



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**IDENTIFIKASI LIMBAH BATUBARA PADA
STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH
DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

UNNES

oleh

Indah Afrari
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
4211411042

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2016

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 9 September 2016

Pembimbing I



Dr. Ian Yulianti, S.Si., M.Eng.
NIP.19770701 200501 2 001

Pembimbing II



Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP.19630610 198901 1 002

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di Universitas Negeri Semarang (UNNES) dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Semarang, 9 September 2016

Indah Afrari
NIM 4211411042

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Identifikasi Limbah Batubara Pada Struktur Bawah Permukaan Tanah Dengan Menggunakan Metode Geolistrik.

disusun oleh:

Indah Afrari

4211411042

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 9 September 2016.



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt
NIP. 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si
NIP. 19680714 199603 1 005

Ketua penguji

Prof. Dr. Supriyadi, M.Si
NIP. 19650518 199102 1 001

Anggota Penguji/Pembimbing I

Dr. Ian Yulianti, S.Si., M.Eng.
NIP. 19770701 200501 2 001

Anggota-Penguji/ Pembimbing II

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 19630610 198901 1 002

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO

- Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah kepada Tuhanmu. (Q.S Al Insyirah : 6-8)
- Jadilah seperti karang di lautan yang selalu kuat meskipun terus dihantam ombak dan lakukanlah hal yang bermanfaat untuk diri sendiri dan juga untuk orang lain, karena hidup tidak abadi.
- Semua orang tidak perlu menjadi malu karena pernah berbuat kesalahan, selama ia menjadi lebih bijaksana daripada sebelumnya." (Alexander Pope)
- Manusia tidak merancang untuk gagal, mereka gagal untuk merancang." (William J. Siegel)



PERSEMBAHAN
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG Untuk Bapak dan Ibu
Untuk Mbaku, Masku dan adek-adekku
Untuk Keluarga besar Fisika Bumi '11
Untuk semua orang yang percaya bahwa Allah itu ada dalam hati kita

KATA PENGANTAR

Segala puji milik Tuhan semesta alam berkat rahmat dan bimbinganNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Identifikasi Limbah Batubara pada Struktur Bawah Permukaan Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt, Dekan FMIPA UNNES.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNNES.
4. Dr. Ian Yulianti, S. Si., M. Eng, Pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Khumaedi, M.Si. Pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Dr. Sulhadi, M. Si, Kepala Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang.
7. Teguh Eriyanto (crew PLTU Jepara) dalam membantu penelitian.
8. Aku persembahkan cinta dan sayangku kepada Orang tua ku, kakaku dan adik ku yang telah menjadi motivasi dan inspirasi dan tiada henti memberikan

dukungan do'anya buat aku. "Tanpa keluarga, manusia, sendiri di dunia, gemetar dalam dingin."

9. Sahabat-sahabatku diskusi yang senantiasa menjadi penyemangat dan menemani disetiap hariku. "Sahabat merupakan salah satu sumber kebahagiaan dikala kita merasa tidak bahagia".
10. Teman-teman Geofisika 2011 yang selalu menjadi partner belajar.
11. Keluarga besar Fisika 2011 yang memberikan kesan indah selama kuliah.
12. Rodhotul Muttaqin, S.Si., dan Wasi Sakti Wiwit Prayitno, S.Pd., Laboran Lab. Fisika Unnes yang banyak memberikan bantuan serta masukan.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis juga mohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini ada beberapa kekurangan dan kesalahan, serta masih jauh dari kesempurnaan, karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Namun penulis hanya berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, lembaga yang terkait, masyarakat dan kepada para pembaca pada umumnya. Penulis juga sangat mengharapkan adanya kritik serta saran demi menyempurnakan kajian ini. Semoga penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat menjadikan sumbangsih bagi kemajuan dunia medik di Indonesia. Amin.

Semarang, 9 September 2016

Penulis



Indah Afrari
4211411042

ABSTRAK

Afrari, Indah. 2016. *Identifikasi Limbah Batubara pada Struktur Bawah Permukaan Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Ian Yulianti, S. Si., M. Eng dan Pembimbing Pendamping Dr. Khumaedi, M.Si.

Kata kunci: Limbah Batubara (*Flyash*), Resistivitas, Geolistrik, Schlumberger, Res2Dinv

Limbah batubara (*flyash*) merupakan limbah yang mengandung beberapa unsur logam berat yang tersebar di sekitar PLTU berupa debu dan digolongkan sebagai bahan berbahaya dan beracun. Menurut studi kajian pustaka yang telah dilakukan, penelitian mengenai pencemaran limbah batubara ini hanya terbatas pada kajian karakterisasi unsur kimia yang terkandung dalam limbah batubara. Penelitian yang melibatkan metode geofisika untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah yang tercemar oleh limbah batubara belum pernah dilakukan. Untuk mengetahui lebih jauh tentang identifikasi pencemaran limbah batubara terhadap struktur bawah permukaan tanah, maka perlu dilakukan uji laboratorium dengan metode geofisika. Penelitian ini merupakan studi geofisika berupa pemodelan fisis yang memanfaatkan metode geolistrik tanah jenis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistivitas tanah sebelum dan sesudah tercemar limbah batubara serta persebaran limbah batubara pada struktur bawah permukaan tanah. Pada penelitian ini dilakukan Pengambilan data dengan 2 lintasan. Lintasan 1 melakukan penanaman dengan memiringkan tanah sedalam 30 cm, lintasan 2 melakukan penanaman dan pencampuran limbah batubara dengan tanah sedalam 120 cm lalu didiamkan selama 20 hari yang kemudian diukur dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger*. Data yang diperoleh diolah menggunakan perangkat lunak *Res2Dinv*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistivitas limbah *flyash* pada lintasan 1 sekitar 316,22-565,34 Ωm . Sementara itu, nilai resistivitas tanah yang tercemar limbah *flyash* pada lintasan 2 pada pengukuran hari pertama adalah pada rentang 177,82 - 316,22 Ωm , pengukuran hari kedua nilai resistivitasnya 177,82 - 316,22 Ωm , pengukuran hari ketiga nilai resistivitasnya 177,82 - 316,22 Ωm dan pengukuran hari ke-20 nilai resistivitasnya 177,82 - 316,22 Ωm . Hal ini menunjukkan bahwa nilai resistivitas tanah yang tercemar limbah *flyash* sekitar 177,82-316,22 Ωm . Persebaran limbah *flyash* dalam skala laboratorium ini terlihat pada hari ketiga dan hari ke-20 menuju arah horizontal yaitu menuju titik 9 dan ke titik 6 kemudian kearah vertikal pada kedalaman sekitar 1,5 m lebih dalam dari titik penanaman limbah *flyash*.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Metode Geolistrik.....	7
2.2 Aliran Listrik didalam Bumi	9
2.3 Resistivitas Semu	11
2.4 <i>Res2DinV</i>	12
2.5 Sifat Listrik Batuan	14
2.5.1 Konduksi Listrik pada Batuan.....	14
2.5.2 Resistivitas Batuan	16
2.6 Pengertian Batubara	17

2.6.1	Jenis-jenis Batu Bara.....	18
2.7	Pencemaran Tanah oleh Limbah Batubara.....	19
2.8	Keadaan Geologi Daerah Penelitian	22
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		24
3.1	Subjek.....	24
3.2	Variabel Penelitian	24
3.3	Tahapan Penelitian	24
3.3.1	Tahap Persiapan Pra Lapangan	24
3.3.2	Tahap Persiapan Lapangan.....	25
3.3.3	Tahap Akuisisi Data	25
3.3.4	Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data	26
3.4	Bagan Alur Pelaksanaan Penelitian.....	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Lintasan 1	29
4.1.1	Nilai Resistivitas Tanah tanpa Limbah <i>Flyash</i>	29
4.1.2	Nilai Resistivitas Limbah <i>Flyash</i>	32
4.2	Lintasan 2	33
4.2.1	Nilai Resistivitas Tanah Sebelum Tercemar Limbah <i>Flyash</i>	33
4.2.2	Nilai Resistivitas Tanah yang Tercemar Limbah <i>Flyash</i> pada Hari Kedua	34
4.2.3	Nilai Resistivitas Tanah yang Tercemar Limbah <i>Flyash</i> pada Hari Ketiga	35
4.2.4	Nilai Resistivitas Tanah yang Tercemar Limbah <i>Flyash</i> pada Hari Ke-20.....	36
BAB 5 PENUTUP		38
5.1	Simpulan.....	38
5.2	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA		39
LAMPIRAN.....		41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konfigurasi elektroda Schlumberger	8
Gambar 2.2 Equipotensial dan garis arus dari dua titik sumber di permukaan.....	10
Gambar 2.3 Konsep resistivitas semu	12
Gambar 2.4 Peta geologi kota semarang.....	23
Gambar 3.1 Desain penelitian	25
Gambar 3.2 Alur Penelitian.....	28
Gambar 4.1 Penampang nilai resistivitas tanah tanpa limbah <i>flyash</i> pada lintasan 1	30
Gambar 4.2 Penampang nilai resistivitas tanah setelah dimasukkan limbah <i>flyash</i> pada lintasan 1	32
Gambar 4.3 Penampang nilai resistivitas tanah sebelum tercemar limbah <i>flyash</i> hari pertama pada lintasan 2	34
Gambar 4.4 Penampang nilai resistivitas tanah setelah tercemar limbah <i>flyash</i> hari kedua pada lintasan 2	35
Gambar 4.5 Penampang nilai resistivitas tanah setelah tercemar limbah <i>flyash</i> hari ketiga pada lintasan 2	36
Gambar 4.6 Penampang nilai resistivitas tanah setelah tercemar limbah <i>flyash</i> hari ke-20 pada lintasan 2.....	37

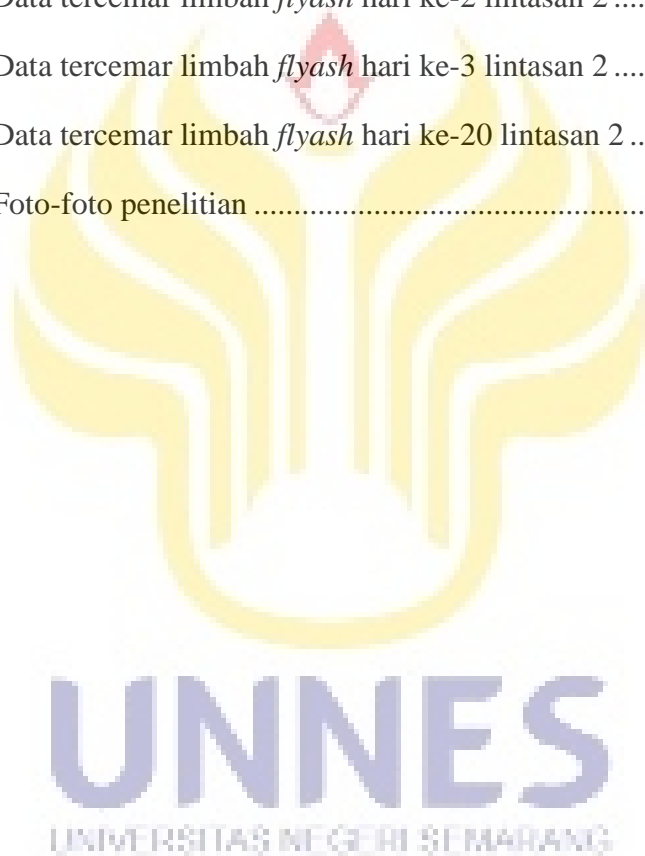
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai resistivitas berbagai bahan mineral bumi	16
Tabel 4.1 Nilai resistivitas batuan berdasarkan citra warna.....	31



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data tanpa limbah <i>flyash</i> lintasan 1	41
Lampiran 2 Data resistivitas limbah <i>flyash</i> lintasan 1	43
Lampiran 3 Data tanpa limbah <i>flyash</i> hari ke-1 lintasan 2.....	45
Lampiran 4 Data tercemar limbah <i>flyash</i> hari ke-2 lintasan 2	47
Lampiran 5 Data tercemar limbah <i>flyash</i> hari ke-3 lintasan 2	50
Lampiran 6 Data tercemar limbah <i>flyash</i> hari ke-20 lintasan 2	52
Lampiran 7 Foto-foto penelitian	54



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kekayaan sumber daya alam di Indonesia sangatlah berlimpah, salah satunya adalah sumberdaya batubara. Sumberdaya batubara di Indonesia berpotensi sangat besar. Dari segi kuantitasnya, Batubara merupakan cadangan energi fosil terpenting bagi Indonesia. Diperkirakan mencapai 36 milyar ton sumberdaya batubara di Indonesia dan tersebar di Sumatera, Kalimantan dan sisanya di Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya. Jika dianalogikan jumlah tersebut dapat digunakan untuk pasokan kebutuhan energi listrik Indonesia hingga ratusan tahun ke depan. Akan tetapi, hal tersebut tidak mungkin dilakukan karena membakar habis batubara dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui PLTU dapat mengotori lingkungan melalui polutan CO_2 , SO_2NO_x dan C_xH_y . Selain itu hal tersebut dinilai kurang efisien dan kurang memberi nilai ekonomis (Sahal, 2013).

PLTU menggunakan jenis batubara bitumen dengan mutu yang lebih tinggi, memiliki kandungan karbon yang lebih banyak, tingkat kelembaban yang lebih rendah dan menghasilkan energi yang lebih banyak. Penggunaan bahan bakar padat berupa batubara pada industri PLTU mengakibatkan timbulnya limbah padat, salah satunya abu terbang (*fly ash*). Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatic precipitator. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus

yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator elektrostatis biasanya berukuran silt (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Limbah tersebut mengandung beberapa unsur logam berat yang digolongkan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B-3) seperti Pb, Hg, Ar, Ni, Se yang kadarnya jauh dari ambang batas (Iswan, 2010).

Oleh karena itu, limbah batubara memiliki dampak bagi lingkungan sekitar yaitu Pencemaran di tanah dan air yang akan berakibat buruk bagi pertanian. Lahan gambut yang berfungsi sebagai penjernih air bisa rusak sehingga ketahanan pangan bisa hancur akibat limbah batubara.

Menurut Souisa M dan Sapulete S (2013) struktur lapisan tanah dibawah permukaan bumi yang tercemar oleh limbah batubara mengandung senyawa organik dari berbagai jenis logam yang bersifat konduktif. Oleh karena itu, tanah yang tercemar oleh limbah batubara dapat dideteksi dari nilai resistivitasnya. Nilai resistivitas dapat diketahui dengan menggunakan metode geolistrik.

Penelitian mengenai pencemaran lingkungan menggunakan metode geolistrik telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Karyanto (2005) dan

Pujiastuti (2014). Karyanto (2005) menggunakan metode geolistrik konfigurasi pole-pole yang bertujuan untuk mengidentifikasi penyebaran limbah sekitar Tempat Pembuangan Sampah (TPA), hasilnya menunjukkan bahwa penyebaran polutan dalam hal ini limbah cair cenderung menyebar ke arah horisontal (mendatar). Sedangkan Pujiastuti (2014) menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger yang bertujuan untuk mengetahui sebaran rembesan limbah karet bawah permukaan tanah. Hasil penelitian Pujiastuti (2014) semakin banyak limbah karet yang berada pada permukaan tanah akan mempengaruhi nilai resistivitas tanah. Hal ini dikarenakan air limbah karet yang menumpuk di dalam tanah akan berfermentasi mengakibatkan konsentrasi limbah semakin besar. Semakin besarnya konsentrasi dari limbah mengakibatkan nilai resistivitas bertambah.

Metode geolistrik adalah metode geofisika yang dapat menggambarkan keberadaan batuan atau mineral di bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan dari batuan atau mineralnya. Resistivitas batuan bawah permukaan dapat dihitung dengan mengetahui besar arus yang dipancarkan melalui elektroda dan besar potensial yang dihasilkan. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi atau jarak elektroda arus maka efek penembusan arus kebawah makin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan dapat diketahui sifat-sifat fisisnya (Nadliroh *et.al*, 2012).

Pada metode geolistrik, terdapat beberapa konfigurasi diantaranya konfigurasi wenner dan konfigurasi schlumberger. Kelebihan konfigurasi

schlumberger adalah mampu mendeteksi adanya sifat ketidakhomogenan lapisan batuan, sedangkan konfigurasi wenner tidak mampu mendeteksi homogenitas batuan. Menurut studi kajian pustaka yang telah dilakukan, penelitian mengenai pencemaran limbah batubara ini hanya terbatas pada kajian karakterisasi unsur kimia yang terkandung dalam limbah batubara. Penelitian yang melibatkan metode geofisika untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah yang tercemar belum pernah dilakukan. Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian mengenai “**Identifikasi Limbah Batubara pada Struktur Bawah Permukaan Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik**”. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran nilai resistivitas tanah yang tercemar limbah batubara dalam skala laboratorium. Metode yang akan digunakan adalah metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger*.

Penyelidikan skala laboratorium diperlukan untuk mengetahui dan menguji pengaruh limbah batubara terhadap resistivitas tanah, sebelum mengaplikasikannya ke skala lapangan yang kompleks dan luas. Apabila diaplikasikan langsung ke lapangan, pengaruh variabel limbah batubara relatif sulit diamati karena tidak ada kontrolnya. Pemodelan skala laboratorium dipilih untuk mengetahui pengaruh 1 variabel bebas berupa penambahan limbah batubara pada tanah terhadap variabel terikat berupa sifat kelistrikan tanah dengan variabel kontrol berupa jenis tanah tanpa pengamatan pengaruh lainnya seperti air atau jenis limbah lain.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dituliskan, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana nilai resistivitas tanah sebelum dan sesudah dimasukkan limbah batubara dengan menggunakan metode geolistrik?
2. Bagaimana persebaran limbah batubara pada struktur bawah permukaan tanah?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui nilai resistivitas tanah sebelum dan sesudah dimasukkan limbah batubara.
2. Mengetahui persebaran limbah batubara pada struktur bawah permukaan tanah.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Sebagai studi pustaka penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan limbah batubara.
2. Sebagai pengetahuan tambahan dalam mengaplikasikan metode geofisika yaitu metode geolistrik.
3. Hasil penelitian dapat mengetahui nilai resistivitas tanah yang tercemar oleh limbah batubara.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Unsur yang diteliti adalah resistivitas.
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan metode geofisika yang menggambarkan keberadaan batuan atau mineral dibawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan dari batuan atau materialnya. Pengamatan secara langsung untuk mengetahui seberapa cepat rembesan di bawah permukaan tanah sulit dilakukan. Kasus ini dapat diselidiki dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas. Metode geolistrik resistivitas ini menggunakan aliran listrik searah yang diinjeksikan melalui dua buah elektroda arus ke dalam bumi. Selanjutnya dua buah elektroda potensial yang berada di tempat lain juga diamati untuk mengetahui nilai potensialnya. Melalui nilai resistivitas listrik, material penyusun suatu struktur bawah permukaan bumi dapat diketahui. Pada metode geolistrik diasumsikan bahwa bumi merupakan medium homogen isotropis. Tahanan jenis yang terukur tidak bergantung pada spasi elektroda. Metode geolistrik terdapat bermacam-macam konfigurasi elektroda didalamnya, salah satunya konfigurasinya adalah konfigurasi elektroda Schlumberger (Nadliroh *et.al*, 2012).

Pada metode geolistrik, tujuan dari konfigurasi Schlumberger adalah untuk mengetahui struktur horizontal dan vertikal bawah permukaan tanah. Arus diinjeksikan melalui elektroda arus kemudian beda potensial diukur dengan jarak elektroda arus jauh lebih besar dari jarak elektroda potensial. Arus yang mengalir

pada suatu medium sebanding dengan potensial yang terukur dan berbanding terbalik dengan nilai resistansi,

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Sedangkan persamaan tahanan jenis suatu medium sebagai berikut :

$$\rho = \frac{V A}{I L} \quad (2.2)$$

dimana, R = nilai resistansi (Ω)

V = beda potensial listrik (V)

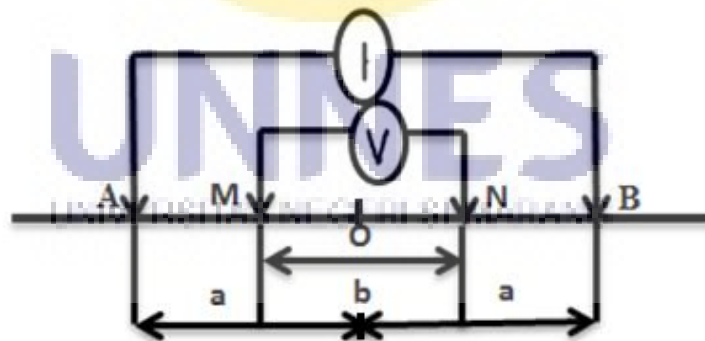
I = beda arus listrik (A)

L = panjang (m)

A = luas penampang (m^2)

ρ = resistivitas bahan (Ωm)

Konfigurasi elektroda Schumberger ditunjukkan pada Gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 Konfigurasi elektroda Schlumberger

Jarak elektroda arus (AB) jauh lebih besar dari jarak elektroda tegangan (MN).

Hukum dasar kelistrikan yang digunakan pada metode geolistrik adalah Hukum Ohm.

$$J = \sigma E \quad (2.3)$$

dimana J = rapat arus, σ = konduktivitas, E = medan listrik. Hubungan antara beda potensial antara dua titik dengan medan listrik dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta V = \Delta L \quad (2.4)$$

Rapat arus didefinisikan sebagai banyaknya arus yang mengalir persatuan luas, sehingga:

$$\frac{I}{A} = \sigma E \quad (2.5)$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2.6)$$

Sehingga persamaan diatas menjadi $I = A\Delta V/\rho l$, dengan $E = \frac{\Delta V}{l}$.

2.2 Aliran Listrik didalam Bumi

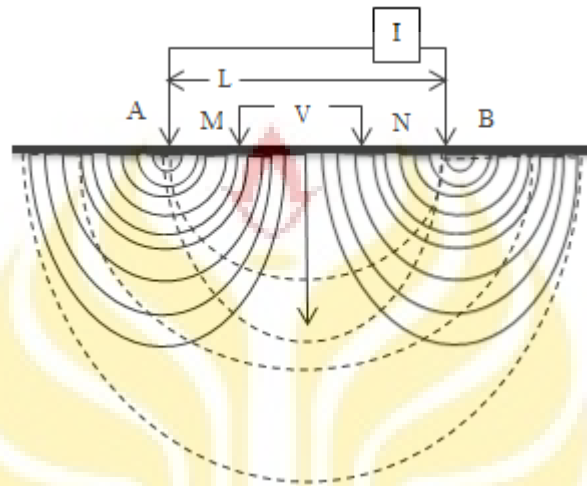
Dalam metode Geolistrik, bumi dianggap memiliki sifat homogen, sehingga memiliki nilai resistivitas yang sama. Penginjeksian arus $+I$ akan mengalir secara radial setengah bola di dalam bumi, sehingga ekuipotensial akan dipusatkan di titik tertentu. Apabila beda potensial antar titik pada jarak r dan $r + dr$ dari sumbu maka potensial diantara jarak belahan bumi adalah

$$-dV = \frac{I\rho}{2\pi r^2} dr \quad (2.7)$$

dengan mengintegrasikan persamaan (7), maka didapatkan potensial V pada jarak r dari sumber arus $+I$, sebagai berikut :

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.8)$$

bila dibuat penampang melalui sumber A dan B , maka terlihat pola distribusi bidang equipotensial seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Keterangan : ————— = Equipotensial
 - - - - - = Arus (I)

Gambar 2.2 Equipotensial dan garis arus dari dua titik sumber di permukaan
 Potensial pada di titik M adalah :

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (2.9)$$

dan Potensial pada di titik N adalah :

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right). \quad (2.10)$$

Beda potensial yang terjadi antara MN yang diakibatkan oleh injeksi arus pada AB pada gambar diatas adalah :

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2.11)$$

$$\rho_a = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.12)$$

dengan

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right]^{-1} \quad (2.13)$$

MN = spasi elektroda potensial, AM dan NB = kelipatan bulat spasi elektroda (na), dan $MB = AN = a(n+1)$.

dimana,

ρ_a = tahanan terukur (apparent resistivity)

ΔV = potensial yang terukur

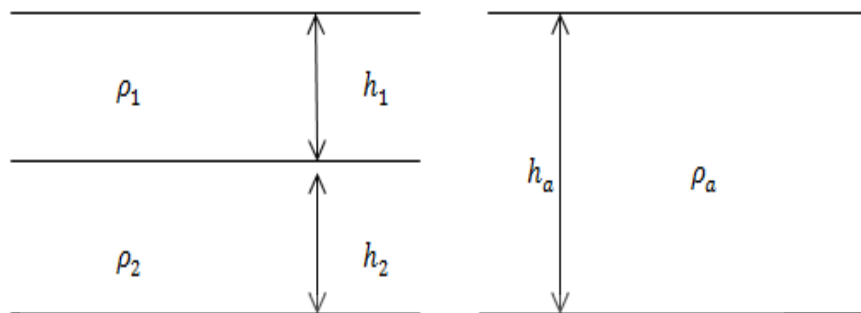
I = arus listrik yang mengalir

K = faktor geometri konfigurasi schlumberger

2.3 Resistivitas Semu

Dengan menganggap bumi bersifat homogen isotropik, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung pada spasi elektroda. Namun, pada kenyataannya bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan ρ yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut.

Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konsep resistivitas semu

Dalam pengukuran, medium yang terdiri dari dua lapis dianggap medium satu lapis homogen yang memiliki satu harga resistivitas yaitu resistivitas semu (ρ_a).

2.4 *Res2Dinv*

Res2Dinv adalah program komputer untuk menentukan model *resistivity* 2 dimensi (2D) untuk bawah permukaan dari data hasil survey geolistrik. Model 2D menggunakan program inversi dengan teknik optimasi *least-square* non linier dan *subroutine* dari permodelan maju digunakan untuk menghitung nilai resistivitas semu (Geotomo, 2007:1). Inversi dalam *Res2Dinv* merupakan proses pemodelan nilai (ρ) berdasarkan (ρ_a). Nilai resistivitas sebenarnya (ρ) diperoleh melalui proses inversi nilai (ρ_a). Pengolahan data resistivitas dapat dilakukan dengan menggunakan komputer dan *software Res2Dinv*. *Software Res2Dinv* menggunakan metode *Least Square (kuadrat kecil)* saat proses inversi dilakukan. Metode *Least square (kuadrat kecil)* adalah suatu metode untuk menghitung suatu kurva sedemikian sehingga meminimumkan ralat penyesuaian ini di titik-titik data tersebut. Nilai resistivitas yang diperoleh pada pengambilan data bukanlah

merupakan data resistivitas yang sebenarnya. Untuk menghasilkan data resistivitas sebenarnya diperlukan memecahkan solusi persamaan berikut :

$$-\nabla \cdot [\sigma(x, y, z) \nabla \Phi(x, y, z)] = \left(\frac{1}{\Delta V} \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \right) \quad (2.14)$$

Dimana σ adalah konduktivitas bahan dalam meter/ohm, Φ adalah porositas batuan dan δ adalah perubahan posisi elektroda.

Solusi dari persamaan (2.14) dapat diselesaikan secara numerik menggunakan metode beda hingga dan elemen hingga.

Metode *Least Square* dalam *software* Res2DInv terdiri atas dua macam metode yaitu:

1. *Standard Smoothness-Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas antar material cenderung gradual atau tidak memiliki kontak yang tajam.
2. *Robust Constrain Least Square Inversion*, digunakan untuk zona dengan batas kontak antar material yang tajam misalnya zona patahan atau kontak batuan intrusif-lapisan mineral logam (Geotomo, 2007:15).

Hasil inversi merupakan model distribusi nilai resistivitas material bawah permukaan Bumi yang dapat disebut *resistivity pseudosection* atau *inverse model resistivity section*. Model yang diperoleh melalui proses inversi akan selalu memiliki nilai *residual error* atau *root mean squared error* (RMSE). Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai *error* yang ada. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi

matematis yang sama secara berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan (Loke, 1999:237).

Nilai RMSE menunjukkan tingkat perbedaan dari pengukuran nilai resistivitas material terhadap nilai resistivitas material yang sebenarnya. Semakin besar nilai RMSE maka model yang diperoleh dari proses inversi akan semakin halus. Model yang halus dengan nilai RMSE yang tinggi cenderung semakin tidak mewakili kondisi sebenarnya di lapangan. Interpretasi dari model distribusi nilai resistivitas material bawah permukaan Bumi dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas material dan pola distribusinya. Faktor-faktor tersebut antara lain jenis batuan, komposisi dan kondisi Alam (Nostrand, 1966:189).

2.5 Sifat Listrik Batuan

Besarnya aliran arus listrik dipengaruhi oleh porositas batuan dan juga dipengaruhi oleh jumlah air yang terperangkap dalam pori-pori batuan (Telford *et al.*, 1990: 445-447).

2.5.1 Konduksi Listrik pada Batuan

Menurut Hendrajaya dan arif (1990) aliran listrik didalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik.

1. Konduksi secara elektronik

Konduksi secara elektronik terjadi karena batuan atau mineral mengandung banyak elektron bebas yang dapat mengalirkan arus listrik. Selain itu, aliran listrik

juga dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing batuan atau mineral yang dilaluinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan atau mineral tersebut adalah resistivitas. Semakin tinggi nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Resistivitas memiliki pengertian berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri.

2. Konduksi secara elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, dimana konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang.

3. Konduksi secara dielektrik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas yang sedikit, bahkan tidak sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini bergantung bergantung pada konduksi dielektrik batuan yang bersangkutan, seperti: mika.

2.5.2 Resistivitas Batuan

Batuan dan mineral memiliki nilai resistivitas yang bervariasi. Menurut Telford *et al.*, (1990), berdasarkan nilai resistivitasnya, batuan digolongkan ke dalam beberapa kategori yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Konduktor baik dicirikan dengan nilai resistivitas antara $10^{-8} < \rho < 1 \Omega m$ yang didalamnya berisi banyak elektron bebas dengan gerakan yang sangat tinggi, semikonduktor dicirikan dengan nilai resistivitas antara $1 < \rho < 10^7 \Omega m$ yang memiliki jumlah elektron bebas yang lebih sedikit dan isolator dicirikan dengan nilai resistivitas antara $\rho < 10^7 \Omega m$ yang memiliki ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensinya tidak bebas bergerak.

Nilai resistivitas berbagai bahan mineral bumi mempunyai interval nilai yang berbeda, seperti Disajikan pada tabel 1 (Telford *et al.*, 1990).

Tabel 2.1 Nilai resistivitas berbagai bahan mineral bumi

Material	Resistivitas pada 20° C (Ωm)
Udara	0
Air Asin	0.2
Air Tanah	0.5-200
Lempung	1-100
Pasir	1-1000
Tembaga	1.7
Magnesium	4.2
Besi	10.1
Khrom	13.2
Alluvium	10-800
Mangan	44-160
Kerikil	100-600
Batu Pasir	200-8000
Gamping	400-5000
Karbon	3000

2.6 Pengertian Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang merupakan jenis batuan sedimen yang mudah terbakar. Proses pembentukannya dari endapan organik, khususnya dari sisa-sisa tumbuhan dan pembentukannya melalui proses pematubaraan. Unsur kimia penyusun batubara adalah karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara terbentuk sesuai kondisi tertentu dan sepanjang sejarah geologi pada era tertentu. Pembentukan batubara dimulai sejak Carboniferous Period (Periode Pembentukan Karbon atau Batu Bara) dikenal sebagai zaman batu bara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu.

Mutu dari setiap endapan batu bara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan yang disebut sebagai 'maturitas organik'. Proses awalnya adalah gambut berubah menjadi lignite (batu bara muda) atau 'brown coal (batu bara coklat)'. Ini adalah batu bara dengan jenis maturitas organik rendah. Dibandingkan dengan batu bara jenis lainnya, batu bara muda agak lembut dan warnanya bervariasi dari hitam pekat sampai kecoklat-coklatan. Mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus selama jutaan tahun, batu bara muda mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan mengubah batubara muda menjadi batu bara sub-bitumen. Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batu bara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam dan membentuk 'bitumen' atau 'antrasit'. Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk antrasit.

2.6.1 Jenis-jenis Batu Bara

Tingkat perubahan yang dialami batu bara, dari gambut sampai menjadi antrasit disebut sebagai pengarangan. Proses pengarangan berpengaruh terhadap tingkat mutunya. Tingkat mutu batu bara diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Batubara dengan mutu yang rendah, seperti batubara muda dan sub-bitumen yang biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah. Batubara muda memilih tingkat kelembaban yang tinggi dan kandungan karbon yang rendah, dan dengan demikian kandungan energinya rendah.
2. Batubara dengan mutu yang lebih tinggi umumnya lebih keras, kuat dan seringkali berwarna hitam cemerlang seperti kaca. Contohnya batubara bitumen dan antrasit. Batubara dengan mutu yang lebih tinggi memiliki kandungan karbon yang lebih banyak, tingkat kelembaban yang lebih rendah dan menghasilkan energi yang lebih banyak. Antrasit adalah batubara dengan mutu yang paling baik yang memiliki kandungan karbon dan energi yang lebih tinggi serta tingkat kelembaban yang lebih rendah.

Batubara memiliki banyak manfaat penting di seluruh dunia, salah satunya adalah sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap. PLTU menggunakan bahan bakar batubara jenis bitumen yang memiliki karakteristik mengandung kelembaban sampai sekitar 17 persen. Kandungan karbon dapat berkisar hingga sekitar 85 persen, dengan kadar abu hingga 12 persen dari berat. Bitumen dapat dikategorikan lebih lanjut berdasarkan tingkat zat volatil-nya (senyawa yang

mudah menguap): volatil tinggi A, B, dan C, volatil menengah, dan rendah volatil. Sekitar 0,5 sampai 2 persen dari berat batubara bitumen adalah nitrogen.

Batubara bitumen terbakar dengan mudah, dan dapat menghasilkan asap dan jelaga (partikel) yang berlebihan jika tidak dibakar dengan benar. Kandungan belerangnya yang tinggi berkontribusi terhadap hujan asam. Batubara bitumen umumnya mengandung mineral pirit, yang dapat berfungsi sebagai inang bagi kotoran seperti arsenik dan merkuri. Pembakaran batubara bitumen melepaskan kotoran berupa jejak mineral ke udara sebagai polutan. Selama pembakaran, sekitar 95 persen kandungan sulfur batubara bitumen akan teroksidasi dan dirilis sebagai gas sulfur oksida.

2.7 Pencemaran Tanah oleh Limbah Batubara

Batubara dapat dimanfaatkan sebagai bakar bakar PLTU. Akan tetapi, hasil pembakaran batubara dapat mengotori lingkungan melalui polutan CO_2 , SO_2NO_x dan C_xH_y . Hal tersebut dinilai kurang efisien dan kurang memberi nilai ekonomis (Sahal, 2013). Dampak lingkungan limbah batubara ini bukan hal yang baru. Pada negara berkembang, hal tersebut memberikan dampak yang sangat krusial.

Menurut Iswan (2010), walaupun saat ini PLTU batubara menjadi penopang krisis listrik, tetapi dampak lingkungan yang disebabkan oleh pemakaian batu bara semakin meningkat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dan kajian secara mendalam mengenai dampak lingkungan dari limbah batubara. Hasil dari pembakaran batubara di PLTU berupa limbah padat abu dasar 25% (*bottom ash*) dan abu terbang 75% (*fly ash*). Abu dasar merupakan abu yang dikeluarkan dari bawah tungku dan tertinggal di tempat penampungan, sedangkan

abu terbang merupakan partikel abu yang terbawa gas buang. Limbah abu merupakan masalah besar bagi lingkungan karena mengandung unsur toksik. Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KNLH) telah menetapkan limbah abu batubara kedalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) berdasarkan PP No.85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Di bawah ini merupakan dampak polutan dari hasil pembakaran PLTU batubara yaitu:

- SO_x merupakan senyawa yang menyerang paru-paru dan penyakit pernapasan lainnya.
- NO_x yang dibawa bersama SO_x merupakan penyebab dari hujan asam yang berakibat buruk untuk industri peternakan dan pertanian.
- CO_x merupakan senyawa pembentuk lapisan yang menyelubungi bumi sehingga mengakibatkan efek rumah kaca (*green house effect*). Hal ini mengakibatkan pergeseran keadaan cuaca.
- Partikel debu yang berbahaya apabila masuk ke dalam paru-paru karena partikel ini mengandung unsur radioaktif.

Limbah pembangkit listrik dapat berupa abu batubara dan juga limbah penggerusan atau *mill reject*. Jenis limbah batubara dapat berupa timbunan abu dan timbunan limbah penggerusan. Dampak pembuangan dan penimbunan abu batubara mirip dengan dampak penumpukan batubara yakni bersifat lokal dan berupa partikulat yang mencemari udara dan air lindihan oleh air hujan terhadap tumpukan abu yang dapat mencemari air tanah. Namun karakteristik partikulat

maupun air lindihan abu berbeda dengan yang dihasilkan oleh kegiatan penumpukan batubara.

Pada debu batubara polutannya berupa partikel batubara yang kaya akan karbon, sedangkan partikulat (abu) umumnya mengandung kadar silikon (SiO_2) tinggi. Oleh karena itu, dampak kesehatan akibat menghirup partikulat selain gangguan pernapasan juga silikosis.

Disamping itu, abu batubara mengandung kadar logam-logam berat yang lebih tinggi dibanding pada batubara asalnya karena terjadinya konsentrasi akibat pembakaran batubara. Logam-logam berat tersebut dapat terlindih oleh air hujan yang mengakibatkan hujan asam dan kemudian meresap ke dalam tanah. Tanah mengandung sejumlah logam dan mineral yang melimpah. Ketika logam-logam ini bersentuhan dengan hujan asam, reaksi kimia yang berbahaya dapat terjadi. Reaksi-reaksi kimia ini dapat menyebabkan erosi tanah. Hujan asam juga diketahui dapat mengurangi kesuburan tanah, menyebabkan tanah menjadi tandus. Asam berbahaya juga dapat mengurangi jumlah mikroorganisme yang hidup di tanah. Selain itu, hujan asam diketahui dapat menyebabkan korosi pada lapisan pelindung yang menutupi daun tanaman, yang mempengaruhi fotosintesis tanaman tersebut. Karena kekurangan gizi, tanaman jadi rentan terhadap penyakit.

Untuk mengurangi dampak tersebut konsentrasi abu batubara harus sering dipantau. Kemudian, upaya lain untuk mengurangi dampak limbah dengan mengalirkan resapan air hujan yang melewati atau melindih tumpukan abu ke dalam kolam penampungan dan menjernihkan air sebelum dibuang atau meresap

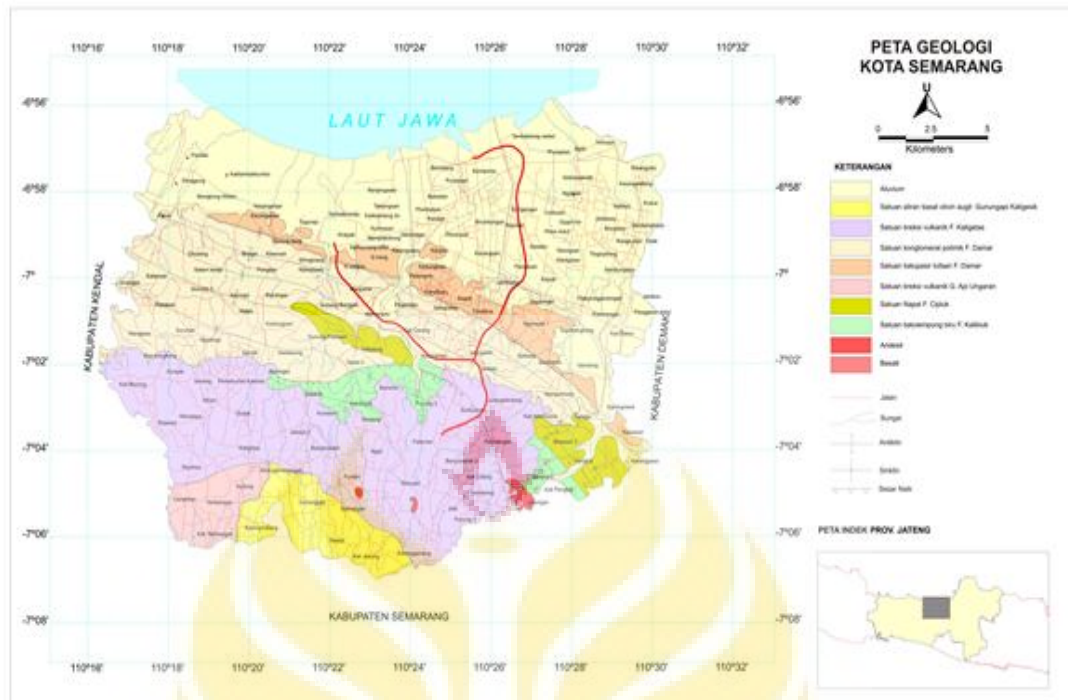
ke dalam tanah. Selain itu, abu batubara dapat dimanfaatkan menjadi produk lain, misalnya untuk bahan baku semen, bahan bangunan dan bahan pengisi jalan.

Sedangkan limbah penggerusan yang biasa dikenal dengan nama "pirit" (bukan mineral pirit FeS_2) adalah material yang tidak dapat diproses pada alat penggerus (*mill*) pada proses pengolahan batubara. Material ini masih berukuran kasar dan umumnya sangat keras (nilai ketergerusan/HGI rendah) dan langsung keluar dari mill. Kadang-kadang limbah penggerusan ini ditangani bersama-sama dengan limbah abu, terutama apabila semua limbah ditimbun dan dibuang.

Karakteristik pirit berbeda dengan batubara aslinya yakni mengandung bahan mineral tinggi. Dampak yang terjadi apabila limbah penggerusan ditimbun tersendiri dan terpisah dari abu batubara adalah terjadinya pelindihan logam-logam berat dan oksida belerang yang akan meresap dan mencemari air tanah.

2.8 Keadaan Geologi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kelurahan Sekaran, Kecamatan Gunungpati, Semarang Selatan tepatnya disekitar lahan kosong UNNES. Pengambilan data resistivitas akan di laksanakan pada daerah yang bergaris warna merah, seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Peta geologi kota semarang

Pada peta geologi diatas menggambarkan bahwa daerah penelitian yaitu di kelurahan Sekaran, Kecamatan Gunungpati, Semarang Selatan tepatnya disekitar lahan kosong UNNES merupakan formasi batuan aliran basalt olivine augit gunungapi kaligesik. Menurut Prutanto et al., 2015 formasi batuan aliran basalt olivine augit gunungapi kaligesik terdiri dari batuan berupa lava basalt, berwarna abu-abu kehitaman, halus, komposisi mineral terdiri dari felspar, olivin dan augit, dan sangat keras. Breksi andesit hornblende augit dan aliran lava, berasal dari batuan gunungapi Ungaran Lama. Breksi andesit berwarna coklat kehitaman, berukuran 1-50 cm, menyudut-membundar tanggung dengan masa dasar tufaan, porositas sedang, kompak dan keras. Nilai resistivitas batuan tersebut antara 100,0-8000,0 Ωm .

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat di simpulkan bahwa:

1. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan dalam skala laboratorium dengan variasi waktu, nilai resistivitas limbah *flyash* pada lintasan 1 sekitar 316,22-565,34 Ωm . Sementara itu, nilai resistivitas tanah yang tercemar limbah *flyash* pada lintasan 2 pada hari kedua nilai resistivitasnya 177,82 - 316,22 Ωm , pengukuran pada hari ketiga nilai resistivitasnya 177,82 - 316,22 Ωm , dan pengukuran pada hari ke-20 nilai resistivitasnya 177,82 - 316,22 Ωm . Hal ini menunjukkan bahwa nilai resistivitas tanah yang tercemar limbah *flyash* sekitar 177,82-316,22 Ωm .
2. Persebaran limbah *flyash* dalam skala laboratorium ini terlihat pada hari ketiga dan hari ke-20 menuju arah horizontal yaitu menuju titik 9 dan ke titik 6 kemudian ke arah vertical pada kedalaman sekitar 1,5 m lebih dalam dari titik penanaman limbah *flyash*.

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan:

1. Melakukan variasi limbah batubara seperti limbah *bottom ash* dan *gypsum*.
2. Melakukan pengambilan data dalam skala lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Geotomo, S. 2007. *Rapid 2-D Resistivity & IP Inversion Using The Least-Squares Method*. Malaysia: Penang.
- Hendrajaya, L. & I. Arif. 1990. *Geolistrik Tahan Jenis*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi ITB.
- Iswan. 2010. Penanggulangan Limbah PLTU Batubara. *Dinamika jurnal Ilmiah Teknik Mesin* Vol.1 No.2, Mei 2010: 71-72.
- Karyanto. 2005. Identifikasi Penyebaran Limbah Cair dengan Menggunakan Metode Tahanan Jenis 3D (Model Laboratorium). *Journal Sains Technology* Vol.11 No.2, Agustus 2005: 79.
- Loke, M. H. 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. Malaysia: Penang.
- Nadliroh S, Khumaedi, Supriyadi. 2012. Pemodelan Fisis Aplikasi Metode Geolistrik untuk Identifikasi Fosfat dalam Batuan Gamping. *Indonesian Journal Applied Physics* Vol.2 No.2, Oktober 2012: 83.
- Nostrand. 1966. *Interpretation of Resistivity Data*. Washington: Geological Survey.
- Pujiastuti R, Arman Y, Putra Y. Satria. 2014. Penyelidikan Pengaruh Rembesan Limbah Karet Bawah Permukaan Tanah Menggunakan Metode Geolistrik. *Prisma Fisika* Vol.2 No.1, 2014: 27-28.
- Sahal, M. 2013. Studi Potensi Sumberdaya Batubara di Desa Dowan Kecamatan Gunem Kabupaten Rembang dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis. FMIPA: UNNES.
- Souisa, M. & Sapulete S.M. 2013. Kajian Sebaran Limbah Cair Menggunakan Metode Resistivitas. *Seminar Nasional 2nd Physics Forum 2013*.
- Sulistiyono, D. 2012. Analisis Potensial Pembangkit Listrik Tenaga GAS Batubara di Kabupaten Sintang. *Jurnal ELKHA* Vol.4 No.2, Oktober 2012: 38.
- Telford, W.M., Geldart LP., & sheriff, RE., 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press, Cambridge: London, New York, Melbourne.

Widiarso DA, Pudjihardjo H, Prabowo W,. 2012. Potensi Air Tanah Daerah Kampus UNDIP Tembalang. *TEKNIK* Vol.33 No.2 tahun 2012 ISSN 0852-1697: 95.

