



APLIKASI GEOLISTRIK 3-DIMENSI UNTUK MENGETAHUI SEBARAN LIMBAH RCO (*RUBBER COMPOUND OILS*) DI KABUPATEN KENDAL

F.V.Daraninggar[✉], Khumaedi, P.Dwijananti

Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Mei 2014

Disetujui Mei 2014

Dipublikasikan Juni 2014

Keywords:

Geoelectric , Waste , Resistivity Method, Rubber Compound Oils

Abstrak

Teknologi pengolahan limbah ban karet bekas hingga menghasilkan minyak bakar RCO (*Rubber Compound Oils*) merupakan solusi menumpuknya ban bekas tidak terpakai. Namun limbah pembuatan minyak bakar RCO yang dibuang langsung berakibat pada pencemaran lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai resistivitas dan pola sebaran 3-dimensi limbah industri RCO di daerah pabrik pengolahan ban bekas Kecamatan Boja, Kabupaten Kendal. Pengambilan data menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner* dengan spasi antar elektroda 5 meter. Data nilai resistivitas limbah industri minyak bakar RCO diolah menggunakan *software IPI2Win*, kemudiandistribusi resistivitas digambarkan dalam bentuk 3-dimensi menggunakan *software Res2dinv*, *Res3dinv*, *Slicer Dicer*. Hasil interpretasi 3-dimensi menyimpulkan bahwa limbah industri minyak bakar RCO telah menyebar lebih dari 43,75 meter ke arah timur pabrik, lebih dari 20 meter ke arah utara dan kedalaman lebih dari 12 meter dengan nilai resistivitas 11-20 ohm.m. Limbah diduga tersebar pada lapisan tanah dengan struktur batuan lempung dan pasir.

Abstract

Waste treatment technology of rubber tires to produce fuel oil RCO (Rubber Compound Oils) is a solution of unused tires that stack . However, the manufacture dump RCO waste oil directly cause environmental pollution . The purpose of this study to determine the value of the resistivity and the 3 - dimensional pattern of distribution RCO industrial waste treatment plant in the factory area, Boja district , Kendal regency. Data collect using geoelectric resistivity tools with Wenner configuration by inter-electrode space is 5 meters. Value data resistivity of RCO oil waste industrial is process using IPI2Win software, then the resistivity distribution depicted in 3 - dimensional form using Res2dinv; Res3dinv; and Slicer Dicer software. Result of 3-dimensional interpretation conclude that the RCO oil waste is possible to have spread over 43.75 meters towards east , 20 meters towards north and 12 meters depth, with resistivity values (11-20) Ωm . RCO oil waste allegedly spread on a layer of soil with a sandy loam rock structure.

PENDAHULUAN

Persediaan minyak bumi mulai menipis, sedangkan kebutuhan akan minyak bumi sebagai bahan bakar semakin meningkat. Hal ini memicu ketertarikan masyarakat untuk mengembangkan sumber bahan bakar industri dengan biodiesel. Bahan bakar biodiesel juga dapat diproduksi dari limbah karet bekas ban kendaraan bermotor. Pengolahan limbah karet bekas ban kendaraan bermotor diolah menjadi bahan bakar alternatif berupa minyak bakar rco (*rubber compound oils*) yang digunakan sebagai bahan bakar (pengganti solar) pada industri besar maupun kecil. Namun, keberadaan limbah pembuatan minyak bakar rco berdampak secara langsung bagi masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar kawasan pabrik pengolahan.

Pembuatan minyak bakar RCO juga memiliki dampak yang merugikan masyarakat apabila pelaksanaannya tanpa diikuti dengan proses pengolahan limbah secara baik. Dari hasil pengamatan langsung, sejumlah sumur milik warga tercemar, air sumur berubah menjadi keruh, baunya menyengat serta menjadi sarang nyamuk. Pencemaran udara oleh proses pengolahan RCO berupa emisi karbon monoksida, karbon dioksida dan berat jenis asap (Pandey, 2009). Karbon monoksida mempengaruhi berbagai organ di dalam tubuh, khususnya otak dan jantung (Bruce, 2003). Keracunan gas CO mengakibatkan hilangnya kesadaran sementara dan peningkatan kadar NO dalam darah (Kao, 2004). Beberapa bahan pencemar lain adalah flour (F) menyebabkan flourosis, chromium (Cr), cadmium (Cd), barium (Ba) yang dapat menyebabkan keracunan (De et al., 2005). Fakta ini juga dimuat oleh Suara Merdeka (2009), saat proses pengolahan ban bekas berlangsung, menimbulkan bau tidak sedap yang sangat menyengat.

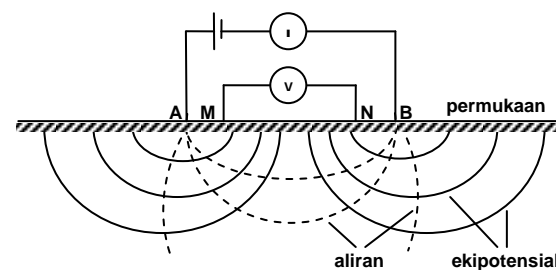
Identifikasi pencemaran yang terjadi di bawah permukaan (pencemaran air dan tanah) tidak dapat dideteksi secara langsung. Oleh karena itu, dilakukan penelitian menggunakan metode geofisika berdasarkan sifat kelistrikan material bawah permukaan (Juandi, 2010). Metode ini sering disebut dengan geolistrik tahanan jenis. Geolistrik tahanan jenis dapat mengenali struktur bawah permukaan dengan mengobservasi kontras warna dari distribusi resistivitas bawah permukaan (Neyamadpour et al., 2010).

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai resistivitas limbah minyak bakar RCO yang dihasilkan dari sisa pengolahan ban bekas dan pola sebaran 3-dimensi limbah industri minyak bakar RCO di Kecamatan Boja, Kabupaten Kendal.

Menurut Prapitari & Yulianto (2013), metode resistivitas 3-dimensi mampu memberikan gambaran bawah permukaan lebih detail meliputi citra distribusi resistivitas limbah dalam penampang vertikal maupun

horizontal. Teknik untuk menggambarkan resistivitas geolistrik 3-dimensi telah dipresentasikan oleh Loke (2004). Berdasarkan penelitian Aizebeokhai & Olayinka (2011), hasil dari penggambaran 3-dimensi adalah grid persegi atau grid persegi panjang dengan spasi elektroda konstan dalam arah sumbu x, y dan z.

Pada metode geolistrik tahanan jenis, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus. Kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda kemudian dapat diturunkan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan dibawah titik ukur (Putra, 2012). Metode geolistrik resistivitas didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis dimana bumi memiliki simetri bola. Pada kenyataannya bumi terdiri dari lapisan-lapisan bebatuan dengan nilai resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tersebut dan menyebabkan nilai tahanan jenis yang terukur tergantung pada jarak elektroda. Nilai tahanan jenis yang terukur bukanlah tahanan jenis yang sebenarnya melainkan tahanan jenis semu (ρ_a).



Gambar 1. Garis arus listrik dan medan potensial yang timbul karena adanya dua sumber arus (Reynolds, 1997)

Gambar 1 menunjukkan bahwa M, N sebagai elektroda potensial dan A, B sebagai elektroda arus (Bowles & Hainim, 1984). Aliran arus selalu tegak lurus baris ekipotensial (daerah potensial listrik diberbagai titik sama). Pada kenyataannya tanah terdiri dari lapisan-lapisan bebatuan dan memiliki resistivitas yang bervariasi dengan posisi elektroda. Nilai yang terukur adalah tahanan jenis semu (ρ_a). Hubungan diatas dapat dilihat dari persamaan berikut (Hendrajaya, 1990) :

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Dari Persamaan 1 dan 2 diperoleh Persamaan tahanan jenis :

$$\rho = \frac{\Delta V A}{I L} \quad (3)$$

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

elektroda arus (Wahyono, 2008). Perhitungan bilangan konstanta K ini berdasarkan rumus :

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \quad (5)$$

Keterangan :

ρ : tahanan jenis dalam ohm-meter
 A : luas penampang dalam meter²
 I : arus listrik yang mengalir dalam ampere
 L : panjang dalam meter
 R : tahanan (resistansi) dalam ohm
 ΔV : beda potensial listrik dalam volt
 k : faktor geometri.

dengan $AM = MN = BM = BN = a$

$$K = 2\pi a \quad (6)$$

Resistivitas semu untuk konfigurasi *Wenner* adalah:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} (\Omega m) \quad (7)$$

Untuk menghitung resistivitas semu, diperlukan suatu bilangan faktor geometri (K) yang merupakan koreksi karena letak (konfigurasi) elektroda potensial dan

Dari Persamaan 7 didapatkan nilai resistivitas material. Untuk membedakan resistivitas material satu dengan yang lain maka diperlukan Tabel 1 sebagai bahan acuan.

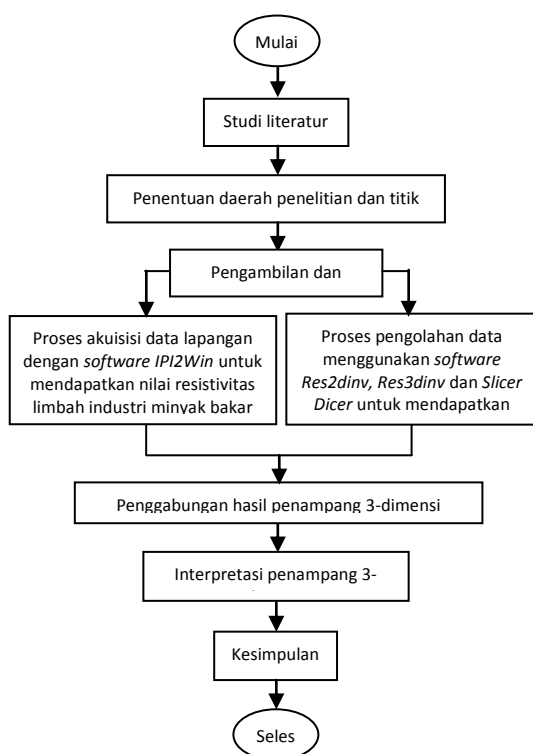
Tabel 1. Resistivitas Batuan dan Fluida (Telford *et al.*, 2004)

Bahan	Resistivitas (Ωm)	Bahan	Resistivitas (Ωm)
Udara (dimuka bumi)	$2 \times 10^4 - 5 \times 10^5$	Tembaga	
Air		Murni	1.7×10^{-8}
Distilasi	2×10^5	Bijih	0.001
Permukaan	$30 \text{ s/d } 3 \times 10^3$	Batuan	
Tambang	$0.4 \text{ s/d } 6 \times 10^2$	Granit	$3 \times 10^2 \text{ s/d } 3 \times 10^6$
Laut	0.21	Gabro	$10^3 - 10^6$
Mineral		Gneis	$6.8 \times 10^4 - 10^6$
Kalsit	5.5×10^{13}	Batugamping	$50 \text{ s/d } 10^7$
Galena	$1 \times 10^{-5} - 2.5 \times 10^{-3}$	Batupasir	$1 \text{ s/d } 10^3$
Magnetit	$8 \times 10^{-5} - 0.005$	Serpih	$20 \text{ s/d } 2 \times 10^3$
Pirit	$2 \times 10^{-5} \text{ s/d } 9 \times 10^{-2}$	Konglomerat	$2 \times 10^3 - 10^4$
Kwarsa	4×10^{10}	Alluvium dan pasir	10 – 800
Batu garam	$10^2 - 10^5$	Tufa	20 – 200
Belerang	$10^{12} - 10^{15}$	Lempung	3 – 20
		Tanah	$1 \text{ s/d } 10^4$

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2013. Pengukuran dalam penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan pengukuran skala laboratorium dan lapangan.

Peralatan yang diperlukan dalam pengambilan data adalah Resistivimeter S-Field, dua buah elektroda arus dan elektroda potensial, dua gulung kabel arus dan potensial masing-masing 150 meter, dua buah Aki kering Yuasa masing-masing 12 volt, palu geologi, meteran, laptop, dan GPS (*Global Positioning System*). Alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengukuran resistivitas limbah skala laboratorium dilakukan dengan dua variasi yaitu pengukuran resistivitas sebelum dan sesudah diberi limbah. Pengambilan data menggunakan medium tanah yang diambil dari lokasi penelitian dalam kotak kayu ukuran (100×50×30)cm. Pengukuran menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Wenner* dengan lima variasi jarak antar elektroda arus dan elektroda potensial. Konfigurasi *Wenner* memiliki susunan jarak spasi sama panjang (Sulistyarini & Irfan, 2011).

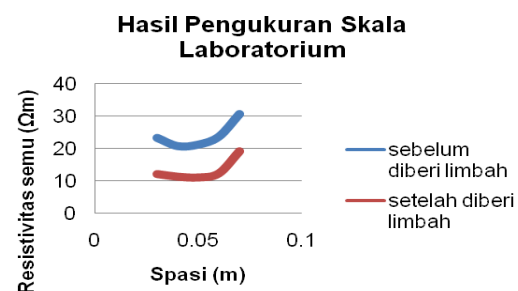
Data yang diperoleh adalah kuat arus listrik (I) serta beda potensial (V) kemudian diinputkan ke dalam *IPI2Win* untuk mendapatkan nilai resistivitas.

Pengukuran resistivitas tanah secara langsung di lokasi penelitian dilakukan dengan mengambil lima lintasan yang sejajar agar dapat diinterpretasikan menjadi model tiga dimensi. Lokasi pengambilan lintasan dipilih berdasarkan data pengamatan yang meliputi letak penimbunan limbah, arah pembuangan limbah dan dampak pada air sumur warga. Lintasan pertama ditentukan dengan jarak 10 meter ke arah timur dari tembok belakang pabrik. Kemudian untuk lintasan kedua dan selanjutnya diberi jarak 11,25 meter untuk setiap lintasan. Panjang setiap lintasan adalah 75 meter dengan spasi antar elektroda 5 meter.

Menggabungkan kelima data penampang lintasan menggunakan software *Res2dinv*, dan menampilkan hasil pola 3-dimensi menggunakan software *Slicer Dicer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran resistivitas limbah skala laboratorium ditunjukkan pada Gambar 3.



























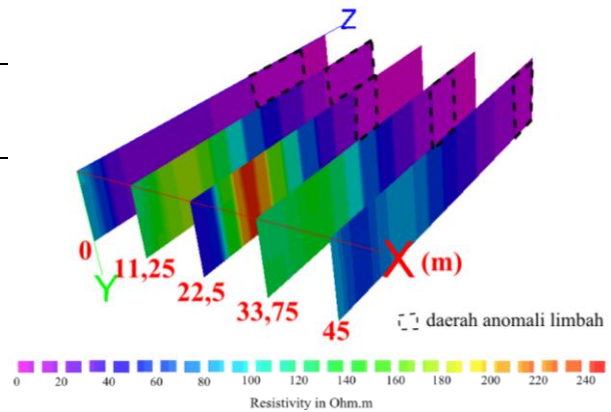
Gambar 3. Hasil pengukuran skala laboratorium

Dari hasil pengukuran resistivitas limbah skala laboratorium didapatkan data nilai resistivitas limbah antara (11–20) Ωm . Penginjeksian limbah cair pada lapisan tanah skala laboratorium dapat mempengaruhi nilai resistivitas tanah. Hal ini dikarenakan limbah yang bersifat konduktif mengisi ruang interfase tanah yang sebelumnya berisi udara.

Pada pengukuran tiga dimensi, area yang diukur seluas (75×45) m^2 . Fokus dari pengambilan data tiga dimensi ini adalah untuk mengetahui pola sebaran limbah industri minyak bakar RCO di area pengukuran. Untuk mempermudah pembacaan nilai resistivitas pada Gambar 4, 5 dan 6 citra warna dapat dikelompokkan sesuai dengan nilai resistivitas lithologi seperti terlihat pada Tabel 2.

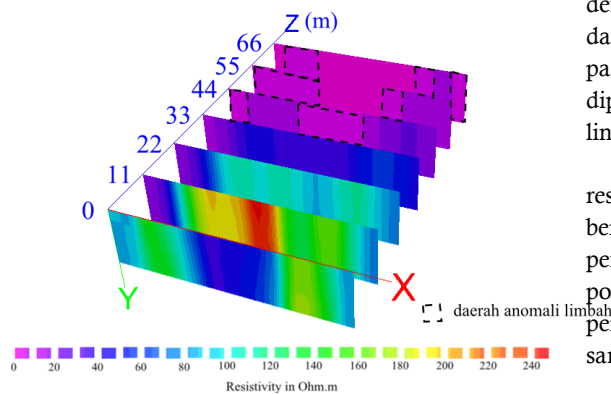
Tabel 2 Citra warna dan nilai resistivitas lokasi

No	Citra Warna	Resistivitas (ohm m)	Lithologi
1		0–10	Batuan lempung
2		10–20	Batuan lempung dan pasir
3		20–30	Batuan tufa dan pasir
4		30–40	Batuan tufa dan pasir
5		40–50	Batuan tufa, gamping, dan pasir
6		50–60	Batuan tufa, gamping, dan pasir
7		60–70	Batuan tufa, gamping, dan pasir
8		70–80	Batuan tufa, gamping, dan pasir
9		80–90	Batuan tufa, gamping, dan pasir
10		90–100	Batuan tufa, gamping, dan pasir
11		100–110	Batuan tufa, gamping, dan pasir
12		110–120	Batuan tufa, gamping, dan pasir
13		120–130	Batuan tufa, gamping, dan pasir
14		130–140	Batuan tufa, gamping, dan pasir
15		140–150	Batuan tufa, gamping, dan pasir
16		150–160	Batuan tufa, gamping, dan pasir
17		160–170	Batuan tufa, gamping, dan pasir
18		170–180	Batuan tufa, gamping, dan pasir
19		180–190	Batuan tufa, gamping, dan pasir
20		190–200	Batuan tufa, gamping, dan pasir
21		200–210	Batuan gamping dan pasir
22		210–220	Batuan gamping dan pasir
23		220–230	Batuan gamping dan pasir
24		230–240	Batuan gamping dan pasir

**Gambar 4.** Penampang vertikal ketebalan lapisan bawah permukaan pada tanah arah sumbu y dan z

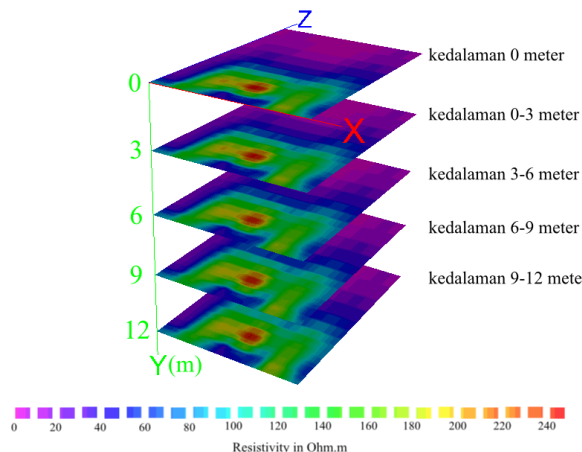
Dilihat dari model penampang vertikal ketebalan lapisan bawah permukaan sesuai pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa sebaran limbah industri minyak bakar RCO dicitrakan dengan warna ungu yaitu memiliki nilai resistivitas antara (11–20) Ω m. Daerah anomali limbah industri minyak bakar RCO terdapat pada irisan kesatu, kedua, ketiga dan keempat. Sebaran limbah terdapat di area (0–33,75) m irisan arah sumbu y dan z. Koreksi untuk lintasan kelima, posisi titik nol tidak sama dengan lintasan lainnya dikarenakan adanya rumah warga yang berjejeran. Titik nol lintasan kelima dimulai dari 15 meter setelah titik nol lintasan lain. Akibat keterbatasan software maka kelima lintasan tersebut tetap diinterpretasikan menjadi satu blok tiga dimensi. Pada lintasan kelima juga telah ditemukan daerah anomali limbah industri minyak bakar RCO dengan lokasi bergeser 15 meter ke utara.

Lintasan pertama ditentukan 10 meter dari tembok belakang pabrik, maka dapat disimpulkan bahwa sebaran limbah industri minyak bakar RCO telah tersebar lebih dari 43,75 meter dari tembok belakang pabrik tepatnya arah timur pabrik. Sebaran limbah dikatakan lebih dari lintasan keempat karena pada lintasan kelima masih terdeteksi limbah industri minyak bakar RCO dengan lokasi bergeser 15 meter ke utara.



Gambar 5. Penampang vertikal ketebalan lapisan bawah permukaan pada tanah arah sumbu x dan y

Dilihat dari model penampang vertikal ketebalan lapisan bawah permukaan (Gambar 5), dapat diketahui bahwa daerah anomali limbah terdapat pada irisan kelima, keenam dan ketujuh. Sebaran limbah terdapat di area (44–66) m arah sumbu x dan y. Limbah industri minyak bakar RCO telah tersebar lebih dari 20 meter ke arah utara.



Gambar 6. Penampang horisontal kedalaman lapisan bawah permukaan pada tanah arah sumbu x dan z

Dilihat dari model penampang horisontal kedalaman lapisan bawah permukaan (Gambar 5), dapat diketahui bahwa daerah anomali limbah terdapat pada semua irisan. Sebaran limbah industri minyak bakar RCO telah mencapai kedalaman 12 meter arah sumbu x dan z. Diperkirakan kedalaman sebaran limbah telah tersebar lebih dari 12 meter karena pabrik telah berdiri cukup lama.

Hasil pengolahan tiga dimensi dapat diketahui bahwa nilai resistivitas sebelah barat menuju ke arah timur semakin menurun, sehingga memiliki kecenderungan bahwa limbah ini mengarah dari sebelah barat menuju sebelah timur. Berdasarkan litologi Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang yang disusun oleh Thanden *et al.* (1996)

dengan formasi Kaligetas, diidentifikasi bahwa di daerah penelitian didominasi oleh batuan lempung pasir. Luas penyebaran air bawah tanah sangat dipengaruhi iklim terutama curah hujan dan kondisi lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai resistivitas limbah industri minyak bakar RCO berkisar antara (11–20) Ωm . Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Juandi (2010) menyelidiki pola sebaran limbah pengolahan karet bawah permukaan tanah dengan nilai resistivitas 7,11 Ωm sampai 96,6 Ωm dan 20,8 Ωm sampai 122 Ωm .

Pola distribusi resistivitas pada penelitian menunjukkan bahwa efek dari limbah industri minyak bakar RCO menyebabkan berkurangnya nilai resistivitas bawah permukaan tanah, semakin bertambahnya kedalaman limbah industri minyak bakar RCO yang merembes akan menyebabkan nilai resistivitas semakin berkurang. Berkurangnya nilai resistivitas ini disebabkan oleh limbah industri minyak bakar RCO yang bersifat konduktif sehingga memperkecil nilai resistivitas tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Telford *et al.* (2004) bahwa faktor-faktor yang berpengaruh adalah komposisi litologi, kondisi batuan, komposisi mineral yang terkandung, kandungan benda cair. Jika air dicemari oleh limbah yang berasal dari industri maka kandungan zat padat tersebut akan meningkat sehingga memperkecil nilai resistivitas tanah.

Hasil interpretasi tiga dimensi menunjukkan bahwa limbah industri minyak bakar RCO sangat dimungkinkan telah menyebar lebih dari 43,75 meter ke arah timur, 20 meter ke arah utara dan kedalaman 12 meter dengan nilai resistivitas (11–20) Ωm . Limbah tersebut diduga tersebar pada lapisan tanah dengan struktur batuan lempung pasir. Batuan lempung memiliki daya ikat antar batuan sangat lemah dan memiliki nilai porositas cukup tinggi yakni 45% tetapi juga memiliki nilai permeabilitas sangat kecil (0,0004 m/hari) sehingga batu lempung dapat menyimpan air tetapi tidak mampu mengalirkan (air terjebak), sedangkan batu pasir memiliki nilai porositas 15% dan nilai permeabilitas (4,1 m/hari) dan merupakan batuan yang berfungsi sebagai lapisan penyerap yang dapat menyimpan air. Pola sebaran limbah RCO menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu maka limbah RCO cenderung akan mempengaruhi struktur tanah yang lebih dalam, sedangkan pada bagian permukaan efeknya akan berkurang. Hal ini disebabkan karena faktor ruang pori yang mengakibatkan kedalaman efek limbah cenderung bertambah.

Berdasarkan acuan penelitian sebelumnya, interpretasi hasil penelitian mengungkapkan bahwa

tanah di sekitar daerah penelitian termasuk pada tingkat pencemaran tinggi. Hal ini karena nilai resistivitas yang dihasilkan sesuai dengan rentang minimum dari penelitian terdahulu. Pengolahan limbah ban bekas kendaraan bermotor menghasilkan minyak yang memiliki daya oktan setara dengan solar (Renenergy, 2013). Angka oktan adalah kemampuan bahan bakar untuk tidak mudah terbakar atau menunggu rambatan api dari busi, sedangkan angka cetane adalah kemampuan bahan bakar untuk terbakar lebih cepat setelah diinjeksikan ke ruang bakar. Semakin cepat suatu bahan bakar mesin diesel terbakar setelah diinjeksikan ke dalam ruang bakar, semakin baik (tinggi) angka cetane bahan bakar tersebut. Untuk saat ini angka cetane solar yang ada dipasaran adalah 48 (Yusla, 2011).

RCO berwarna hitam pekat sesuai warna dasar karet ban bekas dan berbau agak tajam. Selama ini, RCO dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin *Boiler* yang sebelumnya menggunakan solar, minyak tanah atau batu bara sebagai bahan bakar (Renenergy, 2013). Ban meleleh dan menghasilkan minyak saat terbakar, sehingga lindi cair (minyak pirolitik) dapat mencemari permukaan dan air tanah (Salimon *et al.*, 2012). Berdasarkan sifatnya, limbah industri minyak bakar RCO sangat berbahaya bagi lingkungan karena dari beberapa kajian menyebutkan bahwa limbah industri minyak bakar RCO mempunyai kandungan zat-zat beracun. Sesuai dengan pernyataan Zulkifli & Anwar (1994), diduga bahan pencemar yang paling mendominasi adalah amoniak (NH_3) karena beberapa masyarakat mengeluhkan iritasi kulit dan infeksi saluran pernafasan. Dengan melihat sebaran limbah dan aspek fisis tanah, maka penanganan limbah melalui pengolahan limbah harus benar-benar dilakukan sesuai prosedur agar dampak terhadap lingkungan tidak semakin meluas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa nilai resistivitas limbah industri minyak bakar RCO di Kecamatan Boja, Kabupaten Kendal yaitu antara (11–20) Ωm . Limbah industri minyak bakar RCO sangat dimungkinkan telah menyebar lebih dari 43,75 meter ke arah timur (sumbu x), 20 meter ke arah utara (sumbu z) dan kedalaman 12 meter (sumbu y) dengan nilai resistivitas (11–20) Ωm . Limbah tersebut diduga tersebar pada lapisan tanah dengan keadaan batuan lempung pasir.

Saran yang diharapkan dalam penelitian ini adalah penduduk sekitar pabrik pengolahan

ban bekas kendaraan bermotor tidak disarankan mengkonsumsi air sumur karena telah terindikasi pencemaran limbah minyak bakar RCO. Pabrik disarankan segera membuat sistem pembuangan limbah sendiri agar dampak dari limbah minyak bakar RCO tidak semakin meluas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aizebeokhai, A.P. & A.I. Olayinka. 2011. Anomaly Effects of Orthogonal Paired-Arrays for 3D Geoelectrical Resistivity Imaging. *Environ Earth Sci*, 64: 2141–2149.
- Bowles, J.E. & J.K. Hainim. 1984. *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Bruce, E.N. & M.C. Bruce. 2003. A Multicompanement Model of Cartoxyhemoglobin and Carboxymyoglobin Responses to Inhalation of Carbon Monoxide. *J Appl Physiol*, 95: 1235-1247.
- De, S.K., A. I. Isayev, & K. Khait. 2005. *Rubber Recycling*. New York: Taylor & Francis Group CRC Press.
- Hendrajaya, L. & I. Arif. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA ITB.
- Juandi. 2010. Penyelidikan Pola Sebaran Limbah Karet Bawah Permukaan Tanah dengan Metode Geolistrik. *Journal of Environmental Science*, 4 : 36-45.
- Kao, L.W. & K.A. Nanagas. 2004. Carbon Monoxide Poisoning. *Emerg Med Clin North Am*, 22: 985-1018.
- Loke, M.H. 2004. *Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Tersedia di www.geoelectrical.com [diakses 7 Maret 2014].
- Neyamadpour, A., W.A.T.W. Abdullah, & S. Taib. 2010. Use of Four-Electrode Arrays in Three-Dimensional Electrical Resistivity Imaging Survey. *Stud Geophys Geod*, 54: 299-311.
- Pandey, A. 2009. *Handbook of Plant-Based Biofuels*. New York: Taylor & Francis Group CRC Press.

- Prapitari, A. & T. Yulianto. 2013. Penggunaan Metode Geolistrik Resistivitas 3-Dimensi untuk Mengetahui Sebaran Limbah di TPA Jatibarang Kota Semarang. *Youngster Physics Journal*, 1(4): 59-70.
- Putra, I.K. 2012. *Identifikasi Arah Rembesan dan Letak Akumulasi Lindi dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner – Schlumberger di TPA Temesi Kabupaten Gianyar*. Tesis. Denpasar : Universitas Udayana.
- Renergy Cahaya Indonesia. 2013. *Bio Rubber Fuel*. Tersedia di <http://renergyindo.com/product/bio-rubber-fuel> [diakses 24-12-2013].
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Inggris : John Willey and Sons Ltd.
- Salimon, J., B.M. Abdullah, & N. Salih. 2012. Rubber (Hevea Brasiliensis) Seed Oil Toxicity Effect and Linamarin Compound Analysis. *Health and Disease*, 11-74.
- Suara Merdeka. 21 Desember 2009. *Warga Keluhkan Polusi Pabrik Ban*. Semarang Metro. www.suaramerdeka.com [diakses 17-03-2013].
- Suara Merdeka. 09 Februari 2011. *Puluhan Warga Meteseh Demo*. Semarang Metro. www.suaramerdeka.com [diakses 17-03-2013].
- Sulistyarini, I.Y. & Irjan. 2011. Aplikasi Metode Geolistrik dalam Survey Potensi Hidrothermal (Studi Kasus: Sekitar Sumber Air Panas Kasinan Pesanggrahan Batu). *Jurnal Neutrino*, 4(1): 24-34.
- Telford, W.M., L.P. Geldart & R.E. Sheriff. 2004. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thanden, R.E., H. Sumadirdja, P.W. Richards, K. Sutisna, & T.C. Amin. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa (Edisi Kedua)*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Wahyono, S.C., S.S. Siregar, & T. Wianto. 2008. Penentuan Lapisan Akuifer Berdasarkan Sifat Karakteristik Kelistrikan Bumi. *Jurnal Fisika FLUX*, 5(1): 23-37.
- Yusla. 2011. *Kaji Pengaruh Substitusi Ethanol Pada Solar Terhadap Kinerja Mesin Diesel Perkins (Tipe 4 - 108v)*. Tugas Akhir. Makasar: Universitas Hasanuddin Makassar.
- Zulkifli & J. Anwar. 1994. Alternatif Penanggulangan Limbah Pabrik Karet. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 14(1): 60-67.