

# Identifikasi Keberadaan Gas Biogenik Dengan Metode Geolistrik Sebagai Energi Alternatif Daerah Kampil dan Sekitarnya, Kecamatan Wiradesa, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah

Sapto Heru Yuwanto<sup>1</sup>, Handoko Teguh Wibowo<sup>1</sup>, Hendra Bahar<sup>1</sup> dan Maulana Syah Putra<sup>1</sup>

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya<sup>1</sup>  
e-mail: [saptoheru@itats.ac.id](mailto:saptoheru@itats.ac.id)

## ABSTRACT

*Biogenic gas is a type of gas formed in swamps, rice fields, freshwater lakes to the sea. The potential of biogenic gas as one of the natural gas in Indonesia is identified in several regions, one of which is in the Kampil area, Wiradesa, Pekalongan.. Using the geoelectric method with 14 data collection points, it can be identified layers of sediment that are suspected to contain gases. Analysis and discussion, it is known that the sedimentary layer which is identified to contain biogenic gases is at a resistivity value of 125-350 Ohm. In this lithology it is assumed that the space between the grains is filled with gas at a depth of 15 - 40 meters below the surface and the top layer is interpreted as a clay layer which is thought to be a cover layer (caprock). The spread of biogenic gas is not only in the form of gas pockets, this is evidenced by the presence of anomaly resistivity values at only a few geoelectric measurement points that are not close together.*

**Kata kunci:** *Alternative energy, Gas biogenic, Geoelectric, Kampil*

## ABSTRAK

Gas biogenik merupakan jenis gas yang terbentuk di rawa-rawa, sawah, danau air tawar sampai laut. Potensi gas biogenik sebagai salah satu gas alam di Indonesia diidentifikasi terdapat pada beberapa daerah, salah satunya terdapat pada Daerah Kampil dan sekitarnya, Kecamatan Wiradesa, Pekalongan. Menggunakan metode geolistrik dengan 14 titik pengambilan data dapat diidentifikasi lapisan-lapisan sedimen yang diduga mengandung gas. Berdasarkan analisis data dan pembahasan diketahui lapisan sedimen yang diidentifikasi mengandung gas biogenik adalah pada nilai resistivitas 125 – 350 Ohm.m diinterpretasikan litologi penyusunnya adalah lapisan sedimen dengan ukuran butiran lanau hingga pasir. Pada litologi tersebut diduga ruang antar butirannya terisi oleh gas pada kedalaman 15 – 40 meter di bawah permukaan dan lapisan di atasnya diinterpretasikan sebagai lapisan lempung yang diduga merupakan lapisan penutup (*caprock*). Penyebaran gas biogenik tidak menerus hanya berupa kantong-kantong gas, ini dibuktikan dengan adanya anomali nilai resistivitas hanya pada beberapa titik pengukuran geolistrik yang tidak saling berdekatan.

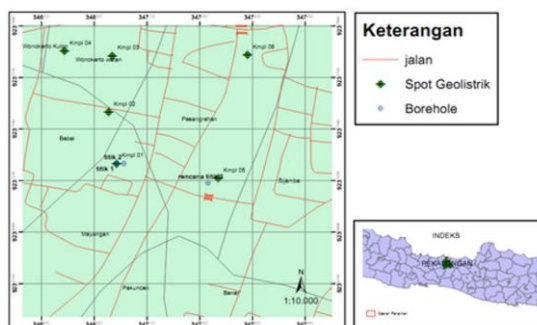
**Kata kunci:** *Energi alternatif, Gas biogenik, Geolistrik, Kampil*

## PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi alternatif yang mudah dikembangkan, murah untuk dikelola serta menghasilkan tingkat polusi udara yang rendah yaitu gas biogenik. Gas biogenik adalah tipe gas yang pada umumnya memiliki kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>) [1]. Gas metana inilah yang dianggap sebagai salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan karena hasil pembakarannya lebih sedikit menghasilkan gas karbondioksida jika dibandingkan dengan jenis bahan bakar hidrokarbon lainnya. Gas biogenik merupakan jenis gas yang terbentuk di rawa-rawa, sawah, danau air tawar sampai laut. Gas ini terperangkap pada sedimen dangkal yang secara termal belum matang (*immature*) [2]. Keluarnya gas biogenik ke permukaan dapat dipicu dari adanya rekahan-rekahan atau zona lemah yang ada disekitarnya. Potensi akumulasi sedimen yang mengandung gas (*gas charged sediment*) ditemukan dari hasil pemetaan secara horizontal pada kawasan perairan dangkal terutama di muara sungai-sungai purba yang berasal dari maturasi tumbuhan rawa purba yang tertimbun sedimen *recent* [3].

Pekalongan merupakan salah satu kota yang terletak di Provinsi Jawa Tengah. Lokasinya yang berada di pesisir utara pulau Jawa membuat Kabupaten Pekalongan memiliki potensi energi berupa gas biogenik. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral telah melakukan penelitian mengenai kandungan gas biogenik di sepanjang pantai Utara Jawa dengan hasil yang memperlihatkan indikasi potensi gas biogenik yang cukup menjanjikan [3]. Saat ini, gas biogenik sudah mulai dikembangkan di berbagai daerah di Indonesia yang digunakan untuk keperluan penerangan jalan dan bahkan sebagai bahan bakar alternatif untuk rumah tangga. Berdasar hal tersebut, maka diperlukan suatu penelitian mengenai persebaran gas biogenik serta seberapa besar jumlah kandungannya di Daerah Pekalongan dengan harapan hasilnya nanti akan bermanfaat bagi warga sekitar guna memenuhi kebutuhan mereka terhadap bahan bakar. Guna mengetahui keberadaan dan sebaran gas biogenik di bawah permukaan metode yang digunakan adalah dengan metode geofisika dengan metode geolistrik. Metode geolistrik adalah salah satu metode aktif dalam studi geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui gambaran bawah permukaan dengan dasar nilai resistivitas (tahanan jenis) yang terukur. Nilai resistivitas didapatkan dari perhitungan besar arus yang mengalir serta beda potensialnya [4]. Gas biogenik memiliki nilai resistivitas yang tinggi jika dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya [5]. Hal tersebut yang mendasari penelitian mengenai pemetaan persebaran kandungan gas biogenik menggunakan metode geolistrik.

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui lapisan sedimen sebagai media keberadaan atau yang mengandung gas biogenik dan memetakan persebaran kandungan gas biogenik pada lapisan batuan berdasarkan sebaran perbedaan nilai resistivitas yang terukur.



Gambar 1. Peta titik lokasi pengukuran geolistrik

## TINJAUAN PUSTAKA

### Geologi Daerah Penelitian

Secara geologi Daerah Pekalongan dan sekitarnya litologi dominan adalah berupa alluvium dengan ketebalan hingga 150 meter. Alluvium pada daerah ini memiliki kandungan material berupa kerikil, pasir, lanau, lempung, endapan sungai dan rawa. Daerah pantai utara Jawa dimungkinkan terbentuk endapan sedimen yang dapat berperan sebagai perangkap bagi gas biogenik. Endapan sedimen dan permukaan pada lokasi penelitian dan sekitarnya berumur Holosen [6]. Endapan sedimen ini penciri dataran pantai utara Jawa yang hasil sedimentasinya berasal dari pegunungan Serayu Utara di sebelah selatannya. Dataran alluvium ini mempunyai lebar maksimum 40 km ke arah selatan dan semakin ke arah timur, lebarnya menyempit hingga 20 km [7]. Jika dibandingkan dengan garis pantai dari Jawa Barat dan Jawa Timur, garis pantai utara dan selatan dari Jawa Tengah mengalami penyempitan dan membentuk lekukan ke atas, dua sesar besar mendatar utama yang disebut sebagai sesar Kebumen – Muria dan sesar Pemanukan – Cilacap. Sesar ini memiliki arah dan pergeseran yang saling berlawanan satu sama

lain diyakini menjadi penyebab menyempitnya garis pantai dari Jawa Tengah dan terjadinya banyak perubahan geologi di Jawa Tengah [8].

### Gas biogenik

Gas biogenik merupakan gas yang terbentuk hasil dekomposisi bahan-bahan organik dari mikroorganisme yang bersifat an-aerobik pada temperatur rendah. Mikroorganisme yang bersifat anaerobik mengubah komposisi sedimen organik menjadi sebagian besar mengandung gas metana. Gas biogenik terbentuk di rawa-rawa, sawah, danau air tawar yang anoksik dan teluk sub-litoral sampai *marine*. Gas ini terperangkap pada sedimen dangkal yang secara termal belum matang (*immature*) [2]. Gas biogenik merupakan jenis gas yang tidak berasosiasi dengan minyak, dikarenakan jenis gas ini pada umumnya memiliki kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>) [1]. Apabila gas metana tersebar ke udara, maka gas ini akan langsung menguap naik ke atmosfer, karena gas metana merupakan jenis gas hidrokarbon yang mudah terbakar serta memiliki rantai karbon terpendek (C<sub>1</sub>). Potensi akumulasi sedimen yang mengandung gas (*gas charged sediment*) ditemukan dari hasil pemetaan secara horizontal pada kawasan perairan dangkal terutama di muara sungai-sungai purba yang berasal dari maturasi tumbuhan rawa purba yang tertimbun sedimen *recent*. Keluarnya gas biogenik ke permukaan dipicu adanya rekahan-rekahan atau zona lemah yang ada disekitarnya [3]. Keberadaan gas biogenik di sawah atau rawa tidak secara langsung mempengaruhi kualitas air karena gas metana tidak bereaksi dengan air. Pada umumnya gas ini tidak berbau, bertekanan rendah dan mudah terbakar. Gas biogenik terbentuk pada kedalaman dangkal dan suhu yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pembentukan jenis hidrokarbon lainnya [9]. Gas biogenik dapat terbentuk melalui tiga proses utama yaitu : (1). Proses reduksi CO<sub>2</sub> oleh bakteri dari batuan vulkanik atau magmatik alami, CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O -> CH<sub>4</sub>. (2). Fermentasi bakteri asetat pada lapisan sedimen yang kaya akan zat organik (*gas charged sediment*), CH<sub>3</sub>COOH -> CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>. (3). Fermentasi bakteri an-aerobik pada sampah, kotoran ternak atau sejenisnya. Proses fermentasi jenis ini akan menghasilkan gas yang biasa disebut gas biomasa atau biogas metana [10].

### Geolistrik

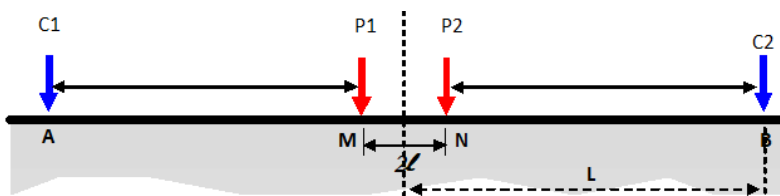
Geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Metode geolistrik yang secara umum antara lain : metode potensial diri (SP), arus telluric, magnetotelluric, elektromagnetik, induksi polarisasi (IP), dan resistivitas (tahanan jenis) [11]. Geolistrik resistivitas (tahanan jenis) merupakan metode geofisika yang mengukur tingkat kemampuan lapisan batuan dalam mengalirkan arus listrik, dengan parameter ukur resistivitas (tahanan jenis) batuan. Nilai resistivitas lapisan batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : kandungan air (*fluid*), salinitas (kandungan garam), temperatur, porositas, kandungan lempung dan kandungan logam ataupun gas [4]. Nilai resistivitas setiap lapisan batuan yang terukur akan mempunyai nilai karakteristik resistivitas yang berbeda-beda [11]. Berikut merupakan pendekatan nilai resistivitas pada setiap lapisan batuan :

Tabel 1. Nilai resistivitas pada beberapa lapisan batuan [11]

Material	Harga Resistivitas ( Ohm meter )
Tanah Lempungan	1,5 – 3,0
Lempung Lanauan	3,0 – 15
Tanah Lanau Pasiran	15 – 150
Pasir Kerikil Kelanauan	300
Batuan Dasar Tak Lapuk	2400
Pasir Kerikil Kering	2400
Terdapat Air Tawar	20 – 60

<b>Air Asin</b>	0,18 – 0,24
<b>Batuan Sedimen Lepas</b>	1 – 100
<b>Batuan Sedimen</b>	10 – 10.000
<b>Batuan Kristalin (Beku dan Metmorf)</b>	1000 – 1.000.000

Berdasarkan jarak antar elektroda, baik elektroda arus dan elektroda potensial. Pada pengambilan data geolistrik, terdapat beberapa macam jarak (konfigurasi) antar elektroda, antara lain : elektroda konfigurasi Schlumberger, Wenner, Dipole-dipole dan Pole-Dipole [11]. Pada pengukuran geolistrik terdapat dua teknik pengukuran untuk mengetahui kondisi lapisan batuan di bawah permukaan, yaitu teknik VES (*Vertikal Elektrical Sounding*) dan *Lateral Mapping* (horizontal). Konfigurasi elektroda Schlumberger merupakan teknik pengukuran VES yang paling baik, yaitu untuk mengetahui sebaran nilai resistivitas pada suatu titik target di bawah permukaan bumi [12].



Gambar 2. Susunan konfigurasi elektroda Schlumberger [12]

Pada konfigurasi elektroda Schlumberger Gambar 2, titik M dan N (P1 dan P2) merupakan elektroda potensial sedangkan titik A dan B (C1 dan C2) merupakan elektroda arus, pada umumnya jarak MN < Jarak AB. Konfigurasi Schlumberger ini dilakukan dengan jarak elektroda arus (A,B) dibuat 10 kali jarak elektroda potensial (M,N). Nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*) pada konfigurasi ini, dengan memperhatikan pada Gambar 2 dapat dirumuskan sebagai berikut [11] :

$$\rho_s = \pi \frac{L^2 - \ell^2}{2\ell} \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

di mana :

$\rho_s$  = resistivitas semu untuk konfigurasi schlumberger (ohm.m)

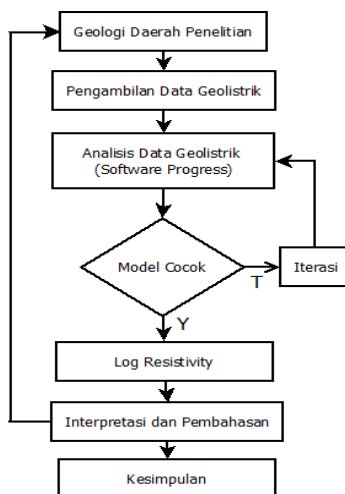
$\pi \frac{L^2 - \ell^2}{2\ell}$  = faktor geometri untuk konfigurasi schlumberger

V = beda potensial ( mV )

I = besar arus yang diinjeksikan ke bumi ( mA )

Metode pada penelitian ini menggunakan beberapa bagian atau tahapan, yang secara garis besar terdapat beberapa bagian atau tahapan, yaitu bagian tinjauan pustaka, bagian pengambilan data, bagian pengolahan dan analisis data, bagian interpretasi dan pembahasan dan bagian kesimpulan. Bagian atau tahapan tinjauan pustaka adalah berisi pustaka yang relevan dan rumusan masalah, antara lain pustaka mengenai gas biogenik, asal-usulnya, daerah potensi keterdapatannya dan kondisi geologi yang memungkinkan terdapat gas biogenik. Pustaka mengenai kondisi geologi daerah penelitian baik secara regional maupun lokal, khususnya dalam penelitian ini adalah kondisi geologi daerah Kampil dan Sekitarnya, Kabupaten Pekalongan. Bagian kedua adalah bagian pengambilan data geolistrik, dalam pengambilan data geolistrik ini, menggunakan peralatan geolistrik resistivity meter dengan konfigurasi elektroda Schlumberger yang terdiri dari beberapa titik pengukuran dengan panjang bentangan pengukuran kurang lebih 150 meter dan perkiraan kedalaman yang terukur adalah  $\pm 50$  meter. Bagian ketiga adalah

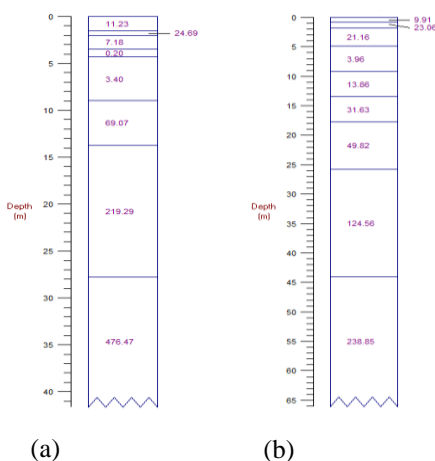
pengolahan dan analisis data menggunakan *software progress*. Pada analisis data ini menggunakan teknik pencocokan kurva antara data terukur (observasi) dengan kurva, atau dikenal dengan pemodelan kedepan (*forward modeling*), setelah itu dilakukan perhitungan oleh software tersebut hingga kita dapatkan (iterasi) model nilai resistivitas terhadap kedalaman, dengan tingkat RMS (*root means square*) yang terkecil, atau dikenal dengan pemodelan *inversion*. Bagian ke empat adalah interpretasi dan pembahasan, hasil pemodelan tadi yang berupa nilai resistivitas terhadap kedalaman (*log resistivity*), kita korelasikan dengan kondisi geologi permukaan yang berupa litologi (lapisan batuan) yang ada dipermukaan, untuk menginterpretasikan kondisi litologi bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas yang terukur dengan mengacu pada tabel 1. Bagian kelima adalah kesimpulan, berikut diagram alir penelitian ini (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari beberapa titik pengukuran geolistrik kemudian di analisis dan diinterpretasikan dengan korelasi kondisi geologi permukaan serta nilai resistivitas yang ada pada tabel 1. Terdapat titik pengukuran geolistrik yang mempunyai potensi keterdapatn kandungan gas biogenik pada lapisan batuan, titik Kmpl 02 dan titik Kmpl 03.

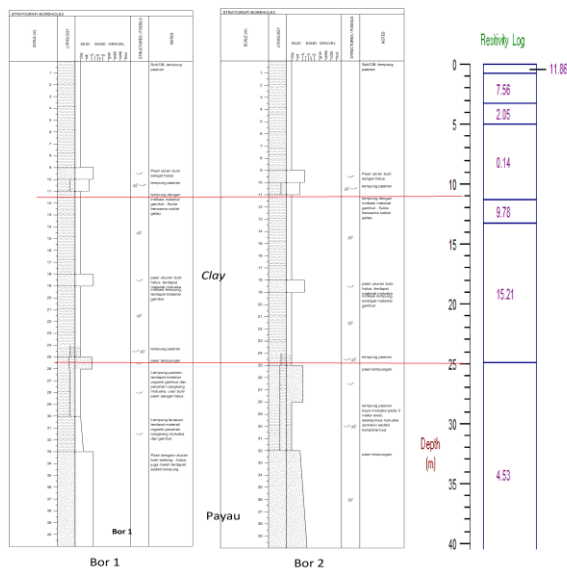


Gambar 4. Hasil *log resistivity*, (a). titik pengukuran Kmpl 02, (b). titik pengukuran Kmpl 03

Hasil interpretasi titik pengukuran Kmpl 02 (Gambar 4. (a)) dengan korelasi kondisi geologi permukaan, litologi bawah permukaan berdasarkan perbedaan nilai resistivitas terukur terdiri atas lapisan lanauan dan lapisan lempungan dicirikan dengan nilai resistivitas yang cenderung rendah. Pada kedalaman ± 15 hingga 40 meter terdapat anomali nilai resistivitas yang cenderung tinggi ± 200 hingga 450 Ohm.m dengan litologi lapisan lanau hingga pasir. Hasil interpretasi titik pengukuran Kmpl 03 (Gambar 4. (b)), litologi bawah permukaan berdasarkan perbedaan nilai resistivitas terukur terdiri atas Lanauan dicirikan dengan nilai resistivitas yang rendah. Pada kedalaman > 26 meter terdapat anomali nilai resistivitas yang cenderung tinggi > 120 Ohm.m dengan litologi lanauan. Pada kedua titik pengukuran terdapat lapisan yang di duga terdapat potensi kandungan gas biogenik, yang terdapat diantara pori-pori butiran lapisan batuan, sehingga membuat nilai resistivitas terukur cenderung meningkat (tinggi), dibandingkan dengan daerah sekitarnya.

### Korelasi *log resistivity* dengan lubang bor

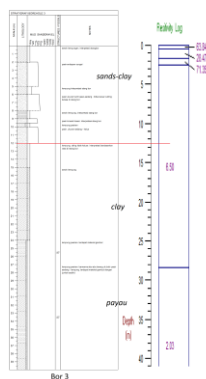
Pada Gambar 1. Peta lokasi titik pengukuran geolistrik, terdapat 3 titik bor. Ketiga titik bor tersebut, titik bor pertama dan kedua dekat dengan titik pengukuran geolistrik dengan titik pengukuran geolistrik titik Kmpl 01 dan titik bor ketiga dekat dengan titik pengukuran Kmpl 05. Korelasi Lubang bor titik bor 1 dan 2 dengan titik pengukuran geolistrik titik Kmpl 01, Gambar 5. Berdasarkan litologi lubang bor 1 dan lubang bor 2 bahwa pada kedalaman 0 – 33 meter litologinya berupa lempungan dengan sedikit sisipan pasir halus pada log resistivitas pada kedalaman tersebut nilai yang terukur rentangnya 0,14 – 15,21 Ohm.m berdasarkan Tabel 1. (nilai resistivitas lapisan batuan) rentang nilai tersebut diinterpretasikan litologi lempung lanauan, sehingga nilai resistivitas terukur dengan lubang bor sesuai. Pada kedalaman 33 – 40 meter pada lubang bor di deskripsikan sebagai litologi pasir halus dan sedikit lempungan, akan tetapi pada log resistivitas nilai yang terukur sangat rendah < 5 Ohm.m, dengan anomali nilai resistivitas tersebut dapat diinterpretasikan berupa pasir halus – lempungan yang terdapat air tanah payau – asin.



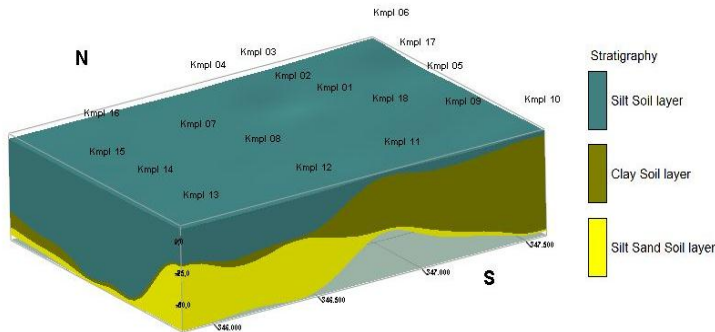
Gambar 5. Korelasi litologi titik bor 1 dan 2 dengan log resistivity titik Kmpl 01

Korelasi lubang bor titik bor 3 dengan titik pengukuran geolistrik titik Kmpl 05, Gambar 6. Berdasarkan litologi lubang bor 3 pada kedalaman 0 – 12 meter adalah berupa litologi lempungan – pasiran apabila dikorelasikan dengan data pengukuran resistivitas (*log resistivity*) pada titik Kmpl 05 nilai resistivitasnya adalah 6,50 – 71 Ohm.m berdasar tabel rentang nilai resistivitas tersebut merupakan litologi lanau pasiran, sehingga deskripsi antara lubang bor dan nilai resistivitas yang terukur sesuai. Pada kedalaman 12 – 40 meter deskripsi litologi lubang bor berupa lempungan, pada log resistivitas nilai resistivitas yang terukur adalah < 5 Ohm.m nilai tersebut berdasarkan tabel adalah lempungan, sehingga sesuai, pada kedalaman > 40 meter berdasarkan nilai resistivitas yang terukur nilainya < 1 Ohm.m sehingga dapat diinterpretasikan terdapat kandungan garam.

Hasil interpretasi litologi bawah permukaan yang berdasarkan perbedaan nilai resistivitas pada titik pengukuran geolistrik di daerah Kemplil dan sekitarnya. Lapisan batuan bawah permukaan terdiri atas 3 lapisan (Gambar 7) yaitu lapisan Silt Soil Layer (lapisan Lanauan) dengan nilai resistivitas berkisar  $\pm 20$  hingga  $\pm 40$  Ohm.m, lapisan Clay Soil Layer (Lapisan Lempungan) dengan nilai resistivitas berkisar < 20 Ohm.m dan lapisan Silt Sand Soil Layer (Lapisan Lanau Pasiran) dengan nilai resistivitas berkisar  $\pm 50$  hingga  $\pm 100$  Ohm.m. Ketebalan masing-masing lapisan berdasarkan perbedaan nilai resistivitas yang terukur bervariasi. Anomali nilai resistivitas yang berhubungan dengan potensi gas biogenik kecenderungannya terdapat pada nilai resistivitas yang tinggi, pada daerah penelitian dicirikan dengan nilai resistivitas > 150 Ohm.m. Anomali nilai resistivitas yang tinggi dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya, terdapat pada titik Kmpl 02 dan titik Kmpl 03 pada kedalaman > 20 meter. Potensi gas biogenik tersebut kemungkinan terdapat pada lapisan lanau pasiran dan lapisan lempung di atasnya sebagai penutup (*caprock*). Penyebaran gas biogenik tersebut tidak menerus hanya berupa spot-spot atau berupa kantong-kantong gas ini dibuktikan dengan titik pengukuran resistivitas di tempat sekitar titik pengukuran Kmpl 02 dan Kmpl 03 tidak terdapat anomali resistivitas yang signifikan.



Gambar 6. Korelasi litologi titik bor 3 dengan log resistivity titik Kmpl 05



Gambar 7. Interpretasi litologi bawah permukaan di daerah penelitian berdasarkan perbedaan nilai resistivitas yang terukur dalam bentuk 3 dimensi

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa pengukuran geolistrik, litologi bawah permukaan daerah Kampil dan sekitarnya, Kecamatan Wiradesa, Kabupaten Pekalongan di dominasi oleh litologi Aluvium, lapisan paling bawah merupakan lapisan lanau pasiran, lapisan atasnya lempungan dan lapisan paling atas lanauan dengan ketebalan 3 lapisan tersebut bervariasi. Potensi keberadaan gas biogenik berada pada titik kmpl 02 dan titik kmpl 03 dengan kedalaman > 15 meter dengan anomali nilai resistivitas > 150 Ohm.m. dan penyebarannya tidak menerus hanya berupa kantong-kantong gas atau spot-spot.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada perangkat Desa Kampil dan Gumawang, Wiradesa, Pekalongan yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian di daerah tersebut, serta orang-orang yang telah berkontribusi pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dudley D. Rice, George E. Claypool, "Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas," *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 2002.
- [2] L. Arifin, "Distribusi lapisan batuan sedimen yang diduga mengandung gas biogenik dengan metode tahanan jenis di Pantai Saronggi, Sumenep, Madura," *Indones. J. Geosci.*, 2010.
- [3] Subaktian Lubis, "Gas Biogenik Sebagai Energi Migas Nonkonvensional Geomagz Majalah Geologi Populer," <http://geomagz.geologi.esdm.go.id>, 2014.
- [4] Spto Heru Yuwanto, "Interpretasi Zona Alterasi dan Mineralisasi Berdasarkan Data Geolistrik Resistivitas dan Induksi Polaritasi di Daerah Mekar Jaya, Sukabumi, Jawa-Barat," *J. SAINTEK*, vol. 13, no. 2, 2016.
- [5] Y. D. Priambodho, "Identifikasi keberadaan gas biogenik berdasarkan analisis data geolistrik di daerah gumawang, pekalongan, jawa tengah yohanes dimas priambodho," Gadjah Mada University, 2017.
- [6] S. G. and H. S. W. H. Condon, L. Pardyanto, K. B. Ketner, T. C. Amin, "Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa 2nd Edition." Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1996.
- [7] R. W. Van Bemmelen, *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. 1949.



- [8] A. H. Satyana, "CENTRAL JAVA, INDONESIA – A 'TERRA INCOGNITA' IN PETROLEUM EXPLORATION: NEW CONSIDERATIONS ON THE TECTONIC EVOLUTION AND PETROLEUM IMPLICATIONS," in *Proceedings, Indonesian Petroleum Association*, 2018.
- [9] R. Putrohari, "Semburan Gas Pada Sumur Air, Kok Bisa - Dongeng Geologi," <https://geologi.co.id>, 2014. .
- [10] M. Schoell, "Multiple origins of methane in the Earth," *Chem. Geol.*, 1988.
- [11] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Telford - Applied Geophysics*. 1990.
- [12] M. H. Loke, "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys," *Geotomo Softw. Malaysia*, 2013.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*