

Potensi Bijih Besi dan Dampak Eksploitasinya terhadap Akuifer Pantai di Kawasan Pesisir Nusawungu Bagian Barat Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas-2D

Sehah, Zaroh Irayani, dan Sibghatur Rahman

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah

*e-mail corresponding author: sehah.geophysics@gmail.com

Abstrak - Investigasi potensi bijih besi dan dampak eksploitasinya terhadap akuifer pantai berdasarkan data resistivitas 2D di kawasan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap telah dilakukan. Penelitian ini dilatarbelakangi adanya potensi pasir besi yang melimpah yang belum dieksploitasi di kawasan ini. Akuisisi data resistivitas 2D telah dilaksanakan pada bulan Maret hingga April 2018 di empat lokasi yang ditentukan berdasarkan peta anomali magnetik yang diperoleh pada tahun sebelumnya. Berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas, diketahui potensi bijih besi di daerah penelitian relatif besar, dimana di setiap lintasan ditemukan endapan pasir yang mengandung bijih besi dengan nilai resistivitas berkisar 22,0 – 80,7 m. Berdasarkan hasil interpretasi, lapisan pasir yang mengandung bijih besi merupakan media utama akuifer pantai. Dengan demikian eksploitasi pasir besi dalam skala besar dapat mengakibatkan berkurangnya material pasir, sehingga berpotensi merusak akuifer pantai. Akibatnya fungsi akuifer dalam menyimpan air tanah dan mengalirkannya di kawasan Pesisir Nusawungu menjadi menurun..

Kata kunci: bijih besi, resistivitas-2D, dampak eksploitasi, akuifer pantai, Pesisir Nusawungu

Abstract – *Investigation of the potency of iron ore and its exploitation impact on the coastal aquifers based on the 2D-resistivity data in the Nusawungu Coastal of Cilacap Regency has been conducted. The background of this research is the presence of abundant iron sand potential in this area that has not been exploited. Acquisition of 2D-resistivity data has been carried out in March – April 2018 in four locations which determined based on the magnetic anomaly map that acquired in the previous year. Based on the modeling and interpretation results of resistivity data, the potency of iron ore in the research area is quite large, where in each line is found the deposit of sand interpreted contains iron ore with resistivity value of 22.0 – 80.7 m. Based on the interpretation results, the deposit of sand containing iron ore are the main media of coastal aquifer. Therefore, the exploitation of iron sand on the large scale can result in loss of sand materials, so that it can damage the coastal aquifer. As a result the aquifer function in storing and flowing of groundwater in the Nusawungu Coastal area is decreasing.*

Key words: *iron ore, 2D-resistivity, exploitation impact, coastal aquifer, Nusawungu Coastal*

PENDAHULUAN

Pesisir Kabupaten Cilacap memiliki potensi bahan galian pasir besi yang sangat ekonomis. Kegiatan eksploitasi pasir besi yang pernah dilakukan di kawasan pesisir Cilacap ini telah menghasilkan lebih dari 300.000 ton konsentrat bijih besi setiap tahun [1]. Namun tanpa disadari bahwa kegiatan eksploitasi atau penambangan pasir besi selama bertahun-tahun telah meninggalkan beberapa dampak negatif terhadap lingkungan hidup, khususnya di kawasan pesisir. Beberapa dampak negatif ini adalah penurunan permukaan pantai atau pesisir akibat berkurangnya batuan dan material

alluvium yang mengandung bijih besi, yang berfungsi sebagai lapisan penyangga (buffer) di kawasan pesisir [2]. Proses hilangnya endapan alluvium (abrasi) seperti terlihat pada Gambar 1 dapat memicu kerusakan lapisan akuifer air tanah di lokasi penambangan, sehingga kemampuan lapisan akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah di kawasan pesisir menjadi menurun.

Selain abrasi, dampak negatif yang lain akibat kegiatan eksploitasi pasir besi adalah intrusi air laut ke dalam akuifer air tanah. Pada saat batuan dan material pasir dieksploitasi, air laut yang memiliki massa jenis (density) besar menjadi lebih mudah mendesak air tanah.

Secara alami, air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab air tanah dilengkapi sifat piezometric untuk bertahan terhadap gaya tekan dari air laut, sehingga terbentuk zona interface sebagai pembatas antara air tanah (tawar) terhadap air laut. Keadaan tersebut sebagai kondisi seimbang antara air laut dan air tanah dalam akuifer. Apabila keseimbangan terganggu akibat aktivitas eksploitasi pasir besi, maka berpotensi terjadi intrusi air laut. Akibatnya akuifer pantai yang menjadi sumber air tawar (freshwater) di kawasan pesisir menjadi tidak bisa berfungsi sebagaimana mestinya [3].



Gambar 1. Peristiwa abrasi endapan alluvium di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat (sumber: dokumentasi pribadi)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sehad dan Raharjo (2017) diperoleh peta potensi bijih besi berbasis data anomali magnetik dan log resistivitas batuan bawah permukaan di kawasan Pesisir Nusawungu barat Kabupaten Cilacap [4]. Pada tahun 2018, penelitian dilanjutkan untuk memperoleh profil dua dimensi (2D) resistivitas batuan bawah permukaan di beberapa titik. Posisi titik-titik survei ditentukan berdasarkan closure anomali magnetik lokal hasil penelitian Sehad dan Raharjo (2017) [4]. Berdasarkan profil resistivitas batuan bawah permukaan ini, selanjutnya dapat diinterpretasi model lapisan batuan penyangga di kawasan pesisir [2]; model lapisan akuifer air tanah [5]; serta model interface antara air tanah dan air laut di kawasan prospek bijih besi [6]. Pada penelitian ini interpretasi difokuskan pada potensi bijih besi dan karakteristik akuifer pantai di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat.

LANDASAN TEORI

Metode Geolistrik Resistivitas 2D

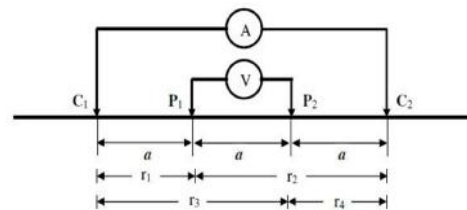
Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mempelajari karakteristik aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di atas permukaan bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi

pengukuran medan potensial, tegangan listrik, dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alami maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode resistivitas merupakan salah satu metode geolistrik yang dilakukan melalui penginjeksian arus ke dalam bumi.

Metode resistivitas (resistivity) adalah salah satu metode geolistrik yang bertujuan mempelajari sifat fisis batuan atau objek bawah permukaan berdasarkan sifat tahanan jenisnya. Metode ini bertujuan menggambarkan distribusi variasi nilai resistivitas di bawah permukaan berdasarkan hasil akuisisi data yang dilakukan di atas permukaan bumi [7]. Umumnya metode resistivitas dapat diterapkan untuk eksplorasi bawah permukaan yang bersifat dangkal. Nilai resistivitas tersebut berhubungan dengan parameter-parameter geologi seperti mineral, kandungan fluida, dan porositas [8].

Pada penelitian ini konfigurasi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Wenner untuk melihat distribusi batuan bawah permukaan secara lateral (2D). Susunan elektroda di dalam konfigurasi Wenner ditunjukkan pada Gambar 2. Faktor geometri (K) susunan elektroda di permukaan bumi sesuai **Gambar 2** dapat dinyatakan dengan [9]:

$$K_w = 2f a \tag{1}$$



Gambar 2. Susunan elektroda dalam survei geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner

Sedangkan nilai resistivitas semu (ρ_a) yang terbaca di dalam konfigurasi Wenner dapat dinyatakan [9]:

$$\rho_a = 2f a \frac{\Delta V}{I} \tag{2}$$

Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

Secara geologis kawasan pesisir Kabupaten Cilacap Jawa Tengah tersusun atas beberapa formasi batuan vulkanik dan endapan alluvium yang menutupi sebagian besar kawasan barat hingga selatan. Daratan Kabupaten Cilacap tersusun atas formasi Halang, formasi Rambatan, formasi Kumbang, dan formasi Tapak yang tertutup endapan alluvium. Adapun

daerah penelitian tersusun atas batuan dasar formasi Halang yang semuanya tertutup oleh alluvium dan endapan pantai. Endapan alluvium yang terletak di kawasan utara terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal; serta material hasil erosi dari Pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran beberapa sungai ke kawasan tersebut. Adapun endapan pantai yang terletak di selatan daerah penelitian tersusun atas pasir lepas yang terpilah baik hingga sedang, yang menunjukkan kesan perlapisan, yang ditemukan pasir besi [10,11].

Pasir besi berasal dari batuan yang bersifat intermedier hingga basa yang bersifat andesitik hingga basaltik. Batuan tersebut diperkirakan berasal dari gunung berapi, mengalir melewati sungai dan berkumpul di sepanjang sungai (seperti di lekukan sungai), atau mengendap di hilir sungai, muara, dan pantai. Ombak laut yang menyapu di sepanjang pantai mengakibatkan pasir besi itu terpilahkan, sehingga menjadi butiran bebas yang terkayakan hingga menjadi mineral besi. Mineral besi yang memiliki nilai specific gravity tinggi akan mengendap, sedangkan yang memiliki nilai specific gravity rendah akan tercuci dan terbuang. Proses ini terjadi secara berulang-ulang selama ratusan atau ribuan tahun, sehingga terbentuk menjadi endapan pasir besi yang banyak ditemui di sungai, muara, dan pantai seperti saat ini.

METODE

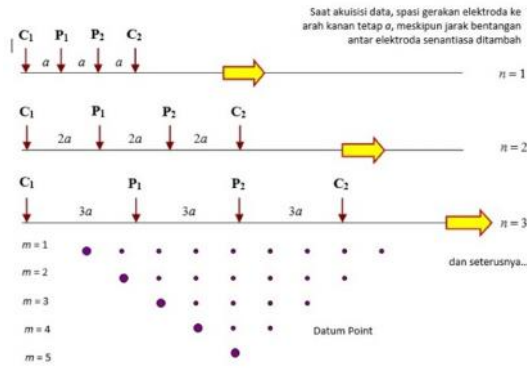
Penelitian ini telah dimulai dengan tahap persiapan yaitu menyiapkan peralatan, menentukan lintasan untuk akuisisi data resistivitas, dan sebagainya. Berikutnya adalah tahap pelaksanaan yang terdiri atas akuisisi data, pengolahan data, pemodelan, dan interpretasi. Tahap akhir penelitian adalah pembuatan output penelitian seperti produk, artikel ilmiah, dan sebagainya. Akuisisi data resistivitas telah dilakukan di kawasan pesisir Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap seperti terlihat pada **Gambar 3**, menggunakan konfigurasi Wenner.



Gambar 3. Lokasi survei di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat Kabupaten Cilacap

Pengolahan data resistivitas, pemodelan, dan interpretasi dilakukan di Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Jenderal Soedirman. Penelitian telah dilaksanakan selama delapan bulan; yaitu bulan Maret hingga Oktober 2018. Peralatan yang digunakan antara lain Resistivitymeter merk NANIURA model NRD 300 lengkap dengan komponen pendukungnya seperti elektroda, kabel, dan aki; Global Positioning System (GPS), peta geologi, aplikasi google earth, laptop, lembar pengamatan, alat tulis, beberapa perangkat lunak pendukung, dan sebagainya.

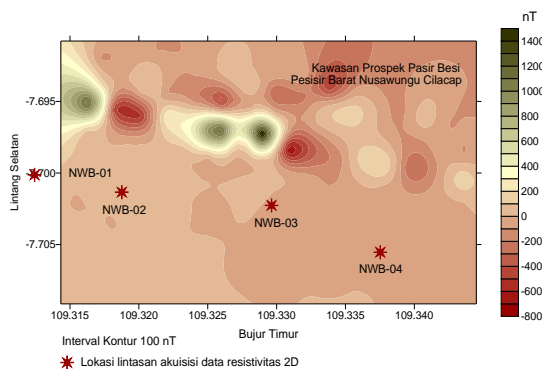
Teknik akuisisi data geolistrik menggunakan konfigurasi Wenner untuk mendapatkan profil 2D resistivitas batuan bawah permukaan. Proses akuisisi data dimulai dengan menancapkan seluruh elektroda di dalam tanah di sebelah kiri lintasan dengan jarak yang sama yaitu a . Kemudian dilakukan pengukuran kuat arus (I), beda potensial (ΔV), dan jarak antar elektroda (a). Setelah itu seluruh elektroda digerakkan serentak ke arah kanan sejauh a , dimana C_1 dipindah ke P_1 , P_1 dipindahkan ke P_2 , dan P_2 dipindah ke C_2 , kemudian dilakukan pengukuran lagi. Demikian seterusnya, hingga mencapai seluruh area penelitian. Untuk memperoleh profil resistivitas 2D pada lintasan tertentu, maka akuisisi data resistivitas pada lintasan tersebut diulangi hingga n kali pengukuran; dimana setiap kali pengulangan, jarak antar elektroda selalu diperlebar menjadi $2a$, $3a$, $4a$, $5a$, $6a$, dan seterusnya seperti terlihat pada **Gambar 4**. Namun jarak pergerakan elektroda ke arah kanan dibuat tetap a .



Gambar 4. Teknik akuisisi data untuk membentuk profil resistivitas 2D dengan konfigurasi Wenner

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data resistivitas 2D telah dilakukan di atas empat lintasan yang diletakkan di sebelah selatan closure anomali berdasarkan peta anomali magnetik lokal hasil penelitian Sehad dan Raharjo (2017) [4]. Posisi tersebut dipilih karena berdekatan dengan pantai dan merupakan kawasan prospek bijih besi, sehingga mudah untuk mengevaluasi karakteristik akuifer pantai, intrusi, dan abrasi. Posisi geografis masing-masing lintasan ditunjukkan pada **Gambar 5**. Data yang diperoleh pada setiap lintasan ini terdiri atas arus (I), beda potensial (ΔV) dan jarak antar elektroda (a) dalam satu sheet data. Jumlah lintasan akuisisi data resistivitas adalah empat, dimana setiap lintasan akuisisi terdiri atas 63 sheet data. Faktor geometri ($KWen$) dan nilai resistivitas semu (ρ_a) untuk setiap sheet dapat dihitung berdasarkan data yang diperoleh. Adapun datum point untuk setiap n pengukuran ditentukan dari jarak antar elektroda dalam konfigurasi Wenner [12].



Gambar 5. Lokasi lintasan akuisisi data resistivitas 2D pada peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Barat Nusawungu Kabupaten Cilacap [2].

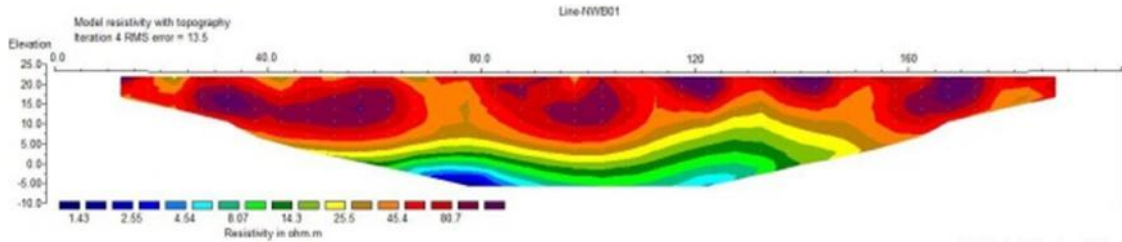
Nilai resistivitas semu untuk setiap sheet data dalam satu lintasan dimodelkan secara inversi sehingga diperoleh profil 2D resistivitas bawah permukaan. Pemodelan menggunakan software Res2Dinv 3.54 dengan parameter yang melibatkan terdiri atas resistivitas semu, datum point, dan jarak antar elektroda secara lengkap. Profil resistivitas batuan bawah permukaan yang diperoleh ini menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang sebenarnya (true resistivity). Hasil pemodelan data resistivitas semu untuk lintasan NWB-01 hingga lintasan NWB-04 ditunjukkan pada **Gambar 6** hingga **Gambar 9**. Panjang lintasan akuisisi data adalah 200 meter dengan kedalaman maksimum sekitar 30 meter dari permukaan tanah. Profil resistivitas yang diperoleh tersebut, diinterpretasi secara litologi dan hidrogeologi berdasarkan informasi geologi daerah penelitian. Hasil interpretasinya secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 1** hingga **Tabel 4**.

Hasil interpretasi terhadap profil resistivitas batuan bawah permukaan kemudian didesain ulang menggunakan software Surfer 7 sehingga diperoleh profil 2D litologi batuan bawah permukaan seperti ditunjukkan pada **Gambar 10** hingga **Gambar 13**. Berdasarkan profil litologi tersebut, diketahui bahwa daerah penelitian didominasi pasir yang mengandung butiran bijih besi yang berselingan dengan lanau, dengan nilai resistivitas berkisar 22,0–80,7 m. Daerah penelitian ini merupakan kawasan prospek bijih besi yang berpotensi untuk dieksploitasi. Lapisan pasir juga merupakan lapisan akuifer yang menjadi sumber air tanah dangkal bagi sumur-sumur di Pesisir Nusawungu. Menurut penjelasan beberapa warga, keberadaan pasir besi ini teramati sangat jelas pada saat mereka menggali sumur, dengan kedalaman rata-rata sekitar 5 meter. Berdasarkan profil litologi yang diperoleh kedalaman pasir yang mengandung bijih besi berkisar 15–20 meter dari permukaan. Berdasarkan nilai resistivitasnya, lintasan yang diperkirakan dominan mengandung bijih besi adalah Lintasan NWB-03 dan Lintasan NWB-04. Hal ini diperkuat berdasarkan peta anomali magnetik lokal daerah penelitian [4].

Pemodelan terhadap data anomali magnetik lokal daerah penelitian yang pernah dilakukan Sehad dan Raharjo (2017) menghasilkan beberapa jenis batuan bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai endapan

pasir besi yang berselingan dengan pasir, lanau, dan lempung dari formasi alluvium [4]. Endapan alluvium ini menempati bagian utara tersusun atas lanau, lempung, pasir, kerikil, kerakal; serta material hasil erosi pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran sungai. Adapun endapan pantai terdiri atas pasir lepas yang menunjukkan ada kesan perlapisan,

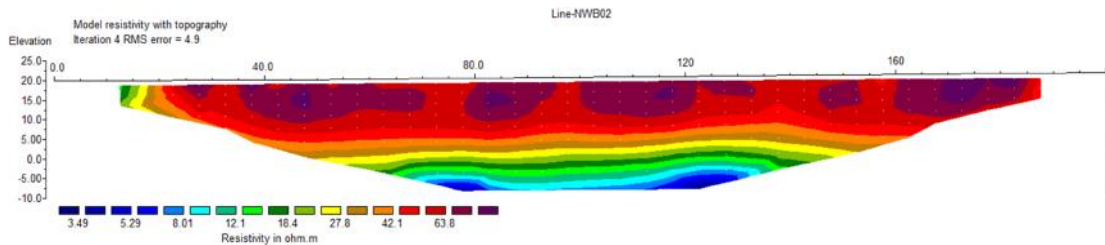
dimana ditemukan sumberdaya alam bijih besi [11].



Gambar 6. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-01

Tabel 1. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-01

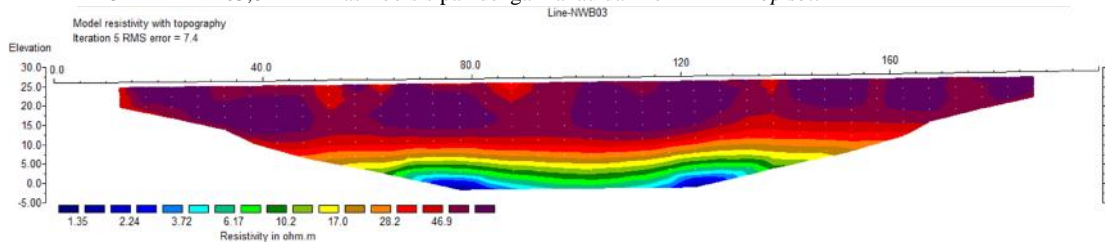
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 4,54	Pasir halus	Akuifer dalam (terintrusi air asin)
2	4,54 – 14,3	Lempung pasir	Lapisan semi kedap
3	14,3 – 25,5	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	25,5 – 80,7	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal
5	> 80,7	Pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil	Top soil



Gambar 7. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-02

Tabel 2. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-02

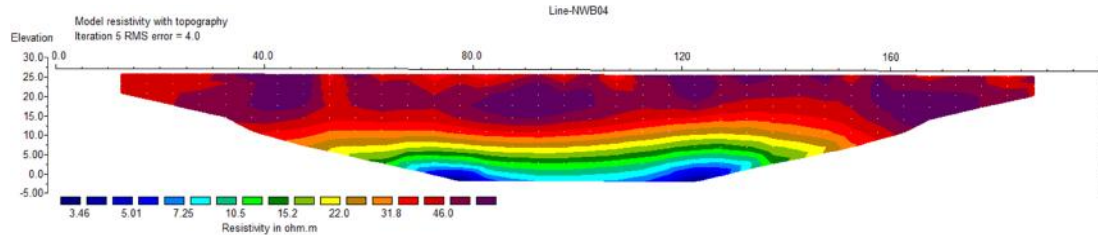
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 5,25	Pasir halus	Akuifer dalam (terintrusi air asin)
2	5,25 – 12,1	Lempung pasir	Lapisan semi kedap
3	12,1 – 27,8	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	27,8 – 63,8	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal
5	> 63,8	Pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil	Top soil



Gambar 8. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-03.

Tabel 3. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-03

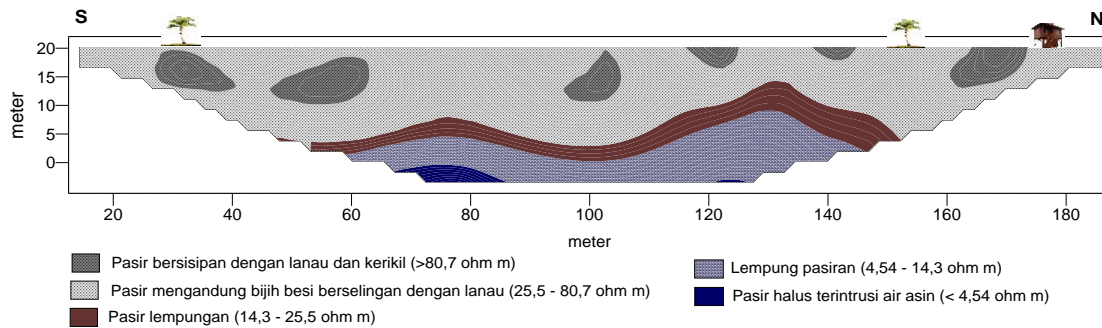
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 3,72	Pasir	Akuifer dalam (terintrusi air asin)
2	3,72 – 10,2	Lempung pasiran	Lapisan semi kedap
3	10,2 – 28,2	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	> 28,2	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal



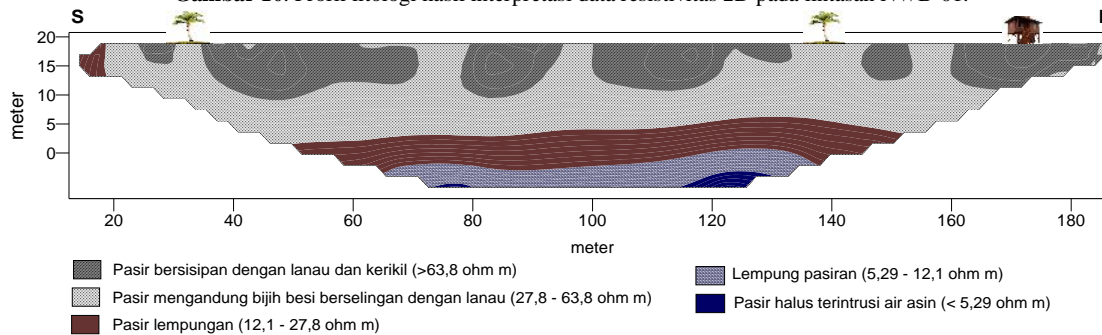
Gambar 9. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-04.

Tabel 4. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-04

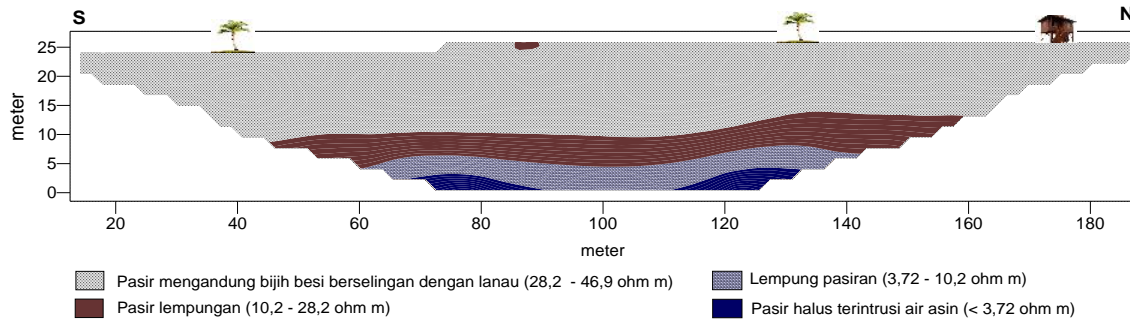
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 5,01	Pasir	Akuifer dalam (terintrusi air laut)
2	5,01 – 10,5	Lempung pasiran	Lapisan semi kedap
3	10,5 – 22,0	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	> 22,0	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal



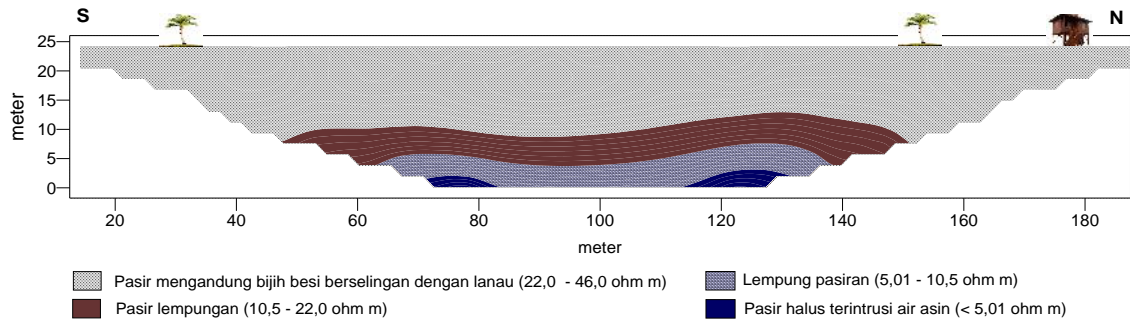
Gambar 10. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-01.



Gambar 11. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-02.



Gambar 12. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-03.



Gambar 13. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-04.

Kegiatan eksploitasi pasir besi yang dilakukan secara masif tanpa mempertimbangkan faktor konservasi akuifer pantai, dikhawatirkan akan merusak akuifer pantai. Material pasir yang menjadi media utama akuifer menjadi hilang atau berkurang, sehingga fungsi utama akuifer dalam menyimpan air tanah di kawasan pesisir menjadi turun. Padahal menurut penjelasan warga, di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat ini belum pernah mengalami kekeringan meskipun saat musim kemarau panjang. Namun kasus kekeringan pernah dialami warga dari pesisir lain, yaitu Pesisir Widarapayang Kulon Kabupaten Cilacap akibat penambangan pasir besi di sepanjang pesisir tersebut, yaitu debit air sumur berkurang. Kendati telah memasuki musim hujan, tetapi debit air sumur ternyata masih tetap kecil [13]. Dengan demikian eksploitasi pasir besi yang kemungkinan akan dilakukan di kawasan ini dapat mengakibatkan penurunan permukaan tanah, sehingga berpotensi besar menurunkan fungsi lapisan akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah.

Hasil-hasil penelitian menghasilkan rekomendasi kepada berbagai pihak khususnya pemegang usaha pertambangan pasir besi. Eksploitasi pasir besi di Pesisir Nusawungu perlu dibatasi terutama kedalamannya. Pasir besi yang merupakan bagian dari akuifer

dangkal tidak dieksploitasi habis, namun tetap dijaga agar fungsinya dalam menyimpan air tanah dan mengalirkannya di kawasan pesisir tidak terganggu. Selain mengganggu fungsi akuifer air tanah, eksploitasi pasir besi hingga puluhan meter berpotensi memicu abrasi dan intrusi air laut, seperti telah dijelaskan di bagian Pendahuluan. Eksploitasi pasir besi yang terlalu dalam juga berdampak membuka atau menerobos lapisan akuifer air tanah dalam (deep aquifer) yang diperkirakan bersifat asin [14]. Apalagi umumnya akuifer dalam di kawasan pesisir letaknya tidak terlalu dalam, relatif dekat dengan akuifer dangkal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang potensi bijih besi dan dampak eksploitasinya terhadap akuifer pantai berdasarkan data resistivitas 2D di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat Kabupaten Cilacap dapat disimpulkan:

1. Litologi batuan bawah permukaan daerah penelitian diinterpretasi terdiri atas pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil (>63,8 m), pasir yang mengandung bijih besi yang berselingan dengan lanau (22,0 – 80,7 m), pasir lempungan (10,2 – 28,2 m), lempung pasir (4,54 – 14,3 m), serta pasir yang terintrusi oleh air laut (< 5,25 m).

2. Potensi bijih besi di daerah penelitian cukup besar, dimana di setiap lintasan akuisisi ditemukan pasir yang diinterpretasi mengandung bijih besi yang bersisipan dengan lanau dengan nilai resistivitas berkisar 22,0 – 80,7 m dan ketebalan sekitar 15 – 20 meter.
3. Eksploitasi pasir besi secara masif di daerah penelitian berpotensi mengakibatkan berkurangnya material pasir atau batuan lain yang menjadi media utama akuifer, sehingga berpotensi menurunkan fungsi akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah ke sumur-sumur warga di kawasan pesisir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Rektor Universitas Jenderal Soedirman, dan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UNSOED atas diterimanya proyek penelitian dan dana yang disediakan. Terimakasih juga disampaikan untuk tim peneliti dan mahasiswa Program Studi Fisika UNSOED yang ikut membantu proses akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sugandi, Pasir Besi di Cilacap. (2014). <http://denisugandi.com> (diakses pada tanggal 07 Juni 2018).
- [2] Sehad, S.A. Raharjo, and M.A. Kuniawan, Interpretasi Model Struktur Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Prospek Pasir Besi Pantai Widarapayung Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Anomali Magnetik, in: Prosiding Seminar Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan VI, 2016
- [3] H. Hendrayana, Intrusi Air Asin ke dalam Akuifer di Daratan. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2002.
- [4] Sehad and S.A. Raharjo, Application of Magnetic Survey to Explore The Iron Ore Deposits in The Nusawungu Coastal Regency of Cilacap Central Java, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya* 7 (2017) 79 – 88
- [5] S.K. Agodzo, P.Y. Okyere and K. Kussi-Apiah, The Use of Wenner Configuration to Monitor Soil Water Content, School of Engineering, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi (KNUST), Ghana, 2003.
- [6] P. Astutik, S.C. Wahyono, dan S.S. Siregar, Identifikasi Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik, Desa Kampung Baru Tanah Bumbu, *Jurnal Fisika FLUX*, 13 (2016), 155 – 160.
- [7] J.M. Thabit and M.M. Al-Hameedawie, Delineation of Groundwater Aquifers Using VES and 2D Imaging Techniques in North Badra Area Eastern Iraq. *Iraqi Journals of Science* 55 (2014), 174 – 183.
- [8] T. Santoso, N. Priyantari, dan P. Hiskiawan, Pendugaan Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Resistivitas 1D di Pantai Payangan Desa Sumberejo Jember, *Berkala SAINSTEK* 1 (2013), 17 – 19.
- [9] W.M. Telford, L.P. Gedaart, and R.E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, 1990.
- [10] Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung, 1992.
- [11] D.Z. Herman, Kegiatan Pemantauan dan Evaluasi Konservasi Sumberdaya Mineral Daerah Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah, Kolokium Hasil Lapangan, 2005: p. 48-1 – 48-16.
- [12] D. Parwatiningtyas, Dasmo and Sjamsuri, Application of Resistivity Method Wenner Configuration for Determining Aquifer Position at Pasir Impun Area Bandung West Java, in: *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace, Science and Engineering*, 2015: p2
- [13] Rakyat Merdeka Online, Pasir Besi Ditambang, Krisis Air Tawar Mengancam, Edisi Kamis 17 November 2011.
- [14] Anonim, Peta Potensi Indikasi Air Tanah dan Daerah Irigasi Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah. Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2003.