikit, sedangkan pada bagian utara memiliki nilai rasio <0,5 sehingga masih dalam kategori air tanah tawar⁽¹⁹⁾. Kondisi tersebut berkorelasi dengan nilai DHL pada setiap sampel air tanah, pada bagian utara didominasi oleh nilai DHL 1.500–15.000 $\mu S/cm$ dan masuk kelompok air payau hingga air agak payau. Keseluruhan sampel air pada bagian utara masih dalam kategori DHL <1.500 $\mu S/cm$ yaitu air tawar⁽²⁰⁾.

3.3 Karakteristik Tahanan Jenis Pencemaran Air tanah

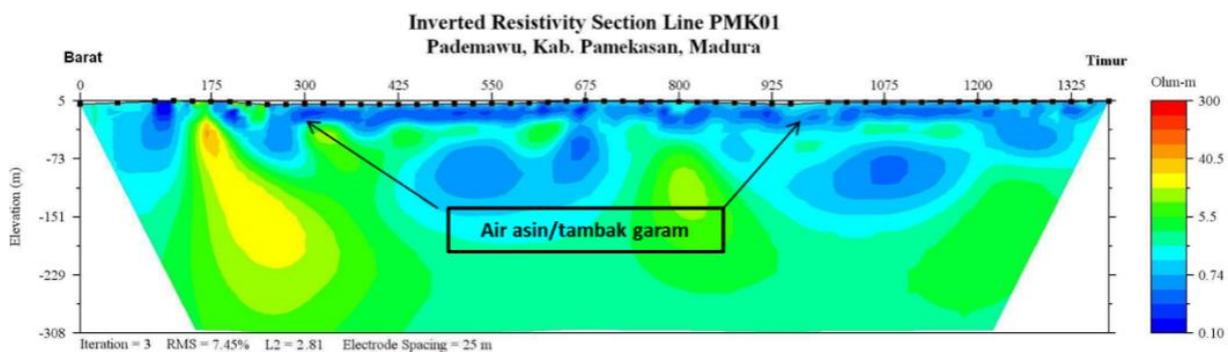
Pengukuran terhadap tahanan jenis batuan yang ada dilokasi penelitian dititik beratkan pada area pesisir, yang merupakan kawasan pemukiman sekaligus kawasan pertanian garam tradisional. Bentangan lintasan geolistrik dilakukan sebanyak 5 lintasan dengan panjang lintasan masing-masing mencapai $\pm 1,35$ km yang relatif kearah utara-selatan (tegak lurus

terhadap garis pantai) maupun berarah barat-timur (sejajar dengan garis pantai) (Gambar 5).

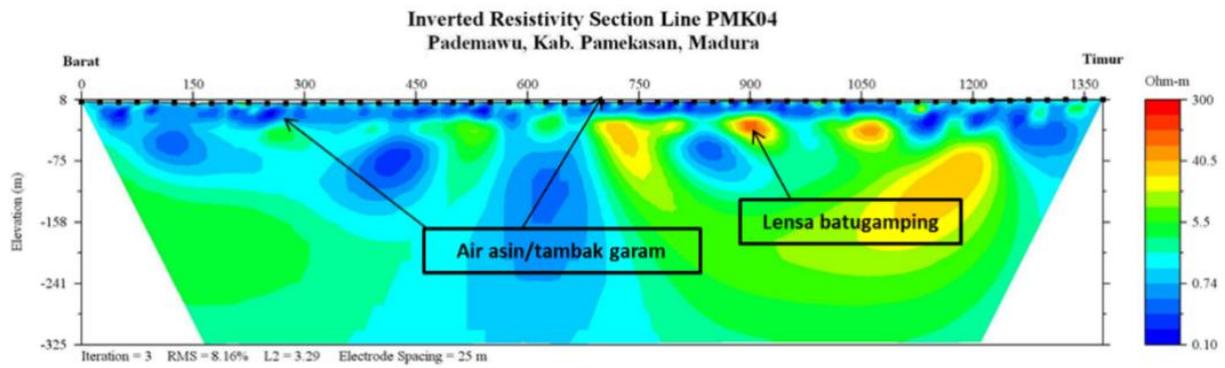


Gambar 5. Peta lintasan pengukuran geolistrik

Hasil pengukuran geolistrik di daerah penelitian disajikan pada penampang tahanan jenis bawah permukaan (Gambar 6 s/d Gambar 11). Berdasarkan penampang tahanan jenis batuan memperlihatkan beberapa variasi indeks warna nilai tahanan jenis setiap lapisan batuan di daerah penelitian. Pada penampang tahanan jenis yang mempunyai arah barat-timur (sejajar dengan garis pantai) memperlihatkan nilai tahanan jenis 0,1 hingga <0,5 Ωm mendominasi pada bagian permukaan hingga kedalaman >50 m yang diinterpretasikan sebagai air asin atau air yang berasal dari tambak garam. Beberapa nilai variasi tahanan jenis diperoleh dengan nilai >40,5 Ωm yang diinterpretasikan sebagai lapisan batu gamping yang melensa (Gambar 6 dan 7).



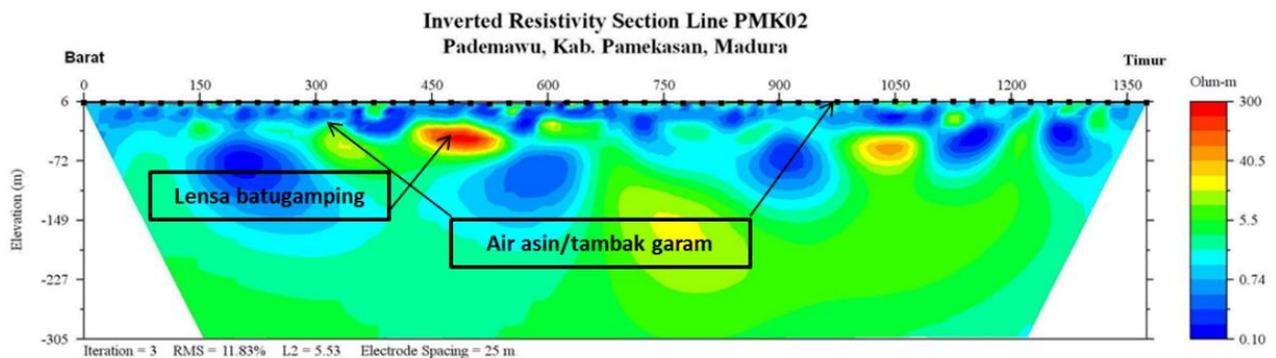
Gambar 6. Tahanan jenis bawah permukaan PMK01 (sejajar garis pantai)



Gambar 7. Tahanan jenis bawah permukaan PMK04 (sejajar garis pantai)

Penampang geolistrik yang tegak lurus terhadap garis pantai memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan hasil penampang geolistrik sejajar garis pantai. Penampang PMK02 dan PMK03 menunjukkan adanya nilai tahanan jenis batuan bernilai $0,1 \Omega\text{m}$ pada bagian permukaan hingga kedalaman $>30 \text{ m}$, sedangkan nilai tahanan jenis lainnya bernilai $>40,5 \Omega\text{m}$ namun hanya setempat dan diinterpretasikan sebagai bagian batu gamping yang melensa. Hasil pengukuran geolistrik

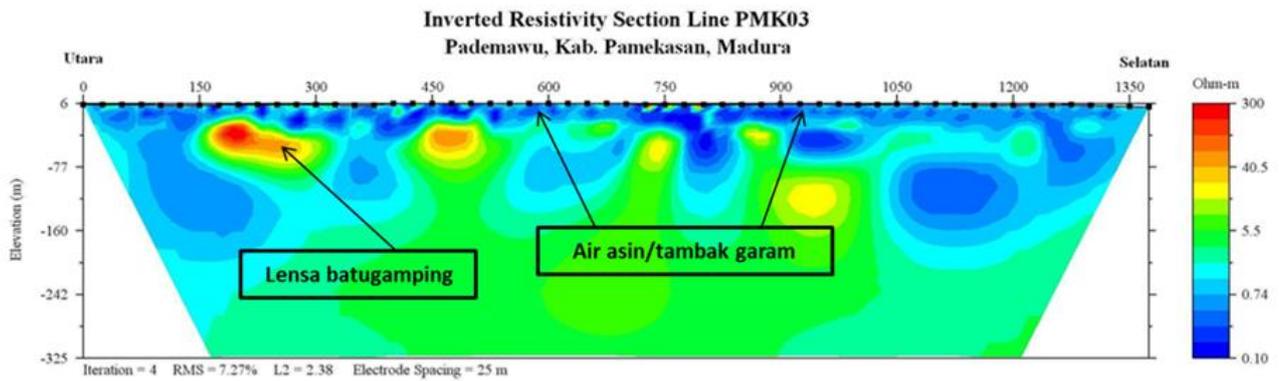
bagian Utara menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dimana tahanan jenis bernilai $>40,5 \Omega\text{m}$ mendominasi pada penampang PMK05. Lokasi pengukuran tersebut berada pada bagian formasi Pamekasan dan formasi Madura yang tersusun atas batu gamping terumbu dan dolomitan, sehingga pada penampang (Gambar 10) terlihat adanya nilai tahanan jenis $>40,5 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai rongga-rongga batu gamping hasil pelarutan.



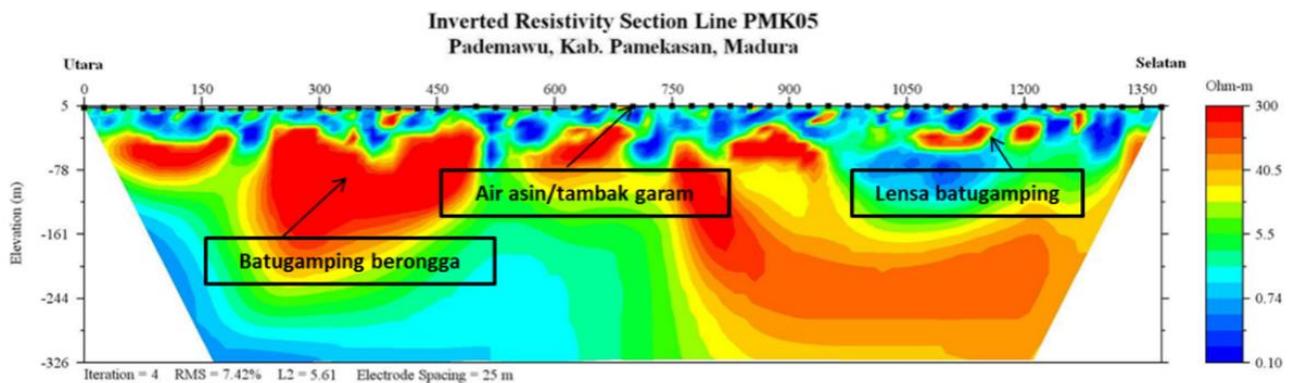
Gambar 8. Tahanan jenis bawah permukaan PMK02 (tegak lurus garis pantai)

Interpretasi hasil pengolahan data geolistrik memerlukan beberapa pertimbangan diantaranya karena setiap batuan memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda, bergantung pada jenis mineral, densitas, porositas, temperatur dan kandungan air didalamnya, maka setiap proses interpretasi perlu dilakukan perbandingan dengan data geologi yang tersedia⁽²¹⁾. Berdasarkan hasil datum pemboran

beberapa diantaranya adalah 3 sumur bor produksi yang dianggap mewakili daerah penelitian milik instansi PDAM dan P2AT (Proyek Pengembangan Air Tanah-Kementerian PU & PR), yang dijadikan sebagai data pembanding yaitu sumur bor blumbungan, sumur bor sentol (bagian utara) dan sumur bor PAM SDPM-214 Bunder (bagian selatan).



Gambar 9. Tahanan jenis bawah permukaan PMK03 (tegak lurus garis pantai)



Gambar 10. Tahanan jenis bawah permukaan PMK05 (tegak lurus garis pantai)

Merujuk terhadap datum pemboran berdasarkan kedalamannya maka akuifer air tanah di wilayah Kec. Pademawu dan sekitarnya dikelompokkan menjadi 2 kelompok akuifer yaitu akuifer dengan kedalaman <40 m dan akuifer dengan kedalaman >50 m. Akuifer dengan kedalaman >50 m berada pada bagian utara daerah penelitian yang tersusun oleh formasi Madura (Tpm) dengan sistem akuifer yang tersusun oleh sedimen tersier berupa batu gamping terumbu dan dolomitan. Data hasil pemboran tersebut berkorelasi positif dengan data hasil pengukuran geolistrik pada penampang PMK05, dimana pada kedalaman >50 m didapatkan nilai tahanan jenis >40,5 Ω m yang diinterpretasikan sebagai lapisan batu gamping sesuai nilai tahanan jenis batuan menurut⁽¹²⁾.

Diatas lapisan dengan tahanan jenis >40,5 Ω m berada setempat dengan tahanan jenis hampir sama seperti tahanan jenis batu gamping, yang diinterpretasikan sebagai lensa lapisan batu gamping yang berasal dari formasi Pamekasan (Qpp). Berdasarkan data sumur bor PDAM SDPM-214 diperoleh data log geologi yang menginterpretasikan adanya litologi batupasir dan batu gamping dibawah lapisan alluvial, sehingga kemungkinan besar

penampang geolistrik dengan nilai tahanan jenis tersebut merupakan lapisan batupasir ataupun batu gamping yang melensa yang berada pada kedalaman <30 m (Gambar 7 s/d 9).

Penampang geolistrik PMK01 dan PMK04 yang membentang sejajar garis pantai dengan jarak dari pantai ± 1 km diinterpretasikan terlihat adanya air asin pada kedalaman hingga <30 m dari permukaan tanah dengan nilai tahanan jenis 0,1 Ω m. Hampir di seluruh penampang geolistrik diperoleh nilai tahanan jenis sama dengan nilai tahanan jenis 0,1 Ω m dibagian permukaan yang diinterpretasikan sebagai air asin. Akumulasi nilai tahanan jenis tersebut berada pada lapisan endapan alluvial (Qa) yang tersusun atas kerikil, kerakal, pasir, lempung dan lumpur dengan kelulusan kecil hingga sedang.

4. KESIMPULAN

Karakteristik hidrokimia air tanah daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi, lingkungan dan tata guna lahan. Pada kawasan pertanian garam dan pemukiman warga didominasi oleh tipe Na-Cl dan Na-HCO₃ kondisi tersebut membuktikan bahwa adanya pengaruh air asin/air laut dalam hal ini tambak-tambak garam terhadap air tanah. Selain itu nilai

TDS menunjukkan kelompok air tanah agak asin hingga air tanah sedikit asin, begitupun nilai DHL air tanah menunjukkan terjadinya penyusutan air laut sedikit. Secara umum nilai rasio $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ air tanah yang mendapat pengaruh air laut lebih rendah dibandingkan dengan air tanah yang tidak dipengaruhi air laut. Nilai rasio Na/Cl bagian selatan daerah mengindikasikan adanya pengaruh air laut atau air asin terhadap air tanah. Tahanan jenis air laut/air asin dari tambak garam di daerah penelitian memperlihatkan pola infiltrasi menuju lapisan batuan. Oleh karena itu metode geolistrik telah terbukti mempunyai kesesuaian dan tepat guna dalam studi potensi maupun identifikasi pencemaran pada air tanah.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) BRSDM-KP atas DIPA Anggaran Penelitian tahun 2015 terkait penelitian yang dilakukan di Kecamatan Pademawu. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Prof. Dr. Robert M. Delinom, Dr. Sci. Rachmat Fajar Lubis, Dadan Wardana, S.T dan Henda Bakti M.T yang telah membimbing kami baik dilapangan maupun pada saat proses pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

1. Citrayati Noviana., Antariksa dan Ema Yunita Titisari. (2008). Pemukiman Masyarakat Petani Garam Di Desa Pinggir Papas, Kabupaten Sumenep. *Arsitektur e-Journal*, 1(1): 1-14.
2. 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.
3. Efe, S. T. (2002). Urban warming in Nigerian cities. The case of warri metropolis. *African Journal of Environmental Studies*, 3(1-2), 160-168.
4. Siswanto, A. D., & Nugraha, W. A. (2016). Permasalahan Dan Potensi Pesisir Di Kabupaten Sampang. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(1), 12-16.
5. Zhou, Q. Y., Matsui, H., & Shimada, J. (2004). Characterization of the unsaturated zone around a cavity in fractured rocks using electrical resistivity tomography. *Journal of Hydraulic Research*, 42(S1), 25-31.
6. Rao, B. V., Prasad, Y. S., & Reddy, K. S. (2013). Hydrogeophysical investigations in a typical Khondalitic terrain to delineate the kaolinised layer using resistivity imaging. *Journal of the Geological Society of India*, 81(4), 521-530.
7. Okiongbo, K. S., Akpofure, E., & Odubo, E. (2011). Determination of aquifer protective capacity and corrosivity of near surface materials in Yenagoa city, Nigeria. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(8), 785-791.
8. Situmorang, R.I., Agustianto, D.A., Suparman, M. (1992). Peta Geologi Lembar Waru – Sumenep Jawa. Bandung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
9. Eaton, D. A., Clesceri, S.L., Rice, W.E., dan Greenberg, E.A. (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21st Ed, American Public Health Association, Washington.
10. Anomohanran, O. (2013). Investigating the geoelectric response of water saturated and hydrocarbon impacted sand in the vicinity of petroleum pipeline. *International Journal of Applied*, 3(2).
11. Egbai, J. C. (2011). Vertical electrical sounding for the determination of aquifer transmissivity. *Australian journal of basic and applied sciences*, 5(6), 1209-1214.
12. Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E., (1990). *Applied Geophysics*. Second edition, Cambridge University Press.
13. Poespowardoyo, R, S. (1986). Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar VIII Surabaya (Jawa). Bandung. Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
14. Hem, J.D. (1989). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 3rd ed, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 2254, 8-10p.
15. Mondal, N.C., Singh, V.S., Saxena, V.K. and Prasad, R.K. (2008). Improvement of groundwater quality due to fresh water ingress in Potharlanka Island, Krishna delta, India. *Environmental Geology*, 55(3), pp.595-603.
16. Shamma, M.I. and Jacks, G. (2007). Seawater intrusion in the Salalah plain

- aquifer, Oman. *Environmental Geology*, 53(3), pp.575-587. Doi: 10.1007/s00254-007-0673-2.
17. Yang, He Hai dan Guang, Li Xu. (2013). Hydrochemical Characteristics and Evolution Laws of Shallow Groundwater in Shuangliao City, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol 5 (11), 283 – 288 p. Doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.726-731.3419.
18. Kehew, A. E. (2000). *Applied chemical hydrogeology*. Prentice Hall.
19. Revelle, R. (1941). Criteria for recognition of the sea water in ground-waters. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 22(3), pp.593-597.
20. Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta (PAHIAA-Jakarta). (1986). *Klasifikasi Keasinan Perairan Jakarta*.
21. Naryanto, H.S. (2011). Potensi Air Tanah di Daerah Cikarang dan Sekitarnya, Kabupaten Bekasi Berdasarkan Analisis Pengukuran Geolistrik. *Jurnal Air Indonesia*, 4(1).