



**IDENTIFIKASI AKUMULASI LINDI DAN GAS METANA
DENGAN METODE GEOLISTRIK
KONFIGURASI *WENNER-SCHLUMBERGER*
(Studi Kasus : Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember)**

SKRIPSI

Oleh
Darma Winhaler Gultom
NIM 131810201013

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**IDENTIFIKASI AKUMULASI LINDI DAN GAS METANA
DENGAN METODE GEOLISTRIK
KONFIGURASI *WENNER-SCHLUMBERGER*
(Studi Kasus : Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi di Program Studi Ilmu Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
Darma Winhaler Gultom
NIM 131810201013

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa cinta, syukur dan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk:

1. Ayahanda Darwin Gultom S.Pd, serta Ibunda Halimah Simajuntak S.Pd tercinta atas kasih sayang, cinta, doa yang tiada henti menyertai setiap langkahku. Terimakasih telah menjadi panutan dan guru terbaik dalam hidupku;
2. Keluarga besarku di Pangaribuan dan Tarutung yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan doa dan motivasi selama ini;
3. Sahabat - sahabatku Jamal Husen , Imroatus Soleha, Amalia Kurnia Dewi, Rela Gusti Ayu, Nurkholifah, Septya Yuyun Listanti, Fitry Wahyu Islami, Lailatul Muawanah, Dwi Indah, Merinda Lestari yang selalu memberikan hari hari yang indah dan motivasi yang besar demi terselesaikannya skripsi ini;
4. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

“Untuk meraih sebuah kesuksesan karakter seseorang adalah lebih penting dari pada intelegensi “ (Gilgerte Beaux).



PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Darma Winhaler Gultom

NIM : 131810201013

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Identifikasi Akumulasi Lindi dan Gas Metana dengan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner - Schlumberger* (Studi Kasus : Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 05 Oktober 2017

Yang menyatakan,

Darma Winhaler Gultom
NIM 131810201013

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI AKUMULASI LINDI DAN GAS METANA
DENGAN METODE GEOLISTRIK
KONFIGURASI *WENNER - SCHLUMBERGER*
(Studi Kasus : Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember)**

Oleh
Darma Winhaler Gultom
NIM 131810201013

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Supriyadi, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Identifikasi Akumulasi Lindi dan Gas Metana dengan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner – Schlumberger*” (Studi Kasus : Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Nurul Priyantari, S.Si, M.Si.
NIP. 197003271997022001

Supriyadi, S.Si,M.Si.
NIP. 198204242006041003

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si.
NIP. 197208201998021001

Drs.Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196203111987021001

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Identifikasi Akumulasi Lindi dan Gas Metana dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner – Schlumberger (Studi Kasus : Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember); Darma Winhaler Gultom, 131810201013:
50 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Salah satu TPA yang ada di Jember adalah TPA Pakusari. TPA ini terletak di Kecamatan Pakusari Kabupaten Jember yang memiliki luas sekitar 6,8 hektar. Layanan TPA ini mencakup seluruh sampah yang ada di dalam kota dan sekitarnya, khususnya di tiga wilayah kecamatan kota yaitu Patrang, Sumbersari, dan Kaliwates. Sampah yang dibuang di TPA Pakusari kebanyakan adalah sampah organik yang berasal dari pasar-pasar dan sampah rumah tangga. Hal ini menyebabkan sampah lebih cepat membusuk dan menghasilkan polutan yang dapat mencemari air tanah. Sistem pemrosesan sampah pada TPA ini menggunakan metode *open dumping-landfill*. Metode *open dumping-landfill* merupakan metode yang hanya menimbun sampah tanpa ada perlakuan khusus sehingga dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Lindi yang dihasilkan dari TPA ini akan merembes ke sekitar saluran air yang berada di bawah permukaan tanah sehingga dapat mengakibatkan pencemaran tanah. Lindi tersebut berpotensi menyebabkan pencemaran air tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik. Oleh karena itu, peneliti ingin mendeteksi kondisi bawah permukaan di 3 lokasi yaitu, lokasi sampah baru (pusat pembuangan sampah), lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan dan lokasi pembuangan sampah yang sudah tidak digunakan. Pemilihan lokasi tersebut diambil dengan harapan di lokasi sampah baru yang merupakan pusat pembuangan sampah akan menunjukkan akumulasi lindi tertinggi. Lokasi kedua merupakan lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan. Hasil yang diharapkan adanya gas metana yang bervariasi bergantung pada karakteristik sampah dan kondisi di *landfill* tersebut. Lokasi ketiga adalah lokasi pembuangan sampah yang tidak dipakai lagi. Hasil yang diharapkan akan menunjukkan keberadaan anomali konduktif sebagai indikator keberadaan lindi lebih sedikit dibandingkan keberadaan gas metana.

Kondisi bawah permukaan di TPA Pakusari akan diidentifikasi dengan metode geolistrik *Wenner-Schlumberger* dengan memasang 4 elektroda yang dihubungkan dengan *resistivity meter*. Sedangkan penentuan lintasan dilakukan dengan mengambil titik titik lintasan sepanjang 54 m untuk kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah), 42 m untuk lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan dan 60 m untuk lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi. Parameter yang didapatkan berupa kuat arus (mA), tegangan (mV) dan spasi (m). Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software Res2Dinv*. Data yang dimasukkan ke *software* tersebut berupa resistansi, spasi dan nilai resistivitas semu yang akan menghasilkan gambar struktur bawah permukaan tanah yang diwakili oleh citra warna yang berbeda. Hasil citra resistivitas tersebut digunakan untuk mengidentifikasi adanya akumulasi lindi dan

gas metana dengan mengacu pada tabel resistivitas batuan dan mineral. Anomali yang diharapkan pada penelitian ini adalah nilai resistivitas rendah yang menunjukkan keberadaan polutan sampah yang diasumsikan sebagai fluida konduktif (lindi) sedangkan akumulasi yang diduga sebagai gas metana berada di lokasi yang berdekatan dengan lindi. Akumulasi gas metana memiliki kontras nilai resistivitas yang signifikan jika dibandingkan pada titik pengukuran lain.

Dari hasil inversi data resistivitas diperoleh hasil pada lokasi sampah baru (pusat pembuangan sampah), letak akumulasi lindi terlihat dari titik awal pengukuran sampai akhir pengukuran. Pada lintasan 1 didapatkan nilai resistivitas 0.750 - 6.81 Ω m. Pada lintasan 2 didapatkan nilai resistivitas 0.387 – 3.69 Ω m. Akumulasi gas metana memiliki kontras nilai yang signifikan dan berada di lokasi yang berdekatan dengan lindi dengan nilai resistivitas 61.6 – 128 Ω m di lintasan 1 dan 35.2 – 74.7 Ω m di lintasan 2. Pada lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan akumulasi lindi bisa dikatakan mendominasi yang disebabkan lokasi ini sampah sudah mengalami dekomposisi secara alami dan akibat masuknya air eksternal ke dalam tanah akan menghasilkan akumulasi lindi yang menyebar dari awal sampai akhir lintasan pengukuran sedangkan gas metana terlihat di bawah permukaan karena perubahan kondisi lokasi penelitian dari sistem *open dumping* ke *control landfill* sehingga akumulasi gas metana berada di bawah permukaan dengan nilai resistivitas 31.7 – 6685 Ω m dengan kedalaman 5.56–7.46 m. Pada lokasi 3 pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi didapatkan akumulasi lindi dengan nilai resistivitas 0.0866 – 9.30 Ω m sedangkan akumulasi gas metana berada di sebagian kecil titik pengukuran dengan nilai resistivitas 58.7 – 381 Ω m karena pada lokasi ini sudah tertutup dengan tanah sehingga menyebabkan degradasi anaerob tidak berlangsung dan tidak menghasilkan senyawa organik seperti gas metana.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **“Identifikasi Akumulasi Lindi dan Gas Metana dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner - Schlumberger (Studi Kasus: Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember)”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA), yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, serta perhatian beliau guna memberikan bimbingan dan arahan penulis dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini;
2. Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Drs.Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji II, atas segala masukan, kritik serta saran yang telah diberikan bagi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si., selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
4. Drs.Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberi motivasi selama perkuliahan;
5. Keluarga besar Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) Fakultas Kemipaan Universitas Jember.
6. Rekan-rekan *Geophysics Club* yang telah memberikan semangat dan motivasinya.

7. Sahabat-sahabat Fisika : Mawar Habibi, Erlynda Hapsari, Ingkan Nurma, Meidita, Dian Mustika, Nurmania, Putri Suci Wardani serta keluarga besar “PHYSICOPAT 13HZ” yang telah memberikan semangat dan motivasinya.
8. Almamater Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menyadari bahwa penulis adalah insan yang masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis akan selalu menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan penelitian yang tertulis dalam skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Oktober 2017

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iii |
| HALAMAN MOTO | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN | v |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN | vi |
| HALAMAN PENGESAHAN | vii |
| RINGKASAN | viii |
| PRAKATA | x |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 5 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Sampah | 6 |
| 2.2 Pengaruh Sampah Terhadap Lingkungan | 6 |
| 2.3 Sistem Pemrosesan Akhir Sampah | 8 |
| 2.4 Pengelolaan Persampahan di Kabupaten Jember | 8 |
| 2.5 Air Lindi (<i>Leachate</i>) | 9 |
| 2.6 Gas Metana | 12 |
| 2.7 Metode Geolistrik | 13 |
| 2.8 Potensial dalam Media Homogen | 14 |
| 2.9 Elektroda Arus Tunggal di Permukaan Bumi | 15 |
| 2.10 Dua Elektroda Arus di Permukaan Bumi | 16 |
| 2.11 Resistivitas Semu | 18 |

| | | |
|-----------------------|---|-----------|
| 2.12 | Nilai Resistivitas Macam-Macam Batuan | 19 |
| 2.13 | Konfigurasi Wenner –Schlumberger | 20 |
| 2.14 | Software Res2dinv | 21 |
| BAB 3. | METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1 | Jenis dan Sumber Data | 23 |
| 3.2 | Definisi Operasional dan Variabel Pengukurannya | 23 |
| 3.3 | Rancangan Penelitian | 23 |
| 3.3.1 | Survei Awal Lokasi Penelitian | 25 |
| 3.3.2 | Penentuan Lokasi Penelitian | 25 |
| 3.3.3 | Penentuan Lintasan | 25 |
| 3.3.4 | Pengambilan Data Lapangan | 29 |
| 3.3.5 | Pengolahan Data | 30 |
| 3.4 | Tehnik Penyajian Data | 30 |
| 3.5 | Interpretasi dan Analisa Data | 31 |
| BAB 4. | HASIL DAN PEMBAHASAN | 32 |
| 4.1 | Inversi Data Hasil Penelitian | 32 |
| 4.1.1 | Lokasi 1 Sampah Baru (Pusat Pembuangan Sampah)..... | 32 |
| 4.1.2 | Lokasi 2 TPA Pakusari (Lokasi Pembuangan Sampah yang Sudah Mengalami Pembusukan) | 37 |
| 4.1.3 | Lokasi 3 TPA Pakusari (Lokasi Pembuangan Sampah yang Tidak Digunakan Lagi)..... | 44 |
| BAB 5. | KESIMPULAN DAN SARAN | 47 |
| 5.1 | Kesimpulan | 47 |
| 5.2 | Saran | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 48 |
| LAMPIRAN | | 52 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Komposisi lindi dari TPA secara umum | 10 |
| 2.2 Variasi kualitas lindi dari beberapa TPA di indonesia..... | 10 |
| 2.3 Harga resistivitas batuan | 19 |
| 4.1 Deskripsi lokasi 1 lintasan 1 | 33 |
| 4.2 Deskripsi lokasi 1 lintasan 2 | 35 |
| 4.3 Deskripsi lokasi 2 lintasan 1 | 38 |
| 4.4 Deskripsi lokasi 2 lintasan 2 | 40 |
| 4.5 Deskripsi lokasi 2 lintasan 3 | 41 |
| 4.6 Deskripsi lokasi 3 | 45 |

DAFTAR GAMBAR

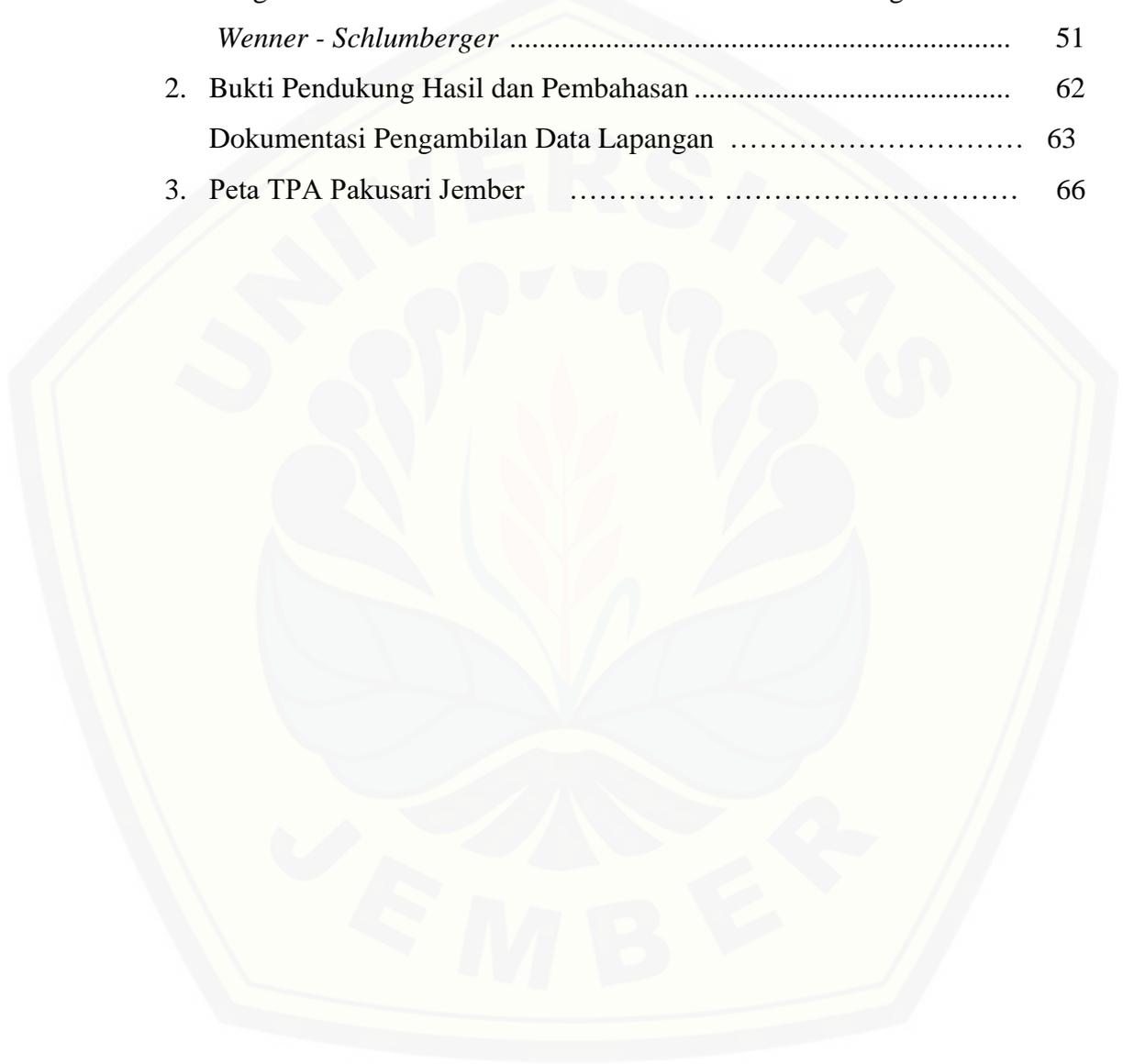
| | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Skema proses terjadinya lindi | 11 |
| 2.2 Dua titik sumber arus dua elektroda potensial di permukaan tanah | 16 |
| 2.3 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas | 17 |
| 2.4 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ | 20 |
| 3.1 Diagram kerja penelitian | 24 |
| 3.2 Peta lokasi TPA Pakusari Jember | 26 |
| 3.3 Sketsa lintasan pengambilan data di TPA Pakusari dengan kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah) | 27 |
| 3.4 Lokasi pengambilan data di TPA Pakusari dengan kondisi sampah yang sudah mengalami pembusukan | 28 |
| 3.5 Lokasi pengambilan data di TPA Pakusari dengan lokasi sampah yang tidak digunakan lagi | 29 |
| 4.1 Penampang resistivitas lintasan 1 pada kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah) | 33 |
| 4.2 Penampang resistivitas lintasan 2 pada kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah) | 34 |
| 4.3 Gabungan penampang resistivitas lintasan 1 dan lintasan 2 pada kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah) | 36 |
| 4.4 Penampang resistivitas lintasan 1 pada kondisi sampah yang sudah mengalami pembusukan | 38 |
| 4.5 Penampang resistivitas lintasan 2 pada kondisi sampah yang sudah mengalami pembusukan | 39 |
| 4.6 Penampang resistivitas lintasan 3 pada kondisi sampah yang sudah mengalami pembusukan | 41 |

| | | |
|------------|---|----|
| 4.7 | Gabungan penampang resistivitas lintasan 1, lintasan 2 dan lintasan 3 pada kondisi sampah yang sudah mengalami pembusukan | 42 |
| 4.8 | Penampang resistivitas lintasan 1 pada kondisi sampah yang sudah tidak digunakan lagi | 44 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| 1. Pengolahan Data Metode Geolistrik Resistivitas 2D konfigurasi <i>Wenner - Schlumberger</i> | 51 |
| 2. Bukti Pendukung Hasil dan Pembahasan | 62 |
| Dokumentasi Pengambilan Data Lapangan | 63 |
| 3. Peta TPA Pakusari Jember | 66 |



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tempat pembuangan akhir sampah yang akan menerima segala resiko akibat pola pembuangan sampah terutama yang berkaitan dengan kemungkinan terjadinya pencemaran lindi (*leachate*) ke badan air maupun air tanah. Sampah yang tidak dikelola dengan baik, akan mengganggu kelestarian lingkungan abiotik, biotik maupun sosial budaya masyarakat (Depkes, 1992 *dalam* Guntar, 1999). Potensi pencemaran lindi maupun gas dari suatu TPA ke lingkungan sekitarnya cukup besar mengingat proses pembentukan lindi dan gas metana dapat berlangsung dalam waktu yang cukup lama yaitu 20 – 30 tahun setelah TPA ditutup (Qasim, 1994).

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang timbul dari hasil dekomposisi secara biologis sampah yang telah membusuk dan mengalami pelarutan akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah. Sedangkan menurut Darmasetiawan (2004), lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki banyak kandungan pencemar khususnya zat organik yang sangat tinggi. Air lindi akibat proses degradasi sampah dari TPA merupakan sumber yang mempengaruhi perubahan sifat fisik, kimia maupun biologi (Husin dan Kustaman, 1992). Lindi bersifat toksik karena adanya zat pengotor dalam timbunan sampah yang mungkin berasal dari hasil pengolahan limbah. Limbah tersebut berasal dari limbah rumah tangga, limbah industri dan dekomposisi sampah secara biologis. Menurut Fachruddin (1989) *dalam* Tanauma (2000), menyatakan bahwa air lindi (*leachate*) dicirikan oleh komponen fisika dan kimia berkadar tinggi dan mengandung logam berat berbahaya.

Air lindi yang berasal dari proses pembusukan sampah organik dapat menjadi gas. Gas yang dihasilkan tersebut mengandung 56,82 % sampai 69,58% gas metana

(Sabari *et al.*, 2010). Pada TPA yang masih beroperasi, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) air lindi dapat mencapai antara 2.000 - 30.000 mg/l, COD (*Chemical Oxygen Demand*) antara 3.000 - 60.000 mg/l, dan pH antara 4,5 - 7,5 (Martono, 1996).

Banyaknya gas metana yang dihasilkan TPA bergantung pada lamanya proses pembusukan dan tebalnya tumpukan sampah pada suatu TPA. Selain itu produksi gas metana pada suatu TPA juga bergantung jenis sampah organiknya. Gas metana dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, sedangkan dampak negatif kandungan nitrogen oksida dan karbon monoksida dapat mempengaruhi pemanasan global yaitu emisi gas rumah kaca dan zat yang mudah menguap (Hambali *et al.*, 2007). Selain berpotensi meningkatkan pemanasan global, keberadaan gas dan pergerakan gas metana juga sangat berbahaya di TPA yang tidak dilengkapi dengan fasilitas pengolahan gas. Hal ini disebabkan konsentrasi minimal gas metana sebesar 5 % sampai 15 % dapat mengakibatkan ledakan dan kebakaran bila bercampur dengan udara atau peledakan saat terkena sambaran petir (USEPA, 2010).

Salah satu TPA yang ada di Jember adalah TPA Pakusari. TPA ini terletak di Kecamatan Pakusari Kabupaten Jember yang memiliki luas sekitar 6,8 hektar yang terdiri dari 3 lokasi, yaitu: lokasi sampah baru (pusat pembuangan sampah), lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan dan lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan. Layanan TPA ini mencakup seluruh sampah yang ada di dalam kota dan sekitarnya, khususnya di tiga wilayah kecamatan kota yaitu Patrang, Sumbersari, dan Kaliwates. Setiap tahun kenaikan volume sampah di Kabupaten Jember, mencapai 2 - 4 %. Salah satu penyebabnya adalah tingginya angka kelahiran, urbanisasi, serta dibukanya kawasan komersial perkotaan dengan dibangunnya pusat pertokoan dan perbelanjaan (Besuki, 2010).

Sampah yang dibuang di TPA Pakusari kebanyakan adalah sampah organik yang berasal dari pasar-pasar dan sampah rumah tangga. Hal ini menyebabkan sampah lebih cepat membusuk dan menghasilkan polutan yang dapat mencemari air tanah. Sistem pemrosesan sampah pada TPA ini menggunakan metode *open*

dumping-landfill (Mansurudin, 2005). Metode *open dumping-landfill* ini merupakan metode yang hanya menimbun sampah tanpa ada perlakuan khusus sehingga dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Lindi yang dihasilkan dari TPA ini akan merembes ke sekitar saluran air yang berada di bawah permukaan tanah sehingga dapat mengakibatkan pencemaran tanah. Lindi tersebut berpotensi menyebabkan pencemaran air tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik.

Penelitian yang terkait dengan kondisi tanah TPA pernah dilakukan oleh Putra (2012) di TPA Timensi Kabupaten Gianjar yang mengidentifikasi arah rembesan dan letak akumulasi lindi menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa rembesan aliran lindi mengarah dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah sesuai dengan kontur tanah yang arahnya miring. Datusolang *et al.*, (2013) mengidentifikasi rembesan limbah cair dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger* di TPA Sumompo, Manado. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan adanya rembesan lindi yang terakumulasi di kedalaman 2 – 10 m terutama pada lintasan pengukuran yang berjarak 50 m dari kolam lindi. Penelitian yang pernah dilakukan di TPA Pakusari diantaranya oleh Mansurudin (2005) mengidentifikasi akumulasi rembesan polutan sampah menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner*, berhasil mendeteksi adanya anomali konduktif antara 1,82 Ωm – 6,40 Ωm . Veronika (2005) melakukan penelitian tentang kedalaman *akuifer* di sekitar TPA Pakusari menggunakan metode geolistrik resistivitas dan berhasil mendeteksi kedalaman *akuifer* 12,4 - 15,9 m. Widyasari *et al.*, (2013), yang melakukan analisa tentang potensi pencemaran timbal (Pb) di sumur monitoring, dengan hasil bahwa tehnik pengolahan sampah yang tidak baik dan sesuai dengan SNI 19-2454-2002 akan menghasilkan timbal dan senyawa berbahaya lainnya. Kamelia (2015) melakukan penelitian tentang akumulasi gas metana di TPA Taman Krocok menggunakan metode *self potential* dan berhasil mengetahui potensi gas metana dengan nilai potensial - 4 sampai -12 mV.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan di beberapa TPA, penelitian mengarah ke identifikasi lindi, kedalaman lindi, serta arah rembesan dan sebaran lindi dan juga gas metana. Namun demikian, di lokasi TPA Pakusari sendiri, selain lindi juga terdapat sebaran gas metana yang sepengetahuan penulis belum diteliti keberadaannya. Sehingga peneliti ingin mendeteksi kondisi bawah permukaan di 3 lokasi yaitu, lokasi sampah baru (pusat pembuangan sampah), lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan dan lokasi pembuangan sampah yang sudah tidak digunakan. Pemilihan lokasi tersebut diambil dengan harapan di lokasi sampah baru yang merupakan pusat pembuangan sampah akan menunjukkan akumulasi lindi tertinggi. Lokasi kedua merupakan lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan. Hasil yang diharapkan adanya gas metana yang bervariasi bergantung pada karakteristik sampah dan kondisi di *landfill* tersebut. Lokasi ketiga adalah lokasi pembuangan sampah yang tidak dipakai lagi. Hasil yang diharapkan akan menunjukkan keberadaan anomali konduktif sebagai indikator keberadaan lindi lebih sedikit dibandingkan keberadaan gas metana. Kondisi bawah permukaan di TPA Pakusari akan diidentifikasi dengan metode geolistrik *Wenner-Schlumberger*. Metode geolistrik merupakan metode eksplorasi yang memanfaatkan sifat-sifat kelistrikan tanah (Reynold, 1997). Metode ini menggunakan sifat resistivitas sebagai alat untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan. Pada akhirnya penelitian ini diharapkan dapat mendeteksi spot-spot gas metana dan sebaran lindi ditinjau dari nilai resistivitas yang diperoleh.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut bagaimanakah citra resistivitas bawah permukaan TPA Pakusari dengan metode geolistrik *Wenner-Schlumberger* untuk mengidentifikasi sebaran lindi dan gas metana ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini :

1. Mengetahui letak sebaran air lindi di TPA Pakusari Jember.
2. Mengetahui letak sebaran gas metana di TPA Pakusari Jember.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan, hasil dari penelitian ini diharapkan:

1. Dapat memberikan informasi ke instansi yang berwenang tentang sebaran lindi dan gas metana di tiga lokasi yang berbeda yaitu sampah baru (pusat pembuangan sampah), pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan dan pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi.
2. Dapat memberikan kontribusi terhadap bidang geofisika, khususnya di bidang lingkungan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Kodoatie (2003) menyebutkan bahwa sampah adalah limbah atau buangan yang bersifat padat, setengah padat yang merupakan hasil sampingan dari kegiatan perkotaan atau siklus kehidupan manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Demikian pula menurut Mustofa (2005), menyatakan sampah adalah bahan yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga dalam pemakaiannya, barang rusak atau bercacat atau materi berkelebihan.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor T-13-1990, yang dimaksud dengan sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari zat organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi bangunan. Sampah perkotaan adalah sampah yang timbul di kota dan tidak termasuk sampah bahan berbahaya dan beracun (B3) dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan.

2.2 Pengaruh Sampah Terhadap Lingkungan

Pengelolaan sampah di suatu daerah akan membawa pengaruh positif maupun negatif bagi masyarakat maupun lingkungan daerah itu sendiri. Pengelolaan sampah yang baik akan memberikan pengaruh yang positif terhadap masyarakat maupun lingkungannya, seperti : 1) sampah dapat dimanfaatkan untuk menimbun lahan seperti rawa-rawa dan dataran rendah, 2) sampah dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, 3) sampah dapat diberikan untuk makanan ternak setelah menjalani proses pengelolaan yang telah ditentukan lebih dahulu untuk mencegah pengaruh buruk sampah tersebut terhadap ternak, 4) pengelolaan sampah menyebabkan berkurangnya tempat untuk berkembang biak serangga dan binatang pengerat, 5) menurunkan insidensi kasus penyakit menular yang erat hubungannya dengan sampah dan 6) keadaan lingkungan yang baik mencerminkan kemajuan budaya masyarakat, 7)

keadaan lingkungan yang baik akan menghemat pengeluaran dana kesehatan suatu negara sehingga dana itu dapat digunakan untuk keperluan lain (Chandra, 2007).

Depkes (1997) *dalam* Guntar (1999) menyebutkan bahwa sampah yang tidak dikelola dengan baik, akan mengganggu kelestarian lingkungan hidup baik terhadap komponen abiotik, biotik maupun sosial budaya masyarakat. Menurut Chandra (2007) *dalam* Arbain (2008), beberapa pengaruh negatif terhadap lingkungan antara lain: 1) estetika lingkungan menjadi kurang sedap dipandang mata, 2) proses pembusukan sampah oleh mikroorganisme akan menghasilkan gas-gas tertentu yang menimbulkan bau busuk, 3) pembakaran sampah dapat menimbulkan pencemaran udara dan bahaya kebakaran yang lebih luas, 4) pembuangan sampah ke dalam saluran pembuangan air akan menyebabkan aliran air terganggu dan saluran air menjadi dangkal, 5) apabila musim hujan datang, sampah yang menumpuk dapat menyebabkan banjir dan mengakibatkan pencemaran pada sumber air permukaan atau sumur dangkal, dan 6) air banjir dapat mengakibatkan kerusakan pada fasilitas masyarakat, seperti jalan, jembatan dan saluran air.

Pengolahan sampah yang tidak baik akan berpengaruh pada komponen sosial budaya dan sosial ekonomi masyarakat antara lain: 1) pengelolaan sampah yang kurang baik mencerminkan keadaan sosial budaya masyarakat setempat, 2) keadaan lingkungan kurang baik dan jorok, akan menurunkan daya tarik wisatawan untuk datang berkunjung ke daerah tersebut, 3) dapat menyebabkan terjadinya perselisihan antara penduduk setempat dan pihak pengelola karena bau busuk yang sangat mengganggu (misalnya kasus TPA Bantargebang, Bekasi), 4) angka orang sakit meningkat dan mengurangi hari kerja sehingga produktivitas masyarakat menurun, 5) kegiatan perbaikan lingkungan yang rusak memerlukan dana yang besar sehingga dana untuk sektor lain akan berkurang, dan 6) menurunnya pemasukan daerah (devisa) akibat penurunan jumlah wisatawan yang berkunjung sehingga akan berdampak pada penurunan penghasilan masyarakat setempat (Chandra, 2007). Berdasarkan pendapat tentang pengaruh negatif sampah pengelolaan sampah yang kurang baik dapat memberikan pengaruh negatif terhadap lingkungan. Sampah yang

menumpuk dan dibiarkan pada tempat terbuka (*open dumping*), menyebabkan rendahnya nilai estetika di sekitar tempat tersebut

2.3 Sistem Pemrosesan Akhir Sampah

Menurut Feranie *et al.*, (2008), pengolahan sampah adalah metode pemrosesan akhir yang dilakukan dengan teknik penimbunan sampah. Tempat pemrosesan akhir ini harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: 1) tercakup dalam tata ruang kota, 2) jenis tanah harus kedap air, 3) tanah yang tidak produktif untuk pertanian, 4) dapat digunakan minimal 5-10 tahun, 5) bukan daerah yang potensial untuk mencemari sumber air, 6) jarak dari daerah pusat pelayanan kurang lebih 10 km, dan 7) merupakan daerah bebas banjir (KLH, 2004).

Supanca (2003), menyatakan ada tiga (3) sistem pemrosesan akhir antara lain:

1. Sistem *open dumping* merupakan sistem yang tertua yang dikenal manusia dalam pemrosesan sampah. Sampah hanya dibuang atau ditimbun di suatu tempat tanpa ada perlakuan khusus sehingga dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan.
2. Sistem *control landfill* adalah sampah dihamparkan pada lokasi cekungan dan permukaannya diratakan serta ditutupi tanah pada ketebalan tertentu yang dilakukan secara periodik
3. Sistem *sanitary landfill* adalah penutupan sampah dengan lapisan tanah yang dilakukan sedemikian rupa sesuai petunjuk yang ditetapkan, sehingga tidak lagi terlihat sampah yang terbuka.

2.4 Pengelolaan Persampahan di Kabupaten Jember

Pengelolaan sampah di Kota Jember saat ini dilakukan oleh DKP (Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kabupaten Jember). Komposisi timbunan sampah di Kabupaten Jember telah diidentifikasi bersumber dari: 1) sampah rumah tangga, 2)

sampah hasil sapuan jalan, 3) sampah pasar, 4) sampah dari aktivitas perkantoran dan lain-lain (Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Jember, 2009).

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Pakusari Jember pada awalnya dirancang dengan metode *sanitary landfill*, namun pada pelaksanaan operasionalnya menerapkan metode *open dumping*. Armen (1987) dalam Tanauma (2000), menyatakan bahwa metode *open dumping* dapat menimbulkan pengaruh yang cukup besar terhadap lingkungan hidup di sekitar lokasi TPA yaitu menimbulkan dampak pencemaran air, tanah, udara, dan bau yang tidak sedap serta gangguan lalat yang sangat banyak sampai ke rumah-rumah penduduk. Salah satu faktor menurunnya kualitas air tanah dangkal pada pemukiman penduduk di sekitar lokasi TPA disebabkan terkontaminasinya air tanah yang bersumber dari penimbunan sampah yang tidak sesuai dengan prosedur pemrosesan sampah (metode *open dumping*). Bila sampah tersebut ditimbun pada suatu daerah yang kondisi geologinya rawan, maka akan terjadi pencemaran air tanah dangkal di daerah tersebut. Kondisi geologi disebut rawan jika batuan dasar tempat menimbun sampah bersifat porus atau banyak mengandung retakan. Keadaan seperti itu akan memudahkan meresapnya air lindi, selanjutnya akan mencapai muka air tanah dangkal, sehingga air tanah dangkal menjadi terkontaminasi.

2.5 Air Lindi (*Leachate*)

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang timbul dari hasil dekomposisi biologis sampah yang telah membusuk yang mengalami pelarutan akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah. Air lindi akibat proses degradasi sampah dari TPA merupakan sumber yang mempengaruhi perubahan sifat fisik, kimia maupun biologi (Husin dan Kustaman, 1992).

Air lindi disebabkan oleh terjadinya presipitasi cairan ke TPA, baik dari resapan air hujan maupun kandungan air pada sampah itu sendiri. Lindi bersifat toksik karena adanya zat pengotor dalam timbunan yang mungkin berasal dari

buangan limbah industri, debu, lumpur hasil pengolahan limbah, limbah rumah tangga yang berbahaya, atau dari dekomposisi yang normal terjadi pada sampah.

Tabel 2.1 menunjukkan komposisi lindi dari TPA secara umum

Tabel 2.1 Komposisi lindi dari TPA secara umum

| Parameter | Kisaran |
|--------------|---------------------|
| Ph | 6,2 – 7,4 |
| COD | 66 – 11.600 mg/l |
| BOD | < 2 – 8.000 mg/l |
| Sulfat | 56 – 456 mg/l |
| Cadium (Cd) | < 0,005 – 0,01 mg/l |
| Plumbum (Pb) | < 0,05 – 0,22 mg/l |
| Chromim (Cr) | < 0,05 – 0,14 mg/l |

Sumber: Diklat *Landfilling* Limbah-FTSL ITB (2008)

Kualitas lindi akan tergantung dari beberapa hal, seperti variasi dan proporsi komponen sampah yang ditimbun, curah hujan dan musim, umur timbunan, pola operasional, waktu dilakukannya *sampling*. Gambaran variasi kualitas lindi dari beberapa TPA di Indonesia ditampilkan dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Variasi kualitas lindi dari beberapa TPA di Indonesia.

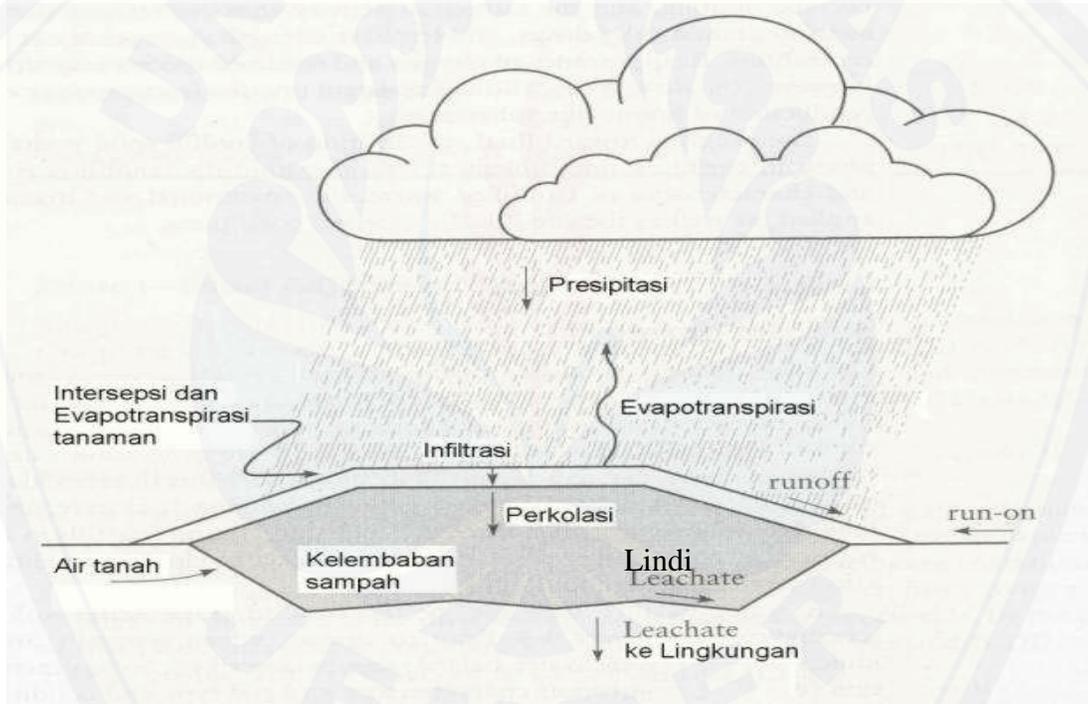
| Kota | Ph | COD | N-NH ₄ | N-NO ₂ | DHL |
|---------|-----|-------|-------------------|-------------------|-------|
| Bogor | 7,5 | 28723 | 770 | 0 | 40480 |
| Cirebon | 7 | 3648 | 395 | 0,225 | 10239 |
| Jakarta | 7 | 413 | 240 | 0,075 | 3823 |
| Bandung | 6 | 58661 | 1356 | 6,1 | 26918 |
| Solo | 6 | 6166 | 162 | 0,225 | 3540 |

Sumber: Diklat *Landfilling* Limbah-FTSL ITB (2008)

Menurut Slamet (1994), air lindi (*leachate*) adalah cairan yang mengandung zat padat tersuspensi yang sangat halus dari hasil penguraian mikroba, biasanya terdiri atas Ca, Mg, Na, K, Fe, Klorida, Sulfat, Fosfat, Zn, Ni, CO₂, H₂O, N₂, NH₃, H₂S, Asam organik dan H₂, tergantung dari kualitas sampah, maka di dalam *leachate* biasanya pula terdapat mikroba patogen, logam berat dan zat lainnya yang berbahaya.

Berdasarkan hasil penelitian Tanauma di TPA Sampah Yogyakarta (2000), air lindi sampah mengandung senyawa-senyawa kimia anorganik antara lain: nitrit, nitrat, ammonia, kalsium, kalium, magnesium klorida, sulfat, BOD, COD, pH dan mikrobiologi (total koliform) yang konsentrasinya sangat tinggi

Menurut Jagloo (2002), air tanah tidaklah statis melainkan bergerak karena adanya perbedaan gradien hidrolika. Komposisi lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah terdeposit, jumlah curah hujan di TPA, dan kondisi spesifik tempat. Gambar 2.1 menunjukkan skema proses terjadinya lindi.



Gambar 2.1 Skema Proses Terjadinya Lindi (Sumber: Hendrajaya, 1990)

Menurut Todd (1980) dalam Tanauma (2000), air lindi dicirikan bahwa pada daerah yang bercurah hujan tinggi, air lindi menjadi lebih mudah terbentuk dan jumlahnya akan lebih banyak. Mekanisme masuknya air lindi ke lapisan air tanah, terutama air tanah dangkal (sumur) melalui proses sebagai berikut: 1) air lindi ditemukan pada lapisan tanah yang digunakan sebagai *open dumping*, yaitu kira-kira

berjarak 2 m di bawah permukaan tanah, 2) secara khusus, bila air lindi masuk dengan cara *infiltrasi* di tanah, segera permukaan tanah dijenuhi air, 3) akibat adanya faktor seperti air hujan, mempercepat air lindi masuk ke lapisan tanah yaitu zona aerasi yang mempunyai kedalaman 10 m di bawah permukaan tanah, 4) akibat banyaknya air lindi yang terbentuk menyebabkan air lindi masuk ke lapisan airtanah dangkal atau lapisan air tanah jenuh, 5) pada lapisan tanah jenuh tersebut, air yang terkumpul bercampur dengan air lindi dimana air tanah dangkal ini dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal.

Air lindi yang berasal dari proses degradasi sampah TPA, merupakan sumber utama yang mempengaruhi perubahan sifat-sifat fisik air, terutama suhu, rasa, bau, dan kekeruhan. Suhu limbah yang berasal dari lindi umumnya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan air penerima. Hal ini dapat mempercepat reaksi-reaksi kimia dalam air, mengurangi kelarutan gas dalam air, mempercepat pengaruh rasa dan bau (Husin dan Kustaman, 1992).

2.6 Gas Metana

Metana dan karbon dioksida adalah gas utama yang dihasilkan oleh pembusukan bakteri limbah di TPA yang mengalami pembusukan secara alamiah. Pembusukan sampah tersebut akan menghasilkan gas metana (CH_4 dan H_2S) yang bersifat racun bagi tubuh mahluk hidup (Noriko, 2003). Di TPA, bahan organik terdekomposisi secara anaerobik menjadi metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan sejumlah kecil N_2 , H_2 , H_2S , H_2O (Morissoy dan John, 1998). Metana memiliki efek 20-30 kali lebih besar dibanding dengan karbon dioksida, dan CFC diperkirakan memiliki efek rumah kaca 1000 kali lebih kuat dibanding dengan karbon dioksida (Porteous, 1992).

Jumlah dan komposisi gas yang dihasilkan sangat ditentukan oleh karakteristik sampah. Sebagai contoh, produksi gas spesifik teoritis untuk karbohidrat adalah $0,8 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ dengan kandungan CH_4 50%, sedangkan untuk lemak dan protein

masing-masing 0,7 dan 1,2 Nm³/kg dengan kandungan CH₄ 70 dan 67% (ATV, 1989). Potensi pembentukan gas dari dekomposisi sampah di *landfill* berkisar antara 150 dan 250 m³ gas/t (ATV, 1989) atau 0 – 300 m³ CH₄/t sampah (Yusrizal, 2000). Estimasi lainnya memperlihatkan bahwa produksi gas teoritis dapat mencapai 200-270 L CH₄ per kg sampah, tergantung pada karakteristik sampah dan kondisi fisik *landfill*, seperti temperatur dan kelembaban (Henry dan Heinke, 1996).

2.7 Metode Geolistrik

Salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi adalah geolistrik. Metode geolistrik meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi di atas permukaan baik secara alamiah maupun penginjeksian arus ke dalam bumi. Terdapat beberapa metode geolistrik yang sering digunakan antara lain: metode potensial diri (SP), IP (*Induced Polarization*), *magnetotelluric*, dan resistivitas (tahanan jenis) (Reynolds, 1997).

Berdasarkan tujuan penelitian metode geolistrik resistivitas dibagi menjadi dua macam yaitu *mapping* dan *sounding*. Metode geolistrik *mapping* merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara horisontal dengan jarak elektroda yang ada dibuat tetap. Sedangkan metode geolistrik resistivitas *sounding* merupakan metode resistivitas yang bertujuan mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal dengan cara mengubah-ubah jarak elektroda mulai jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi, kemudian akan diperoleh ketebalan dan resistivitas masing-masing lapisan batuan (Reynolds, 1997).

Dalam metode geolistrik resistivitas dikenal banyak konfigurasi elektroda. Konfigurasi elektroda merupakan aturan-aturan penempatan elektroda dalam geofisika yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi. Konfigurasi elektroda yang sering digunakan adalah konfigurasi *Wenner*, konfigurasi

Schlumberger, konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, konfigurasi *Dipol-dipol*, *Rectangle Line Source* dan sistem gradien 3 titik (Hendrajaya, 1990).

2.8 Potensial dalam Media Homogen

Apabila suatu medium homogen isotropis dialiri arus listrik yang searah I (karena diberi medan listrik \vec{E}), maka besarnya arus yang melalui elemen luas permukaan $\delta\vec{A}$ dengan rapat arus \vec{J} (A/m^2). Hubungan antara rapat arus \vec{J} dan medan listrik \vec{E} dengan Hukum Ohm adalah sebagai berikut (Telford *et al.*, 1990)

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (2.1)$$

dengan:

$$\vec{J} = \text{rapat arus (} A/m^2 \text{)}$$

$$\vec{E} = \text{medan listrik (V/m)}$$

$$\sigma = \text{konduktivitas medium (} \Omega m^{-1} \text{)}$$

Medan listrik merupakan medan konservatif sehingga dapat dinyatakan dalam bentuk gradien dari potensial skalar (V)

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (2.2)$$

Substitusikan persamaan (2.1) ke persamaan (2.2), maka diperoleh

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V \quad (2.3)$$

Apabila tidak ada muatan sumber, maka $\nabla \cdot \vec{J} = 0$ sehingga

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (2.4)$$

Dengan menggunakan teorema vektor $\nabla \cdot (\phi A) = \nabla \phi \cdot A + \phi \nabla \cdot A$ maka didapatkan

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 \cdot V = 0 \quad (2.5)$$

Karena medium dianggap homogen isotropis maka nilai konduktivitas medium σ konstan, sehingga suku pertama akan hilang dan akan didapatkan persamaan Laplace dalam bentuk potensial harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.6)$$

Diasumsikan bumi bersifat homogen isotropis, maka persamaan (2.6) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) dikalikan dengan r^2 dan kemudian diintegrasikan, maka didapatkan:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.8)$$

dimana A = konstanta integrasi

Persamaan (2.8) diintegrasikan terhadap r , maka didapatkan

$$V(r) = -\frac{A}{r} + B \quad (2.9)$$

Dimana A dan B adalah konstanta yang nilainya didapatkan dengan menerapkan syarat batas yang harus dipenuhi potensial $V(r)$. Pada saat $r = \infty$, maka nilai V akan bernilai nol dan juga akan didapatkan nilai $B = 0$, sehingga persamaan di atas menjadi:

$$V(r) = -\frac{A}{r} \quad (2.10)$$

(Telford *et al.*, 1990).

2.9 Elektroda Arus Tunggal di Permukaan Bumi

Apabila sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik yang diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus listrik menyebar dalam tanah secara radial dan jika udara di atasnya dianggap mempunyai konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola. Elektroda tersebut terangkai dengan elektroda lain yang berada pada titik yang sangat jauh. Arus yang mengalir melalui permukaan setengah bola yang mempunyai luas $2\pi r^2$ adalah:

$$I = 2\pi r^2 \vec{j} = -2\pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} = 2\pi \sigma A \quad (2.11)$$

Untuk konstanta integrasi A dalam setengah bola yaitu:

$$A = -\frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.12)$$

Sehingga didapatkan:

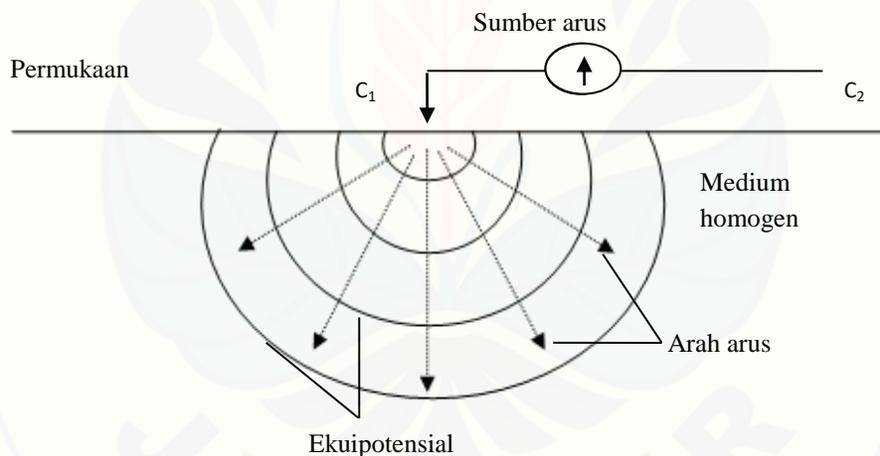
$$V = -\frac{A}{r} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r} \quad (2.13)$$

Dengan demikian harga resistivitas listrik yang diberikan oleh medium:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.14)$$

(Telford *et al.*, 1990).

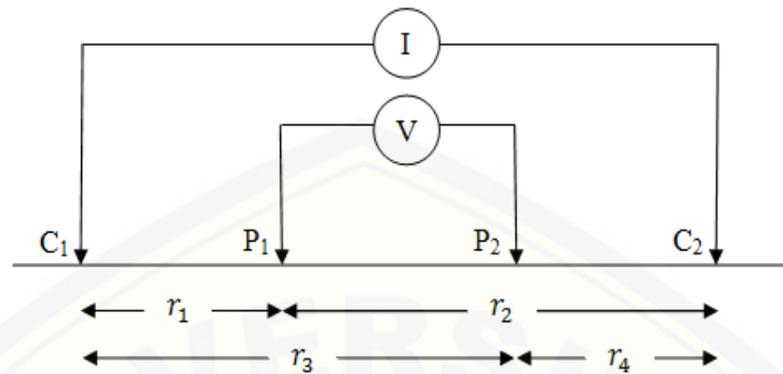
Persamaan (2.14) (ρ) merupakan ekuipotensi permukaan setengah bola yang berada di bawah permukaan tanah seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Aliran arus dan bidang ekuipotensi oleh satu titik sumber pada permukaan bumi homogen (Sumber: Telford *et al.*, 1990)

2.10 Dua Elektroda Arus di Permukaan Bumi

Apabila terdapat elektroda arus C_1 yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus C_2 dan diantaranya terdapat dua elektroda potensial P_1 dan P_2 yang dibuat dengan jarak tertentu seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Sumber: Telford *et al.*, 1990)

Pada Gambar 2.3 besarnya potensial yang berada di dekat titik elektroda dapat dipengaruhi oleh kedua elektroda arus, oleh karena itu potensial P_1 yang disebabkan arus di C_1 adalah:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad (2.15)$$

dimana

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.16)$$

maka

$$V_1 = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r_1} \quad (2.17)$$

potensial di titik P_1 akibat pengaruh arus listrik oleh C_2 adalah:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad (2.18)$$

dimana

$$A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (2.19)$$

maka

$$V_2 = -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r_2} \quad (2.20)$$

Sehingga potensial total pada titik P₁ oleh C₁ dan C₂ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (2.21)$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial di titik P₂ yaitu:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \quad (2.22)$$

Sehingga didapatkan beda potensial diantara titik P₁ dan P₂ yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right] \quad (2.23)$$

Susunan seperti ini berkaitan dengan 4 elektroda yang terbentang secara normal digunakan dalam pekerjaan medan potensial (Telford *et al.*, 1990).

2.11 Resistivitas Semu

Apabila kita menganggap bumi bersifat homogen isotropik, maka resistivitas yang terukur merupakan resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan nilai resistivitasnya berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Homogenitas tiap lapisan, kandungan mineral logam, kandungan air merupakan faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas. Nilai resistivitas yang terukur merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja terutama untuk spasi yang lebar. Berdasarkan persamaan (2.23) maka resistivitas semu dirumuskan dengan:

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.24)$$

$$\rho = Kws \frac{\Delta V}{I} \quad (2.25)$$

dimana:

ρ = Resistivitas Semu ($\Omega.m$)

K_{WS} = Faktor Geometri *Wenner – Schlumberger* (m)

ΔV = Selisih Beda Potensial (volt)

I = Kuat Arus (A) (Telford *et al.*, 1990).

2.12 Nilai Resistivitas Macam-Macam Batuan

Setiap batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda. Resistivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menghambat arus listrik. Pada Tabel 2.3 akan ditunjukkan nilai resistivitas dari beberapa jenis batuan dan mineral yang berada di dalam bumi

Tabel 2.3 Harga resistivitas batuan

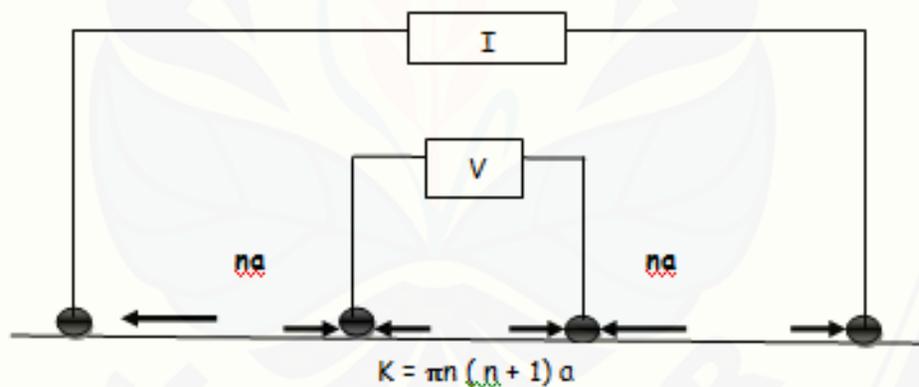
| Material | Resistivitas (Ωm) |
|------------------|---|
| Udara | 0 |
| Intrusi Air Laut | 0,2-50 |
| Air Tanah | 10 -150 |
| Lempung | 1-100 |
| Pasir | 1-1000 |
| Tembaga | 1-1,7 |
| Magnesium | 4,2 |
| Bijih Besi | 0,1-25 |
| Khrom | 13,2 |
| Aluvium | 10-800 |
| Mangan | 44-160 |
| Kerikil | 100-600 |
| Batu Pasir | 200-8000 |
| Gamping | 50-1x10 ⁷ |
| Karbon | 3000 |
| Batuan Garam | 30 – 1x10 ¹³ |
| Kwarsa | 4x10 ¹⁰ – 2x10 ¹⁴ |

Sumber: Telford *et al.* (1990)

2.13 Konfigurasi *Wenner – Schlumberger*

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan gabungan antara konfigurasi *Wenner* dan konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* mempunyai penetrasi maksimum kedalaman 15% lebih baik dari konfigurasi *Wenner*

(Nabeel *et al.*, 2013). Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah konfigurasi dengan sistem aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor “n” untuk konfigurasi ini adalah perbandingan jarak antara elektroda C_1 - P_1 (atau C_2 - P_2) dengan spasi antara P_1 - P_2 seperti pada Gambar 2.4 yang menunjukkan dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ . Jika jarak antar elektroda potensial (P_1 dan P_2) adalah a maka jarak antar elektroda arus (C_1 dan C_2) adalah $2na + a$. Proses penentuan resistivitas menggunakan 4 buah elektroda yang diletakkan dalam sebuah garis lurus. Gambar 2.4 menunjukkan 2 pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas .



Gambar 2.4. Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Sumber: Telford *et al.*, 1990).

Perhitungan resistivitas semu pada konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\rho = Kws \frac{\Delta V}{I} \quad (2.26)$$

$$Kws = \left[\left(\frac{1}{C1P1} - \frac{1}{P1C2} \right) - \left(\frac{1}{C1P2} - \frac{1}{C2P2} \right) \right]^{-1} \quad (2.27)$$

Dengan Kws adalah faktor geometri dari konfigurasi elektroda yang digunakan di lapangan. Dimana pada rumus Kws diatas merupakan rumus dari faktor geometri konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Loke, 2004).

2.14 Software Res2Dinv

Res2dinv adalah *software* komputer yang secara otomatis menentukan resistivitas 2 dimensi (2D) untuk bawah permukaan dari data hasil survei geolistrik. Tahap-tahap penggunaan *software Res2Dinv* untuk memproses data geolistrik adalah sebagai berikut:

1. Data hasil penelitian berupa arus, tegangan dan jarak antar elektroda diolah dengan menggunakan Excel untuk menentukan konstanta konfigurasi dan nilai resistivitas semu.
2. Data input *Res2Dinv* diletakkan pada *text editor* dengan format input sebagai berikut:

Line 1 Nama garis survei

Line 2 Spasi elektroda terpendek

Line 3 Tipe pengukuran (*Wenner* = 1, *Pole-pole* = 2, *Dipole-dipole* = 3, *Pole-dipole* = 6, *Schlumberger* = 7)

Line 4 Jumlah total titik datum

Line 5 Tipe dari lokasi x untuk datum point (memasukkan bila datum pertama berada pada elektroda pertama, 1 jika datum pertama berada di tengah-tengah elektroda)

Line 6 Memasukkan 0 untuk data resistivitas

Line 7 Memasukkan data posisi horisontal (posisi x), spasi elektroda, nilai resistivitas semu untuk titik datum pertama.

Line 8 Posisi x, spasi elektroda dan harga resistivitas semu yang terukur untuk datum point kedua

dan seterusnya untuk datum point berikutnya dengan posisi yang semakin meningkat dan mengakhiri input data dengan 4 kali 0 (Rahmi, 2005).



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang diperlukan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui suatu pengukuran langsung di sekitar TPA Pakusari, Jember. Pengukuran tersebut berupa pengukuran arus listrik (I) yang diinjeksikan ke dalam bumi dan tegangan (V) yang timbul akibat beda potensial yang terjadi pada titik-titik pengukuran di sekitar TPA Pakusari, Jember. Data sekunder yaitu data yang diperoleh untuk mendukung data pengukuran. Data sekunder berupa peta lokasi penelitian dan literatur atau hasil-hasil penelitian sebelumnya.

3.2 Definisi Operasional dan Variabel Pengukuran

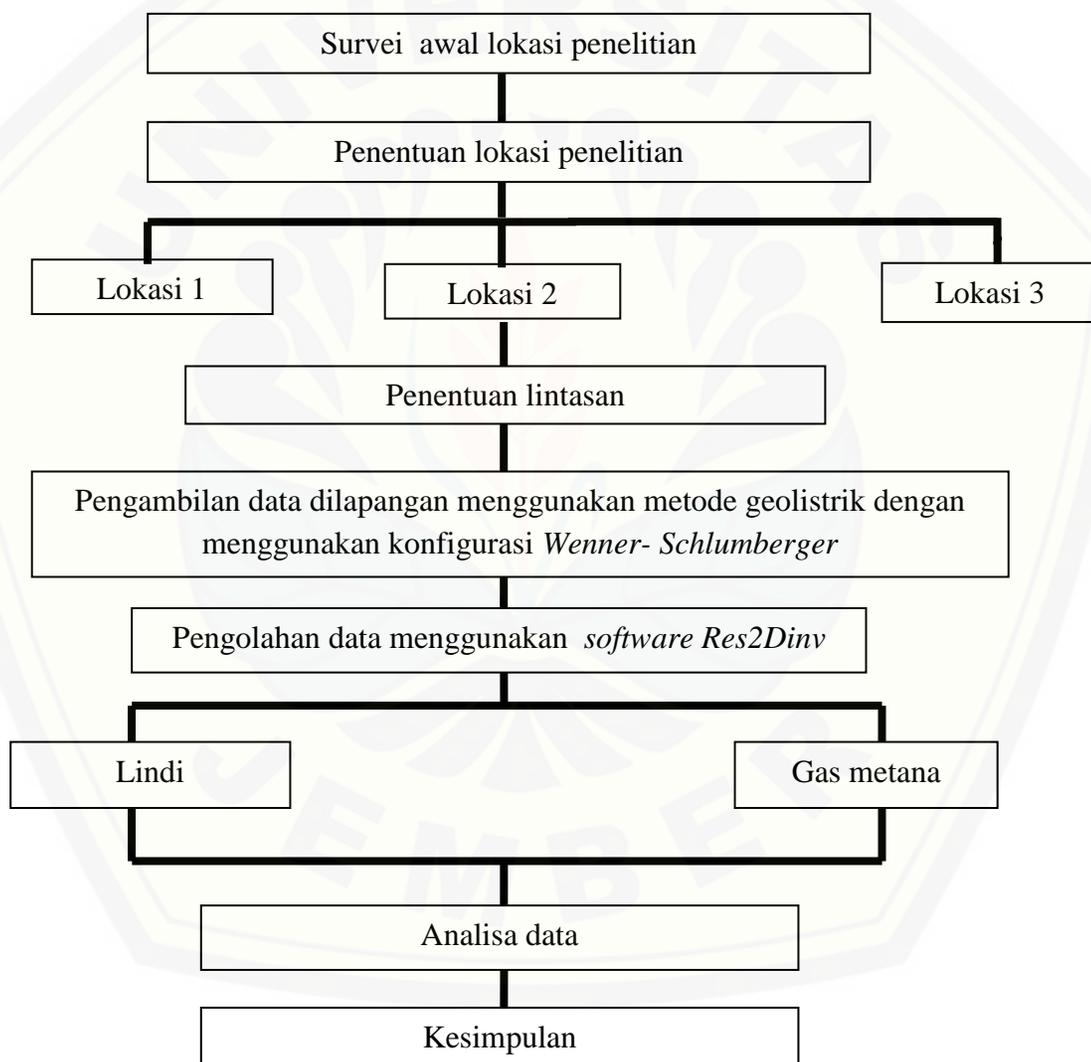
Variabel-variabel yang diamati dan diukur dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Panjang lintasan untuk lokasi sampah baru (pusat pembuangan sampah) 54 m, lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan 42 m, lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan 60 m.
2. Spasi atau jarak antar elektroda pada lintasan adalah 3 m.
3. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.
4. Koordinat titik data dan elevasi yang ditunjukkan oleh pengukuran GPS.
5. Beda potensial (V) yang terukur pada *resistivity* meter.
6. Arus (I) yang terukur pada *resistivity* meter.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner – Schlumberger*. Dengan metode ini akan diperoleh suatu nilai variasi resistivitas bawah permukaan. Anomali yang diharapkan pada penelitian ini adalah nilai resistivitas rendah yang menunjukkan keberadaan polutan

sampah yang diasumsikan sebagai fluida konduktif (lindi) sedangkan akumulasi yang diduga sebagai gas metana berada di lokasi yang berdekatan dengan lindi. Akumulasi gas metana memiliki kontras nilai resistivitas yang signifikan jika dibandingkan pada titik pengukuran lain. Rancangan penelitian merupakan rencana menyeluruh dari penelitian dan rancangan penelitian yang digunakan akan terstruktur seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram kerja penelitian

Keterangan :

1. Lokasi 1 : Sampah baru (pusat pembuangan sampah).
2. Lokasi 2 : Pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan.
3. Lokasi 3 : Pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi.

3.3.1. Survei awal lokasi penelitian

Survei awal lokasi penelitian dilakukan untuk mencari informasi awal mengenai objek penelitian dan kondisi lingkungan sekitar. Penelitian ini dilakukan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). TPA ini tepatnya berada di Desa Kertosari, Kecamatan Pakusari Kabupaten Jember. Tempat tersebut memiliki luas sekitar 15 Hektar dan dibagi menjadi 13 kavling. Jumlah sampah per hari yang masuk ke TPA Pakusari mencapai 550 m³.

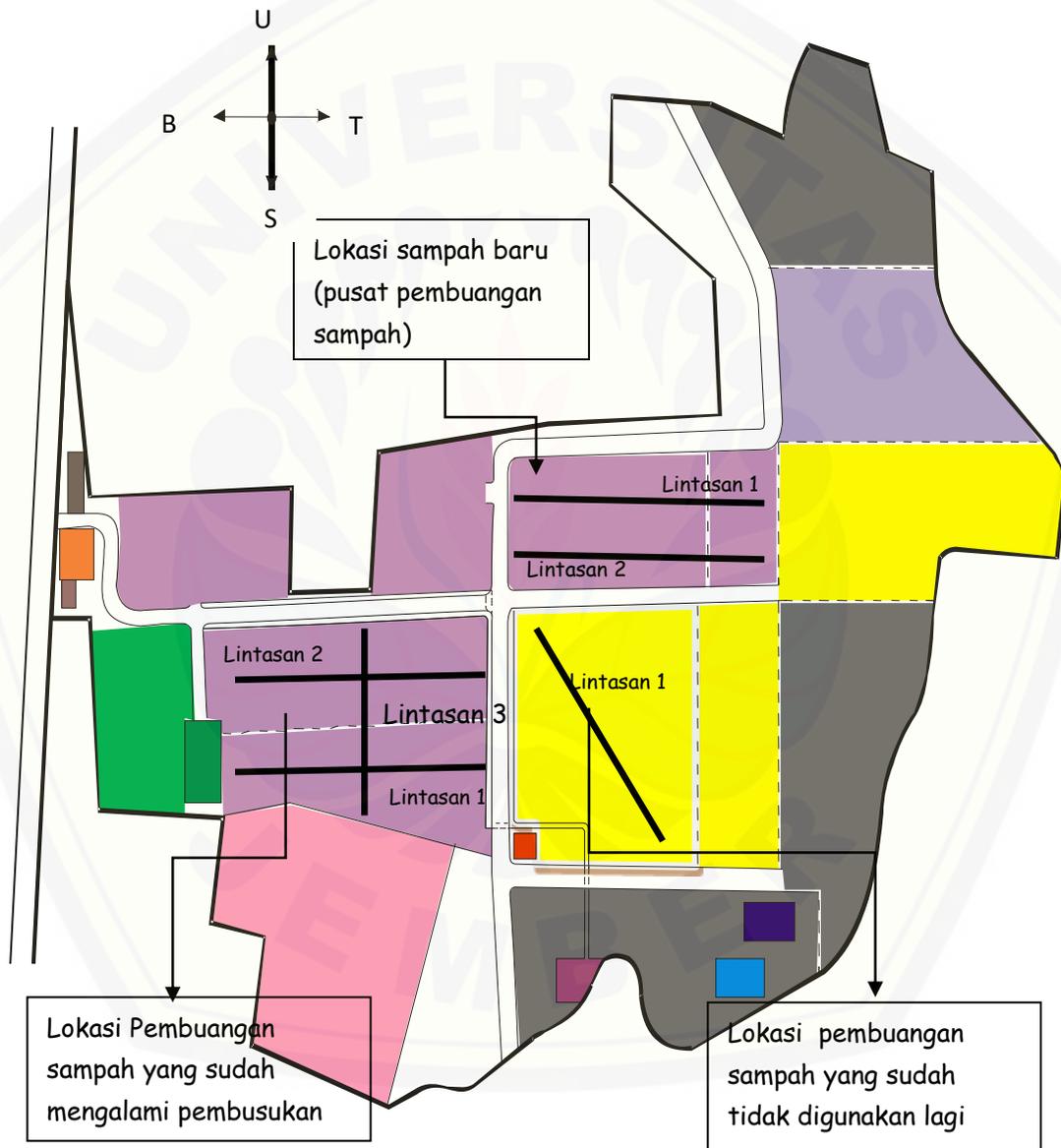
3.3.2 Penentuan Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih berdasarkan indikator yang akan diteliti dan sesuai dengan permasalahan berada di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari yang terletak di Desa Kertosari Kecamatan Pakusari Kabupaten Jember, Jawa timur. Tempat penelitian berada pada titik koordinat 08°10'11.2" LS dan 113°45'43.6" BT. Pada penelitian ini, peneliti ingin mendeteksi kondisi bawah permukaan di 3 lokasi yaitu, Sampah baru (pusat pembuangan sampah), pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan dan pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi.

3.3.3 Penentuan Lintasan

Penentuan lintasan lokasi penelitian dilakukan dengan cara mengambil titik titik lintasan sepanjang 54 m, 42 m dan 60 m untuk tiga lokasi yang berbeda. Lintasan pengambilan data pada penelitian ini sebanyak 2 lintasan untuk kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah), 3 lintasan untuk lokasi pembuangan sampah yang

sudah mengalami pembusukan dan 1 lintasan untuk lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi.

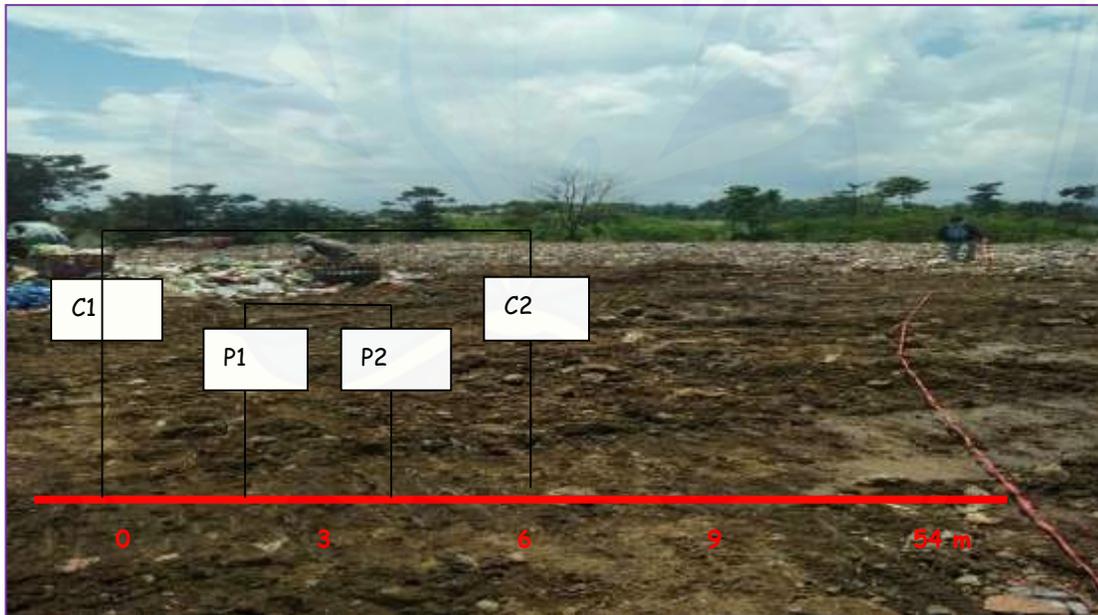


Gambar 3.2 Peta lokasi TPA Pakusari Jember

Keterangan :

-  : Lokasi sampah yang masih aktif
-  : Kolam lindi
-  : Lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi
-  : Kantor petugas TPA
-  : Gudang

Pemilihan lokasi tersebut diambil dengan harapan di lokasi sampah baru yang merupakan pusat pembuangan sampah akan menunjukkan akumulasi lindi tertinggi. Pada lokasi sampah baru dilakukan 2 kali pengambilan data dengan spasi antara elektroda 3 m dan jarak antara lintasan 1 dengan lintasan 2 sepanjang 5 m dengan panjang lintasan pengukuran 54 m untuk masing masing lintasan pengukuran.



Gambar 3.3 Sketsa lintasan pengambilan data di TPA Pakusari dengan kondisi sampah baru (pusat pembuangan sampah) dengan panjang lintasan 54 m

Keterangan :

Lintasan : 

C1 dan C2 : Elektroda arus

P1 dan P2 : Elektroda potensial

Lokasi kedua merupakan lokasi pembuangan sampah yang sudah mengalami pembusukan. Pada lokasi ini dilakukan 3 kali pengambilan data dengan spasi antara lintasan sepanjang 3 m dengan panjang 42 m untuk masing masing lintasan pengukuran. Hasil yang diharapkan adanya produksi gas metana yang bervariasi bergantung pada karakteristik sampah dan kondisi di *landfill* tersebut.



Gambar 3.4 Lokasi pengambilan data di TPA Pakusari dengan kondisi sampah yang sudah mengalami pembusukan dengan panjang lintasan 42 m

Lokasi ketiga adalah lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi. Hasil yang diharapkan akan menunjukkan keberadaan anomali konduktif sebagai indikator keberadaan lindi lebih sedikit dibandingkan keberadaan gas metana.



Gambar 3.5 Lokasi pengambilan data di TPA Pakusari dengan kondisi sampah yang tidak digunakan lagi dengan panjang lintasan 60 m

3.3.4 Pengambilan data lapangan

Data dari hasil pengukuran lapangan berupa arus, tegangan dan jarak (spasi). Data yang diharapkan dalam penelitian ini berupa resistivitas semu yang dihasilkan dari perhitungan data lapangan. Langkah langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan lintasan yang akan digunakan serta mengukur panjang lintasan.
2. Mengukur spasi awal yaitu $a = 3 \text{ m}$ ($n = 1$) dan ditandai dengan pasak.
Pengukuran ini disesuaikan dengan aturan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.
3. Memasang keempat elektroda yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di tempat yang sudah ditandai dengan pasak.
4. Menghubungkan keempat elektroda tersebut dengan *resistivity* meter dengan menggunakan kabel penghubung.
5. Mengaktifkan *resistivity* meter, kemudian melakukan injeksi arus listrik dalam tanah.

6. Mencatat nilai teggangan (V) dan arus (A) sebagai hasil pencatatan akhir dari *resistivity* meter.
7. Memindahkan posisi elektroda sesuai dengan aturan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, kemudian menginjeksikan arus dan mencatat hasilnya. Pemindahan dilakukan terus sampai melingkupi panjang seluruh lintasan dalam hal ini 54 m untuk lokasi sampah baru (pusat pembuangan sampah), 42 m untuk lokasi pembuangan sampah yang yang sudah mengalami pembusukan dan 60 m untuk lokasi pembuangan sampah yang tidak digunakan lagi .
8. Pada pengukuran $n = 2$ spasi diubah menjadi $2a$,kemudian melakukan hal yang sama seperti langkah diatas dengan memperbesar spasi $a = 3, 6, 9, 12, 15, 21 \dots$ dan seterusnya.

3.3.5 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Res2Dinv*. Data yang diperoleh adalah kuat arus dan beda potensial yang menghasilkan nilai resistansi (hambatan). Nilai resistansi dikalikan dengan faktor geometri akan menghasilkan nilai resistivitas semu. Nilai Resistivitas semu akan disimpan dalam *Notepad* dengan ekstensi *.dat dan diolah menggunakan *software Res2Dinv* untuk memperoleh citra bawah permukaan.

3.4 Teknik Penyajian Data

Data yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah data resistivitas struktur bawah permukaan tanah yang ditampilkan dengan citra resistivitas berupa penampang horizontal sebagai panjang lintasan dan vertikal sebagai kedalaman. Nilai resistivitas diwakili oleh degradasi warna dimana setiap warna memiliki resistivitas yang berbeda.

3.5 Interpretasi dan Analisa Data

Interpretasi data yang digunakan adalah interpretasi kualitatif yaitu cara pendugaan terhadap letak akumulasi gas metana dan lindi berdasarkan citra resistivitas yang diperoleh, kemudian disesuaikan dengan Tabel 2.3 yaitu tabel resistivitas batuan. Apabila didapat nilai resistivitas lebih rendah dari nilai resistivitas untuk air tanah yakni antara 10 – 150 Ωm dapat diduga sebagai lindi. Sedangkan menurut Loke, 1999 nilai resistivitas dibawah nilai resistivitas air bersih (*fresh water*) yaitu antara 10 -100 Ωm . Nilai resistivitas yang rendah oleh beberapa penulis diistilahkan dengan anomali konduktif, diantaranya Darsono (2008) yang menyebutkan lindi atau limbah cair sampah merupakan anomali konduktif. Sedangkan akumulasi yang diduga sebagai gas metana berada di lokasi yang berdekatan dengan lindi. Sebaran gas metana memiliki kontras nilai resistivitas yang signifikan jika dibandingkan pada titik pengukuran lainnya.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Sebaran dan kuantitas lindi tertinggi berada di lokasi 1, karena lintasan ini berada pada pusat pembuangan sampah TPA Pakusari. Daerah ini merupakan daerah berkumpulnya sampah baru sehingga lindi akan menyebar akibat timbunan sampah setiap harinya. Lindi cenderung mengalir ke lingkungan sekitar dengan cara merembes masuk ke pori pori batuan. Hal ini terlihat pada gambar penampang distribusi resistivitas pada lokasi 1, dimana terdapat anomali konduktif $0.387 - 6.81 \Omega\text{m}$ diduga merupakan lapisan batuan yang terisi oleh lindi dengan kuantitas tertinggi dibandingkan lokasi 2 dan lokasi 3. Pada lokasi 2 sampah sudah mengalami pembusukan dan penimbunan sampah dengan tanah yang menyebabkan terjadinya degradasi anaerob menghasilkan metana. Kuantitas gas metana tertinggi berada di lokasi 2 dibandingkan lokasi 1 dan lokasi 3 dikarenakan kondisi lokasi penelitian yang sudah mengalami penimbunan sampah dengan tanah menyebabkan terjadinya degradasi aerob yang dilanjutkan dengan degradasi anaerob yang menghasilkan metana.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat polutan lindi dan gas metana yang bisa membahayakan manusia, terutama di pusat pembuangan sampah dan sekitarnya dan hendaknya petugas TPA Pakusari lebih memperhatikan masalah ini dengan mengubah sistem pengolahan sampah dari sistem *open dumping* menjadi *control landfill*. Mengingat pentingnya masalah ini, penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh umur sampah terkait dengan pembentukan lindi dan pemetaan daerah bebas polutan sampah akan sangat berguna untuk menindak lanjuti penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- ATV. 1993. *Spektrum: Wegwerf Meister USA*. Korrespondenz Abwasser 36 (1993) 12. p. 1855
- Arbain, N.K.M., Sudana I B.2008. Pengaruh Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sawang Suwung Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal di Kelurahan Pendungan Kota Denpasar. *Echotropic* Vol. 3, No.2. 55-56.
- Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Jember. 2009. *Laporan Tempat pembuangan Akhir (TPA) Pakusari 2009-2010*. BLH : Jember.
- Besuki.2010. *Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari*. BLH : Jember.
- Chandra, B. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*, Penerbit Buku Kedokteran EGC: Jakarta.
- Darmasetiawan, M. 2004. *Perencanaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA)*. Jakarta: Ekamitra Engineering.
- Datusolang, Gerald dan As'ari. 2015. Identifikasi Rembesan Limbah Cair Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger Studi Kasus TPA Sumompo, Manado. *Jurnal* Vol.6 No 1: 2-4
- Depkes RI. 1997. *Pemberantasan Lalat*. Jakarta:Ditjen PPM dan PLP.
- Enri, D. 2008. *Diktat Landfilling Limbah*. Bandung : FTSL ITB.
- Fachrudin, A., 1989. Pengaruh sampah di Tempat Pembuangan Akhir Dago Kota Bandung terhadap kualitas air tanah. *Tesis*. Yogyakarta : UGM.
- Feranie, S., Iryanti M., Utari, S, dan Ardi, N.D. 2008. *Zona Migrasi Pencemaran Air di Sekitar TPA Babakan Ciparay Kabupaten Bandung dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis*. Bandung: UPI.
- Guntar, M. S. 1999. Optimasi Pembangunan Akhir Sampah Lahan Urug Saniter Melalui Usaha Pengomposan dan Pemulungan (Studi Kasus : TPA Sampah Kodya Jambi). *Tesis*. Yogyakarta: UGM.

- Hambali, Mujdalifah, Halomonah dan Pratiwidan Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Hendrajaya, L. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika, Fakultas MIPA ITB.
- Henry, J. G. dan Heinke, G.W. 1996. *Environmental Science and Engineering 2nd ed.* London : Eolss Publisher.
- Husin, Y.A. dan E. Kustaman. 1992. *Metode dan Tehnik Analisis Kualitas Air*. Bogor : PPLH – Lembaga Penelitian IPB.
- Jagloo, K. 2002. *Groundwater Risk Analysis in the Vicinity of A Landfill, A case Study in Mauritius*. Stockholm : Department of Land Water Resources Engineering Royal Institute of Technology.
- Kamelia, N. P. D. 2015. Pendugaan Akumulasi Gas Metana di TPA Taman Krocok Kabupaten Bondowoso dengan Metode Self Potential. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- KLH. 2004. *Peraturan Perundangan-undangan*. Jilid 2. Jakarta.
- Kodoatie, R. J. 2003. *Manajemen dan Rekayasa Infrastruktur*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Loke, M. H. 2000. *Electrical Imaging Survey for Environmental and Engineering Studies*. Malasya : Penang.
- Mansurudin, A. 2005. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Menentukan Letak Akumulasi Rembesan Polutan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pakusari Jember. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember .
- Martono D. H. 1996. *Pengendalian Air Kotor (Leachate) dari Tempat Pembuanganakhir (TPA) Sampah*. Jakarta: Badan Pengkajian Penerapan Teknologi.
- Morrisoy, W. A. dan John, R. J. 1998. *Global Climate Change. CRS Issue Brief for Congress*. The Committee for the national Institute for the Environmental. Washington, D. C.
- Mustofa, H.A. 2000. *Kamus Lingkungan*. Solo: Rineka Cipta.

- Nabeel, F., Warnana, D. D. dan Bahri, A. S. 2013. *Analisa Sebaran Fosfat dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger: Studi Kasus Saronggi, Madura*. Surabaya: Institut Sepuluh Nopember.
- Noriko. 2003. *Tinjauan Akhir Tempat Pemusnahan Akhir bantar Gebang Bekasi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Porteous, A. 1992. *Dictionary of Environmental Science and Technology 2nd*. New York: John Wiley and Sons.
- Putra, I.K. 2012. *Identifikasi Arah Rembesan Dan Letak Akumulasi Lindi Dengan Metode Geolistrik Wenner-Schlumberger di TPA Temensi Kabupaten Gianyar*. Tesis. Denpasar: Universitas Udayana Denpasar.
- Qasim. 1994. *Sanitary Landfill Leachate Generation, Control & Treatment*. Technomic Publishing Company.
- Rahmi, P. A. 2005. *Citra Bawah Permukaan: Pengaruh Jenis dan Kedalaman Obyek Terhadap Distribusi Resistivitas*. Skripsi. Jember: Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Reynold J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Wiley and Sons.
- Sabari, Wiboso, Juliastuti dan Effendi. 2010. *Pemamfaatan Lindi (Limbah Cair Sampah) untuk untuk produksi biogas sebagai upaya menanggulangi dampak pencemaran sampah*. Surabaya: ITS.
- Slamet, J. S. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta : UGM.
- Supanca, W.W. 2003. *Dasar-dasar Pemantauan, Pengawasan dan Teknik Penilaian Pencemaran Limbah*. Denpasar : Universitas Udayana Denpasar.
- Tanauma, A. 2000. *Pengaruh Pembuangan Akhir Sampah Terhadap Mutu Air Tanah di Desa Sitimulyo Kecamatan Piyungan Kabupaten Bantul*. Tesis. Yogyakarta : UGM.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics*. Second Edition. New York: Cambridge University Press.
- Todd, D.K. 1980. *Groundwater Technology*. Associate Professor of Civil Engineering California University. New York: John Wiley and Son.

- USEPA. 2010. *Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources, United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs (6207J), 1200*. Washington, DC: Pennsylvania Ave., NW.
- Veronika,V.2005. Menentukan Kedalaman Akuifer Di Sekitar TPA Pakusari Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resisitivitas. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember .
- Widyasari, N., Moelyaningrum,AD dan Pujiati, RS. 2013. *Analisis Potensi Pencemaran Timbal (Pb) pada Tanah, Air Lindi dan Air Tanah (Sumur Monitoring) di TPA Pakusari Kabupaten Jember*. Jember : Fakultas Kesehatan Masyarakat.
- Yusrizal, Z. 2000. *Pendugaan Emisi Metana dari Landfill Bantar Gebang*. Bogor: Jurusan Meteorologi dan Geofisika FMIPA IPB.

LAMPIRAN

**Lampiran 1. Pengolahan Data Metode Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi
Wenner- Schlumberger**

**1.1 Tabel Data Pengukuran dan Perhitungan Resistivitas Semu Lokasi Sampah Baru
(Pusat Pembuangan Sampah) TPA Pakusari Kabupaten Jember.**

Lintasan 1

| X (m) | N | V (mV) | I (mA) | R (Ω) | Kws(m) | ρ (Ω m) |
|-------|---|--------|--------|----------------|--------|----------------------|
| 4.5 | 1 | 167.5 | 162 | 1.0339 | 18.84 | 19.4796 |
| 7.5 | 1 | 51.7 | 58 | 0.8913 | 18.84 | 16.7935 |
| 10.5 | 1 | 115 | 131 | 0.8778 | 18.84 | 16.5389 |
| 13.5 | 1 | 22.6 | 16 | 1.4125 | 18.84 | 26.6115 |
| 16.5 | 1 | 61.9 | 89 | 0.6955 | 18.84 | 13.1033 |
| 19.5 | 1 | 7.1 | 20 | 0.355 | 18.84 | 6.6882 |
| 22.5 | 1 | 189 | 406 | 0.4655 | 18.84 | 8.7703 |
| 25.5 | 1 | 207 | 543 | 0.3812 | 18.84 | 7.1820 |
| 28.5 | 1 | 455 | 344 | 1.3226 | 18.84 | 24.9191 |
| 31.5 | 1 | 151.1 | 429 | 0.3522 | 18.84 | 6.6357 |
| 34.5 | 1 | 260 | 730 | 0.3561 | 18.84 | 6.7101 |
| 37.5 | 1 | 548 | 153 | 3.5816 | 18.84 | 67.4792 |
| 40.5 | 1 | 209.4 | 546 | 0.3835 | 18.84 | 7.2254 |
| 43.5 | 1 | 218.8 | 535 | 0.4089 | 18.84 | 7.7050 |
| 46.5 | 1 | 316.9 | 753 | 0.4208 | 18.84 | 7.9288 |
| 49.5 | 1 | 22.5 | 96 | 0.2343 | 18.84 | 4.4156 |
| 7.5 | 2 | 83 | 59 | 1.4067 | 56.52 | 79.5111 |
| 10.5 | 2 | 104.7 | 243 | 0.4308 | 56.52 | 24.3524 |
| 13.5 | 2 | 171.1 | 366 | 0.4674 | 56.52 | 26.4223 |
| 16.5 | 2 | 192 | 571 | 0.3362 | 56.52 | 19.0049 |
| 19.5 | 2 | 16.5 | 109 | 0.1513 | 56.52 | 8.5557 |
| 22.5 | 2 | 108.3 | 571 | 0.1896 | 56.52 | 10.7199 |
| 25.5 | 2 | 55.9 | 370 | 0.1510 | 56.52 | 8.5391 |
| 28.5 | 2 | 84.6 | 460 | 0.1839 | 56.52 | 10.3947 |
| 31.5 | 2 | 55.9 | 380 | 0.1471 | 56.52 | 8.3143 |
| 34.5 | 2 | 82.9 | 581 | 0.1426 | 56.52 | 8.0645 |
| 37.5 | 2 | 72 | 521 | 0.1381 | 56.52 | 7.8108 |

| | | | | | | |
|------|---|------|-----|--------|--------|----------|
| 40.5 | 2 | 86.4 | 650 | 0.1329 | 56.52 | 7.5128 |
| 43.5 | 2 | 59.2 | 393 | 0.1506 | 56.52 | 8.5139 |
| 46.5 | 2 | 89.4 | 479 | 0.1866 | 56.52 | 10.5488 |
| 10.5 | 3 | 25.8 | 209 | 0.1234 | 113.04 | 13.9542 |
| 13.5 | 3 | 19.5 | 72 | 0.2708 | 113.04 | 30.615 |
| 16.5 | 3 | 7.49 | 276 | 0.0271 | 113.04 | 3.0676 |
| 19.5 | 3 | 10.5 | 286 | 0.0367 | 113.04 | 4.1500 |
| 22.5 | 3 | 2.9 | 149 | 0.0194 | 113.04 | 2.2001 |
| 25.5 | 3 | 9.77 | 113 | 0.0864 | 113.04 | 9.7734 |
| 28.5 | 3 | 45 | 100 | 0.4500 | 113.04 | 50.8680 |
| 31.5 | 3 | 49.6 | 408 | 0.1215 | 113.04 | 13.7421 |
| 34.5 | 3 | 48 | 495 | 0.0969 | 113.04 | 10.9614 |
| 37.5 | 3 | 62.1 | 788 | 0.0788 | 113.04 | 8.9083 |
| 40.5 | 3 | 57.2 | 667 | 0.0857 | 113.04 | 9.6939 |
| 43.5 | 3 | 94.1 | 964 | 0.0976 | 113.04 | 11.0343 |
| 13.5 | 4 | 11.3 | 113 | 0.1000 | 188.4 | 18.840 |
| 16.5 | 4 | 2.3 | 109 | 0.0211 | 188.4 | 3.9754 |
| 19.5 | 4 | 13.5 | 247 | 0.0546 | 188.4 | 10.2971 |
| 22.5 | 4 | 6.4 | 221 | 0.0289 | 188.4 | 5.4559 |
| 25.5 | 4 | 2.5 | 56 | 0.0446 | 188.4 | 8.4107 |
| 28.5 | 4 | 9.8 | 117 | 0.0837 | 188.4 | 15.7805 |
| 31.5 | 4 | 0.3 | 1.5 | 0.2000 | 188.4 | 37.6800 |
| 34.5 | 4 | 29.1 | 411 | 0.0708 | 188.4 | 13.3392 |
| 37.5 | 4 | 51.6 | 809 | 0.0637 | 188.4 | 12.0166 |
| 40.5 | 4 | 40.9 | 542 | 0.0754 | 282.6 | 21.3253 |
| 16.5 | 5 | 9.3 | 166 | 0.0560 | 282.6 | 15.8324 |
| 19.5 | 5 | 6.5 | 164 | 0.0396 | 282.6 | 11.2006 |
| 22.5 | 5 | 2.3 | 136 | 0.0169 | 282.6 | 4.7792 |
| 25.5 | 5 | 9.3 | 166 | 0.0560 | 282.6 | 15.8324 |
| 28.5 | 5 | 6.5 | 430 | 0.0151 | 282.6 | 4.2718 |
| 31.5 | 5 | 17 | 245 | 0.0693 | 282.6 | 19.6089 |
| 34.5 | 5 | 33.4 | 568 | 0.0588 | 282.6 | 16.6176 |
| 37.5 | 5 | 33.5 | 604 | 0.0554 | 282.6 | 15.6740 |
| 19.5 | 6 | 12.3 | 249 | 0.0493 | 395.64 | 19.5436 |
| 22.5 | 6 | 3.8 | 167 | 0.0227 | 395.64 | 9.0025 |
| 25.5 | 6 | 6.1 | 7.5 | 0.8133 | 395.64 | 321.7872 |
| 28.5 | 6 | 12.3 | 249 | 0.0493 | 395.64 | 19.5436 |
| 31.5 | 6 | 2.8 | 132 | 0.0212 | 395.64 | 8.3923 |
| 34.5 | 6 | 8.6 | 191 | 0.0450 | 395.64 | 17.8141 |

| | | | | | | |
|------|---|------|-----|--------|--------|---------|
| 22.5 | 7 | 12.8 | 236 | 0.0542 | 527.52 | 28.6112 |
| 25.5 | 7 | 8.3 | 286 | 0.0290 | 527.52 | 15.3091 |
| 28.5 | 7 | 5.3 | 116 | 0.0456 | 527.52 | 24.1022 |
| 31.5 | 7 | 0.3 | 33 | 0.0090 | 527.52 | 4.7956 |
| 25.5 | 8 | 4.7 | 255 | 0.0184 | 678.24 | 12.5008 |
| 28.5 | 8 | 6 | 263 | 0.0228 | 678.24 | 15.4731 |

1.2 Tabel Data Pengukuran dan Perhitungan Resistivitas Semu Pada Lokasi Sampah Baru (Pusat Pembuangan Sampah) TPA Pakusari Kabupaten Jember.

Lintasan 2

| X (m) | N | V (mV) | I (mA) | R (Ω) | $K_{W5}(m)$ | ρ (Ωm) |
|--------------|----------|---------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|--|
| 4.5 | 1 | 68 | 69 | 0.9855 | 18.84 | 18.5669 |
| 7.5 | 1 | 61.6 | 72 | 0.8555 | 18.84 | 16.1186 |
| 10.5 | 1 | 10.58 | 58 | 0.1824 | 18.84 | 3.4366 |
| 13.5 | 1 | 61.8 | 113 | 0.5469 | 18.84 | 10.3036 |
| 16.5 | 1 | 26.49 | 240 | 0.1103 | 18.84 | 2.0794 |
| 19.5 | 1 | 29.44 | 270 | 0.1090 | 18.84 | 2.0542 |
| 22.5 | 1 | 412 | 286 | 1.4405 | 18.84 | 27.1401 |
| 25.5 | 1 | 475 | 670 | 0.7089 | 18.84 | 13.3567 |
| 28.5 | 1 | 128.2 | 386 | 0.3321 | 18.84 | 6.2572 |
| 31.5 | 1 | 203 | 597 | 0.3400 | 18.84 | 6.4062 |
| 34.5 | 1 | 100 | 385 | 0.2597 | 18.84 | 4.8935 |
| 37.5 | 1 | 405 | 787 | 0.5146 | 18.84 | 9.6952 |
| 40.5 | 1 | 398 | 693 | 0.5743 | 18.84 | 10.8200 |
| 43.5 | 1 | 475 | 856 | 0.5549 | 18.84 | 10.4544 |
| 46.5 | 1 | 61.3 | 715 | 0.0857 | 18.84 | 1.6152 |
| 49.5 | 1 | 156.2 | 240 | 0.6508 | 18.84 | 12.2617 |
| 7.5 | 2 | 23 | 88 | 0.2613 | 56.52 | 14.7722 |
| 10.5 | 2 | 15.69 | 156 | 0.1005 | 56.52 | 5.6846 |
| 13.5 | 2 | 61.3 | 332 | 0.1846 | 56.52 | 10.4357 |
| 16.5 | 2 | 23.9 | 171 | 0.1397 | 56.52 | 7.8995 |
| 19.5 | 2 | 17.44 | 386 | 0.0451 | 56.52 | 2.5536 |
| 22.5 | 2 | 15.94 | 268 | 0.0594 | 56.52 | 3.3616 |
| 25.5 | 2 | 194.2 | 818 | 0.2374 | 56.52 | 13.4183 |
| 28.5 | 2 | 121.3 | 566 | 0.2143 | 56.52 | 12.1128 |
| 31.5 | 2 | 17.65 | 509 | 0.0346 | 56.52 | 1.9598 |
| 34.5 | 2 | 13.35 | 406 | 0.0328 | 56.52 | 1.8584 |
| 37.5 | 2 | 27.57 | 958 | 0.0287 | 56.52 | 1.6265 |

| | | | | | | |
|------|---|-------|------|--------|--------|---------|
| 40.5 | 2 | 302.9 | 1060 | 0.2857 | 56.52 | 16.1508 |
| 43.5 | 2 | 174.9 | 697 | 0.2509 | 56.52 | 14.1827 |
| 46.5 | 2 | 26.1 | 231 | 0.1129 | 56.52 | 6.3860 |
| 10.5 | 3 | 67.6 | 231 | 0.2926 | 113.04 | 33.0801 |
| 13.5 | 3 | 16.4 | 304 | 0.0539 | 113.04 | 6.0982 |
| 16.5 | 3 | 6.55 | 390 | 0.0167 | 113.04 | 1.8984 |
| 19.5 | 3 | 19.5 | 250 | 0.0780 | 113.04 | 8.8171 |
| 22.5 | 3 | 19.62 | 581 | 0.0337 | 113.04 | 3.8172 |
| 25.5 | 3 | 61.1 | 386 | 0.1582 | 113.04 | 17.8931 |
| 28.5 | 3 | 66.9 | 603 | 0.1109 | 113.04 | 12.5412 |
| 31.5 | 3 | 97 | 788 | 0.1230 | 113.04 | 13.9148 |
| 34.5 | 3 | 12.07 | 414 | 0.0291 | 113.04 | 3.2956 |
| 37.5 | 3 | 11.59 | 799 | 0.0145 | 113.04 | 1.6397 |
| 40.5 | 3 | 10.67 | 744 | 0.0143 | 113.04 | 1.6211 |
| 43.5 | 3 | 45.7 | 366 | 0.1248 | 113.04 | 14.1145 |
| 13.5 | 4 | 4.75 | 195 | 0.0243 | 188.4 | 4.5892 |
| 16.5 | 4 | 3.3 | 419 | 0.0078 | 188.4 | 1.4838 |
| 19.5 | 4 | 5.4 | 227 | 0.0237 | 188.4 | 4.4817 |
| 22.5 | 4 | 32.7 | 240 | 0.1362 | 188.4 | 25.6695 |
| 25.5 | 4 | 17.7 | 350 | 0.0505 | 188.4 | 9.5276 |
| 28.5 | 4 | 4.97 | 612 | 0.0081 | 188.4 | 1.5299 |
| 31.5 | 4 | 37.8 | 519 | 0.0728 | 188.4 | 13.7216 |
| 34.5 | 4 | 5.6 | 544 | 0.0102 | 188.4 | 1.9394 |
| 37.5 | 4 | 3.82 | 467 | 0.0081 | 188.4 | 1.5410 |
| 40.5 | 4 | 24.6 | 327 | 0.0752 | 188.4 | 14.1732 |
| 16.5 | 5 | 1.3 | 241 | 0.0053 | 282.6 | 1.5243 |
| 19.5 | 5 | 11.3 | 313 | 0.0361 | 282.6 | 10.2024 |
| 22.5 | 5 | 2.97 | 406 | 0.0073 | 282.6 | 2.0672 |
| 25.5 | 5 | 9 | 204 | 0.0441 | 282.6 | 12.4676 |
| 28.5 | 5 | 31.3 | 534 | 0.0586 | 282.6 | 16.5643 |
| 31.5 | 5 | 17.2 | 478 | 0.0359 | 282.6 | 10.1688 |
| 34.5 | 5 | 3.71 | 490 | 0.0075 | 282.6 | 2.1396 |
| 37.5 | 5 | 12.5 | 305 | 0.0409 | 282.6 | 11.5819 |
| 19.5 | 6 | 5.7 | 177 | 0.0322 | 395.64 | 12.7409 |
| 22.5 | 6 | 2.19 | 415 | 0.0052 | 395.64 | 2.0878 |
| 25.5 | 6 | 10.3 | 403 | 0.0255 | 395.64 | 10.1118 |
| 28.5 | 6 | 9.2 | 209 | 0.0440 | 395.64 | 17.4157 |
| 31.5 | 6 | 13.4 | 321 | 0.0417 | 395.64 | 16.5158 |
| 34.5 | 6 | 12.5 | 294 | 0.0425 | 395.64 | 16.8214 |

| | | | | | | |
|------|---|------|-----|--------|--------|---------|
| 22.5 | 7 | 7 | 184 | 0.0380 | 527.52 | 20.0687 |
| 25.5 | 7 | 10.7 | 390 | 0.0274 | 527.52 | 14.4729 |
| 28.5 | 7 | 8.2 | 376 | 0.0218 | 527.52 | 11.5044 |
| 31.5 | 7 | 3.3 | 147 | 0.0224 | 527.52 | 11.8422 |
| 25.5 | 8 | 9.4 | 289 | 0.0325 | 678.24 | 22.0604 |
| 28.5 | 8 | 4.4 | 252 | 0.0174 | 678.24 | 11.8422 |

1.3 Tabel Data Pengukuran dan Perhitungan Resistivitas Semu Pada Lokasi Sampah Yang Sudah Mengalami Pembusukan di TPA Pakusari Kabupaten Jember. Lintasan 1

| X (m) | N | V (mV) | I (mA) | R (Ω) | $K_{ws}(m)$ | ρ (Ωm) |
|-------|---|--------|--------|----------------|-------------|-----------------------|
| 4.5 | 1 | 104.2 | 300 | 0.3473 | 18.84 | 6.5437 |
| 7.5 | 1 | 31.1 | 116 | 0.2681 | 18.84 | 5.0510 |
| 10.5 | 1 | 142.6 | 405 | 0.3520 | 18.84 | 6.6335 |
| 13.5 | 1 | 5.5 | 17 | 0.3235 | 18.84 | 6.0952 |
| 16.5 | 1 | 203.2 | 506 | 0.4015 | 18.84 | 7.5657 |
| 19.5 | 1 | 9.1 | 212 | 0.0429 | 18.84 | 0.8086 |
| 22.5 | 1 | 17.6 | 23 | 0.7652 | 18.84 | 14.4167 |
| 25.5 | 1 | 204.2 | 61 | 3.3475 | 18.84 | 63.0676 |
| 28.5 | 1 | 204.2 | 721 | 0.2832 | 18.84 | 5.3358 |
| 31.5 | 1 | 163.1 | 570 | 0.2861 | 18.84 | 5.3908 |
| 34.5 | 1 | 93.7 | 342 | 0.2739 | 18.84 | 5.1617 |
| 37.5 | 1 | 186.6 | 544 | 0.3430 | 18.84 | 6.4623 |
| 7.5 | 2 | 8.6 | 82 | 0.1048 | 56.52 | 5.9277 |
| 10.5 | 2 | 61.3 | 446 | 0.1374 | 56.52 | 7.7683 |
| 13.5 | 2 | 78.2 | 612 | 0.1277 | 56.52 | 7.2222 |
| 16.5 | 2 | 13.4 | 89 | 0.1505 | 56.52 | 8.5097 |
| 19.5 | 2 | 105.7 | 945 | 0.1118 | 56.52 | 6.3218 |
| 22.5 | 2 | 2.9 | 33 | 0.0878 | 56.52 | 4.9669 |
| 25.5 | 2 | 96 | 764 | 0.1256 | 56.52 | 7.1019 |
| 28.5 | 2 | 93.6 | 792 | 0.1181 | 56.52 | 6.6796 |
| 31.5 | 2 | 45.3 | 415 | 0.1091 | 56.52 | 6.1695 |
| 33 | 2 | 15.2 | 136 | 0.1117 | 56.52 | 6.3169 |
| 10.5 | 3 | 9.1 | 91 | 0.1000 | 113.04 | 11.304 |
| 13.5 | 3 | 3.8 | 84 | 0.0452 | 113.04 | 5.1137 |
| 16.5 | 3 | 20.6 | 301 | 0.0684 | 113.04 | 7.7362 |

| | | | | | | |
|------|---|------|-----|--------|--------|---------|
| 19.5 | 3 | 3.7 | 51 | 0.0725 | 113.04 | 8.2009 |
| 22.5 | 3 | 77.3 | 662 | 0.1167 | 113.04 | 13.1993 |
| 25.5 | 3 | 23.9 | 298 | 0.0802 | 113.04 | 9.0659 |
| 28.5 | 3 | 59.4 | 810 | 0.0733 | 113.04 | 8.2896 |
| 31.5 | 3 | 22.9 | 413 | 0.0554 | 113.04 | 6.2678 |
| 13.5 | 4 | 3.9 | 90 | 0.0433 | 188.4 | 8.164 |
| 16.5 | 4 | 1.5 | 34 | 0.0441 | 188.4 | 8.3117 |
| 19.5 | 4 | 1.7 | 73 | 0.0232 | 188.4 | 4.3873 |
| 22.5 | 4 | 5.1 | 38 | 0.1342 | 188.4 | 25.2852 |
| 25.5 | 4 | 41 | 816 | 0.0502 | 188.4 | 9.4661 |
| 28.5 | 4 | 6.2 | 72 | 0.0861 | 188.4 | 16.2233 |
| 16.5 | 5 | 6 | 269 | 0.0223 | 188.4 | 4.2022 |
| 19.5 | 5 | 4.9 | 42 | 0.1166 | 282.6 | 32.97 |
| 22.5 | 5 | 35.1 | 737 | 0.0476 | 282.6 | 13.4589 |
| 25.5 | 5 | 16.1 | 310 | 0.0519 | 282.6 | 14.6769 |

1.4 Tabel Data Pengukuran dan Perhitungan Resistivitas Semu Pada Lokasi Sampah Yang Sudah Mengalami Pembusukan di TPA Pakusari Kabupaten Jember. Lintasan 2

| X (m) | N | V (mV) | I (mA) | R (Ω) | $K_{ws}(m)$ | ρ (Ωm) |
|-------|---|--------|--------|----------------|-------------|-----------------------|
| 4.5 | 1 | 204.2 | 600 | 0.3403 | 18.84 | 6.4118 |
| 7.5 | 1 | 61.1 | 116 | 0.5267 | 18.84 | 9.9234 |
| 10.5 | 1 | 142.6 | 405 | 0.3520 | 18.84 | 6.6335 |
| 13.5 | 1 | 5.5 | 17 | 0.3235 | 18.84 | 6.0952 |
| 16.5 | 1 | 203.2 | 506 | 0.4015 | 18.84 | 7.5657 |
| 19.5 | 1 | 9.1 | 212 | 0.0429 | 18.84 | 0.8086 |
| 22.5 | 1 | 29.44 | 23 | 1.2800 | 18.84 | 24.1152 |
| 25.5 | 1 | 312 | 650 | 0.4800 | 18.84 | 9.0432 |
| 28.5 | 1 | 457 | 721 | 0.6338 | 18.84 | 11.9415 |
| 31.5 | 1 | 182 | 570 | 0.3192 | 18.84 | 6.0155 |
| 34.5 | 1 | 219 | 342 | 0.6403 | 18.84 | 12.0642 |
| 37.5 | 1 | 134 | 544 | 0.2463 | 18.84 | 4.6407 |
| 7.5 | 2 | 4.5 | 820 | 0.0054 | 56.52 | 0.3101 |
| 10.5 | 2 | 65.8 | 678 | 0.0970 | 56.52 | 5.4852 |
| 13.5 | 2 | 45.6 | 612 | 0.0745 | 56.52 | 4.2112 |
| 16.5 | 2 | 61.3 | 890 | 0.0688 | 56.52 | 3.8928 |

| | | | | | | |
|------|---|-------|-----|---------|--------|----------|
| 19.5 | 2 | 23.4 | 945 | 0.0247 | 56.52 | 1.3995 |
| 22.5 | 2 | 23 | 467 | 0.0492 | 56.52 | 2.7836 |
| 25.5 | 2 | 15.69 | 764 | 0.0205 | 56.52 | 1.1607 |
| 28.5 | 2 | 61.3 | 792 | 0.0773 | 56.52 | 4.3745 |
| 31.5 | 2 | 23.9 | 415 | 0.0575 | 56.52 | 3.2550 |
| 33 | 2 | 15.2 | 136 | 0.1117 | 56.52 | 6.3169 |
| 10.5 | 3 | 192 | 91 | 2.1098 | 113.04 | 238.5019 |
| 13.5 | 3 | 16.5 | 84 | 0.1964 | 113.04 | 22.2042 |
| 16.5 | 3 | 108.3 | 560 | 0.1933 | 113.04 | 21.8611 |
| 19.5 | 3 | 55.9 | 789 | 0.0708 | 113.04 | 8.0087 |
| 22.5 | 3 | 84.6 | 662 | 0.1277 | 113.04 | 14.4458 |
| 25.5 | 3 | 55.9 | 298 | 0.1875 | 113.04 | 21.2044 |
| 28.5 | 3 | 82.9 | 810 | 0.1023 | 113.04 | 11.5691 |
| 31.5 | 3 | 72 | 413 | 0.1743 | 113.04 | 19.7067 |
| 13.5 | 4 | 86.4 | 432 | 0.2000 | 188.4 | 37.68 |
| 16.5 | 4 | 59.2 | 657 | 0.0901 | 188.4 | 16.9760 |
| 19.5 | 4 | 89.4 | 730 | 0.1224 | 188.4 | 23.0725 |
| 22.5 | 4 | 25.8 | 345 | 0.0747 | 188.4 | 14.0890 |
| 25.5 | 4 | 19.5 | 816 | 0.0238 | 188.4 | 4.5022 |
| 28.5 | 4 | 7.49 | 72 | 0.1040 | 188.4 | 19.5988 |
| 16.5 | 5 | 10.5 | 269 | 0.0393 | 282.6 | 11.0308 |
| 19.5 | 5 | 2.9 | 42 | 0.0690 | 282.6 | 19.5128 |
| 22.5 | 5 | 9.77 | 737 | 0.01325 | 282.6 | 3.7462 |
| 25.5 | 5 | 21.6 | 340 | 0.0635 | 282.6 | 17.9534 |

1.5 Tabel Data Pengukuran dan Perhitungan Resistivitas Semu Pada Lokasi Sampah Yang Sudah Mengalami Pembusukan di TPA Pakusari Kabupaten Jember. Lintasan 3

| X (m) | N | V (mV) | I (mA) | R (Ω) | K_{ws}(m) | ρ (Ωm) |
|--------------|----------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------------------|---|
| 4.5 | 1 | 25.9 | 79 | 0.3278 | 18.84 | 6.1766 |
| 7.5 | 1 | 105.8 | 309 | 0.3423 | 18.84 | 6.4507 |
| 10.5 | 1 | 76.7 | 302 | 0.2539 | 18.84 | 4.7848 |
| 13.5 | 1 | 8.7 | 21 | 0.4142 | 18.84 | 7.8051 |
| 16.5 | 1 | 17.9 | 62 | 0.2887 | 18.84 | 5.4392 |
| 19.5 | 1 | 107.8 | 388 | 0.2778 | 18.84 | 5.2344 |

| | | | | | | |
|------|---|-------|------|--------|--------|----------|
| 22.5 | 1 | 9.3 | 33 | 0.2818 | 18.84 | 5.3094 |
| 25.5 | 1 | 20.4 | 57 | 0.3578 | 18.84 | 6.7427 |
| 28.5 | 1 | 202.9 | 668 | 0.3037 | 18.84 | 5.7225 |
| 31.5 | 1 | 223.3 | 703 | 0.3176 | 18.84 | 5.9843 |
| 34.5 | 1 | 73.6 | 324 | 0.2271 | 18.84 | 4.2797 |
| 37.5 | 1 | 123.6 | 383 | 0.3227 | 18.84 | 6.0799 |
| 7.5 | 2 | 8.6 | 82 | 0.1048 | 56.52 | 5.9277 |
| 10.5 | 2 | 61.4 | 466 | 0.1317 | 56.52 | 7.4470 |
| 13.5 | 2 | 11.4 | 89 | 0.1280 | 56.52 | 7.2396 |
| 16.5 | 2 | 106.7 | 945 | 0.1129 | 56.52 | 6.3816 |
| 19.5 | 2 | 11.8 | 82 | 0.1439 | 56.52 | 8.1333 |
| 22.5 | 2 | 124 | 72 | 1.7222 | 56.52 | 97.340 |
| 25.5 | 2 | 8.6 | 1.2 | 7.1666 | 56.52 | 405.06 |
| 28.5 | 2 | 4.7 | 6.2 | 0.7580 | 56.52 | 42.8458 |
| 31.5 | 2 | 32.5 | 374 | 0.0868 | 56.52 | 4.9114 |
| 33 | 2 | 511 | 204 | 2.5049 | 56.52 | 141.5771 |
| 10.5 | 3 | 0.16 | 4.5 | 0.0355 | 113.04 | 4.0192 |
| 13.5 | 3 | 0.7 | 462 | 0.0015 | 113.04 | 0.1712 |
| 16.5 | 3 | 2.5 | 311 | 0.0080 | 113.04 | 0.9086 |
| 19.5 | 3 | 0.34 | 4.6 | 0.0739 | 113.04 | 8.3551 |
| 22.5 | 3 | 0.27 | 4 | 0.0675 | 113.04 | 7.6302 |
| 25.5 | 3 | 0.7 | 12 | 0.0583 | 113.04 | 6.5940 |
| 28.5 | 3 | 0.31 | 4.9 | 0.0632 | 113.04 | 7.1515 |
| 31.5 | 3 | 0.4 | 0.2 | 2.0000 | 113.04 | 226.08 |
| 13.5 | 4 | 0.4 | 0.2 | 2.0000 | 188.4 | 376.80 |
| 16.5 | 4 | 0.4 | 19 | 0.0210 | 188.4 | 3.9663 |
| 19.5 | 4 | 0.6 | 405 | 0.0014 | 188.4 | 0.2791 |
| 22.5 | 4 | 0.3 | 412 | 0.0007 | 188.4 | 0.1371 |
| 25.5 | 4 | 0.7 | 0.15 | 4.6666 | 188.4 | 879.20 |
| 28.5 | 4 | 0.15 | 0.5 | 0.3000 | 188.4 | 56.520 |
| 16.5 | 5 | 0.12 | 0.5 | 0.2400 | 282.6 | 67.824 |
| 19.5 | 5 | 0.6 | 0.24 | 2.5000 | 282.6 | 706.50 |
| 22.5 | 5 | 0.4 | 528 | 0.0007 | 282.6 | 0.2140 |
| 25.5 | 5 | 3.8 | 282 | 0.0134 | 282.6 | 3.8080 |

1.6 Tabel Data Pengukuran dan Perhitungan Resistivitas Semu Pada Lokasi Sampah Yang Sudah Tidak Digunakan Lagi di TPA Pakusari Kabupaten Jember

| X (m) | N | V (mV) | I (mA) | R (Ω) | K_{w,s}(m) | ρ (Ωm) |
|--------------|----------|---------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| 4.5 | 1 | 108 | 82.9 | 1.3027 | 18.84 | 24.5442 |
| 7.5 | 1 | 107 | 84 | 1.2738 | 18.84 | 23.9985 |
| 10.5 | 1 | 106.5 | 95.6 | 1.1140 | 18.84 | 20.9880 |
| 13.5 | 1 | 105.5 | 129 | 0.8178 | 18.84 | 15.4079 |
| 16.5 | 1 | 102 | 125.2 | 0.8146 | 18.84 | 15.3488 |
| 19.5 | 1 | 104 | 104 | 1,0000 | 18.84 | 18.8400 |
| 22.5 | 1 | 0.03 | 0.11 | 0.2727 | 18.84 | 5.1381 |
| 25.5 | 1 | 0.4 | 0.5 | 0.8000 | 18.84 | 15.072 |
| 28.5 | 1 | 0.349 | 1.35 | 0.2585 | 18.84 | 4.8704 |
| 31.5 | 1 | 0.412 | 143 | 0.0028 | 18.84 | 0.0542 |
| 34.5 | 1 | 0.416 | 0.61 | 0.6819 | 18.84 | 12.8482 |
| 37.5 | 1 | 0.412 | 130 | 0.0031 | 18.84 | 0.0597 |
| 40.5 | 1 | 0.382 | 123 | 0.0031 | 18.84 | 0.0585 |
| 43.5 | 1 | 0.56 | 0.92 | 0.6086 | 18.84 | 11.4678 |
| 46.5 | 1 | 540 | 1200 | 0.4500 | 18.84 | 8.4780 |
| 49.5 | 1 | 1.08 | 310 | 0.0034 | 18.84 | 0.0656 |
| 52.5 | 1 | 0.82 | 41 | 0.0200 | 18.84 | 0.3768 |
| 55.5 | 1 | 1.2 | 130 | 0.0092 | 18.84 | 0.1739 |
| 7.5 | 2 | 0.4 | 0.9 | 0.4444 | 56.52 | 25.120 |
| 10.5 | 2 | 0.14 | 0.9 | 0.1555 | 56.52 | 8.7920 |
| 13.5 | 2 | 0.2 | 17 | 0.0117 | 56.52 | 0.6649 |
| 16.5 | 2 | 0.2 | 21 | 0.0095 | 56.52 | 0.5382 |
| 19.5 | 2 | 2.9 | 27 | 0.1074 | 56.52 | 6.0706 |
| 22.5 | 2 | 0.4 | 420 | 0.0009 | 56.52 | 0.0538 |
| 25.5 | 2 | 0.1 | 100 | 0.0010 | 56.52 | 0.0565 |
| 28.5 | 2 | 3.9 | 320 | 0.0121 | 56.52 | 0.6888 |
| 31.5 | 2 | 10.5 | 79 | 0.1329 | 56.52 | 7.5121 |
| 34.5 | 2 | 2.21 | 21 | 0.1052 | 56.52 | 5.9480 |
| 37.5 | 2 | 2.23 | 22 | 0.1013 | 56.52 | 5.7290 |
| 40.5 | 2 | 0.2 | 1.8 | 0.1111 | 56.52 | 6.2800 |
| 43.5 | 2 | 6.6 | 66 | 0.1000 | 56.52 | 5.6520 |
| 46.5 | 2 | 0.8 | 30 | 0.0266 | 56.52 | 1.5072 |
| 49.5 | 2 | 1.2 | 100 | 0.0120 | 56.52 | 0.6782 |
| 52.5 | 2 | 6.1 | 610 | 0.0100 | 56.52 | 0.5652 |
| 10.5 | 3 | 2.1 | 0.1 | 21,000 | 113.04 | 2373.84 |
| 13.5 | 3 | 0.7 | 240 | 0.0029 | 113.04 | 0.3297 |
| 16.5 | 3 | 0.5 | 14 | 0.0357 | 113.04 | 4.0371 |
| 19.5 | 3 | 0.3 | 23 | 0.0130 | 113.04 | 1.4744 |
| 22.5 | 3 | 0.6 | 62 | 0.0096 | 113.04 | 1.0939 |
| 25.5 | 3 | 2 | 15 | 0.1333 | 113.04 | 15.072 |
| 28.5 | 3 | 0.5 | 80 | 0.0062 | 113.04 | 0.7065 |
| 31.5 | 3 | 0.6 | 68 | 0.0088 | 113.04 | 0.9974 |

| | | | | | | |
|------|---|------|------|--------|--------|---------|
| 34.5 | 3 | 0.7 | 27 | 0.0259 | 113.04 | 2.9306 |
| 37.5 | 3 | 1.23 | 610 | 0.0020 | 113.04 | 0.2279 |
| 40.5 | 3 | 1.4 | 200 | 0.0071 | 113.04 | 0.7912 |
| 43.5 | 3 | 25.2 | 2000 | 0.0126 | 113.04 | 1.4243 |
| 46.5 | 3 | 0.4 | 350 | 0.0011 | 113.04 | 0.1291 |
| 49.5 | 3 | 1 | 80 | 0.0125 | 113.04 | 1.4130 |
| 13.5 | 4 | 0.4 | 120 | 0.0033 | 188.4 | 0.6280 |
| 16.5 | 4 | 0.2 | 130 | 0.0015 | 188.4 | 0.2898 |
| 19.5 | 4 | 0.7 | 20 | 0.0350 | 188.4 | 6.5940 |
| 22.5 | 4 | 0.5 | 680 | 0.0007 | 188.4 | 0.1385 |
| 25.5 | 4 | 0.4 | 190 | 0.0021 | 188.4 | 0.3966 |
| 28.5 | 4 | 0.2 | 330 | 0.0006 | 188.4 | 0.1141 |
| 31.5 | 4 | 0.5 | 700 | 0.0007 | 188.4 | 0.1345 |
| 34.5 | 4 | 0.4 | 310 | 0.0012 | 188.4 | 0.2430 |
| 37.5 | 4 | 0.2 | 320 | 0.0006 | 188.4 | 0.1177 |
| 40.5 | 4 | 0.7 | 800 | 0.0008 | 188.4 | 0.1648 |
| 43.5 | 4 | 0.4 | 80 | 0.0050 | 188.4 | 0.9420 |
| 46.5 | 4 | 0.7 | 140 | 0.0050 | 188.4 | 0.9420 |
| 16.5 | 5 | 0.21 | 20 | 0.0105 | 282.6 | 2.9673 |
| 19.5 | 5 | 0.18 | 30 | 0.0060 | 282.6 | 1.6956 |
| 22.5 | 5 | 0.17 | 130 | 0.0013 | 282.6 | 0.3695 |
| 25.5 | 5 | 0.5 | 21 | 0.0238 | 282.6 | 6.7285 |
| 28.5 | 5 | 0.4 | 22 | 0.0181 | 282.6 | 5.1381 |
| 31.5 | 5 | 0.2 | 16.5 | 0.0121 | 282.6 | 3.4254 |
| 34.5 | 5 | 0.7 | 18.2 | 0.0384 | 282.6 | 10.8692 |
| 37.5 | 5 | 0.4 | 21.5 | 0.0186 | 282.6 | 5.2576 |
| 40.5 | 5 | 0.7 | 200 | 0.0035 | 282.6 | 0.9891 |
| 43.5 | 5 | 0.16 | 200 | 0.0008 | 282.6 | 0.2260 |
| 19.5 | 6 | 0.24 | 250 | 0.0009 | 395.64 | 0.3798 |
| 22.5 | 6 | 0.25 | 700 | 0.0003 | 395.64 | 0.1413 |
| 25.5 | 6 | 0.34 | 110 | 0.0030 | 395.64 | 1.2228 |
| 28.5 | 6 | 0.5 | 510 | 0.0009 | 395.64 | 0.3878 |
| 31.5 | 6 | 0.1 | 170 | 0.0005 | 395.64 | 0.2327 |
| 34.5 | 6 | 0.64 | 100 | 0.0064 | 395.64 | 2.5320 |
| 37.5 | 6 | 0.12 | 240 | 0.0005 | 395.64 | 0.1978 |
| 40.5 | 6 | 0.1 | 300 | 0.0003 | 395.64 | 0.1318 |
| 22.5 | 7 | 0.23 | 110 | 0.0020 | 527.52 | 1.1029 |
| 25.5 | 7 | 0.21 | 210 | 0.0010 | 527.52 | 0.5275 |
| 28.5 | 7 | 0.23 | 230 | 0.0010 | 527.52 | 0.5272 |
| 31.5 | 7 | 0.48 | 550 | 0.0008 | 527.52 | 0.4603 |
| 34.5 | 7 | 0.22 | 900 | 0.0002 | 527.52 | 0.1289 |
| 37.5 | 7 | 1 | 700 | 0.0014 | 527.52 | 0.7536 |
| 25.5 | 8 | 0.6 | 310 | 0.0019 | 678.24 | 1.3127 |
| 28.5 | 8 | 0.21 | 320 | 0.0006 | 678.24 | 0.4450 |
| 31.5 | 8 | 0.27 | 800 | 0.0003 | 678.24 | 0.2289 |
| 34.5 | 8 | 0.2 | 80 | 0.0025 | 678.24 | 1.6956 |

| | | | | | | |
|------|---|-----|-----|--------|-------|--------|
| 28.5 | 9 | 0.2 | 140 | 0.0014 | 847.8 | 1.2111 |
| 31.5 | 9 | 0.5 | 110 | 0.0045 | 847.8 | 3.8536 |

Keterangan:

X : Titik datum point (m)

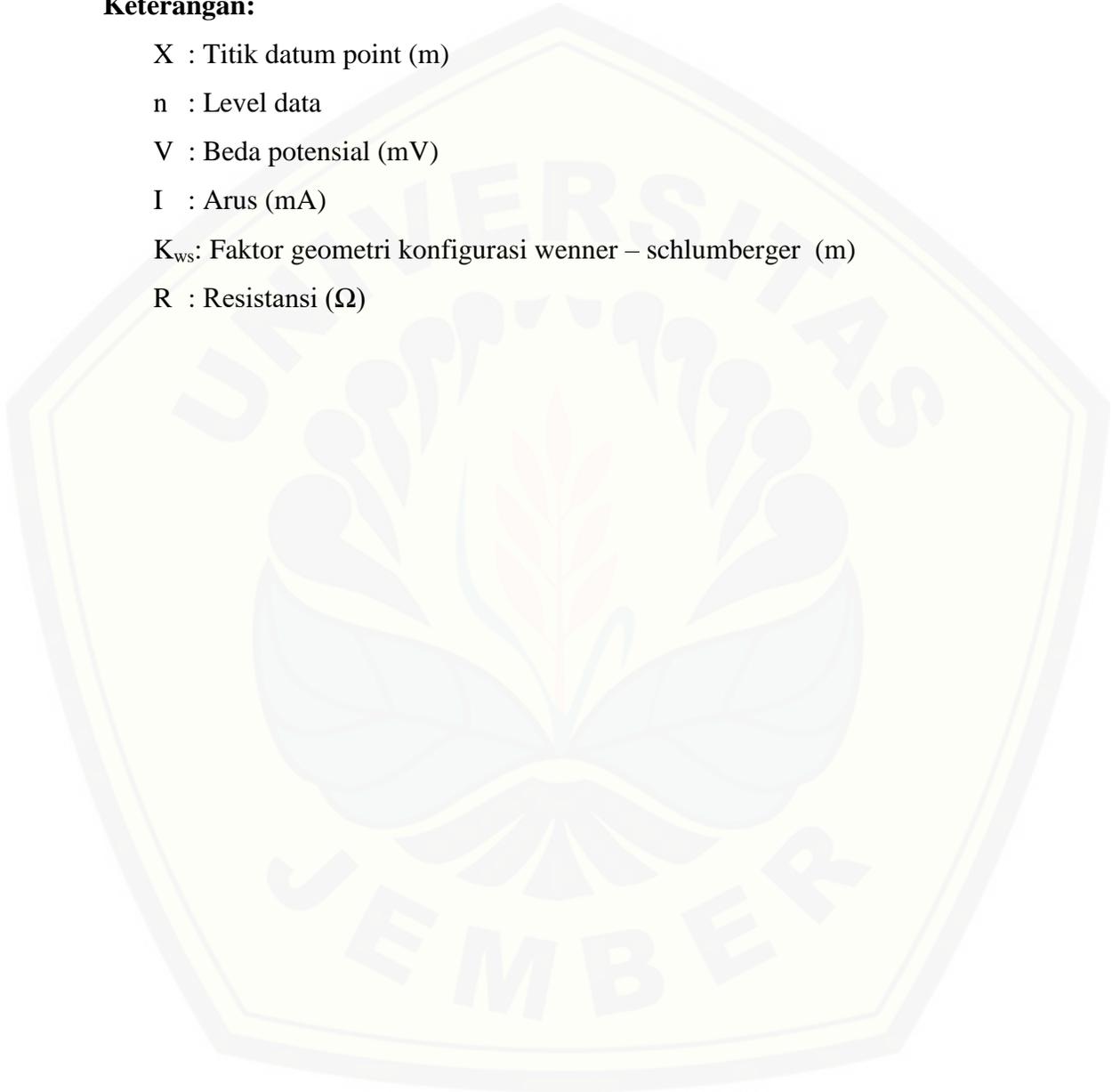
n : Level data

V : Beda potensial (mV)

I : Arus (mA)

K_{ws} : Faktor geometri konfigurasi wenner – schlumberger (m)

R : Resistansi (Ω)



Lampiran 2 . Kondisi Di Lokasi Penelitian



Gambar 2.1 Kolam penampungan lindi di lokasi 2



Gambar 2.2. Pipa saluran lindi dan bukti keberadaan rembesan air lindi



Gambar 2.3. Pipa saluran gas metana di TPA Pakusari



Gambar 2.4. Lokasi pembagi gas metana di TPA Pakusari

Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan



Gambar 3.1. Pengambilan Data di TPA Pakusari Jember

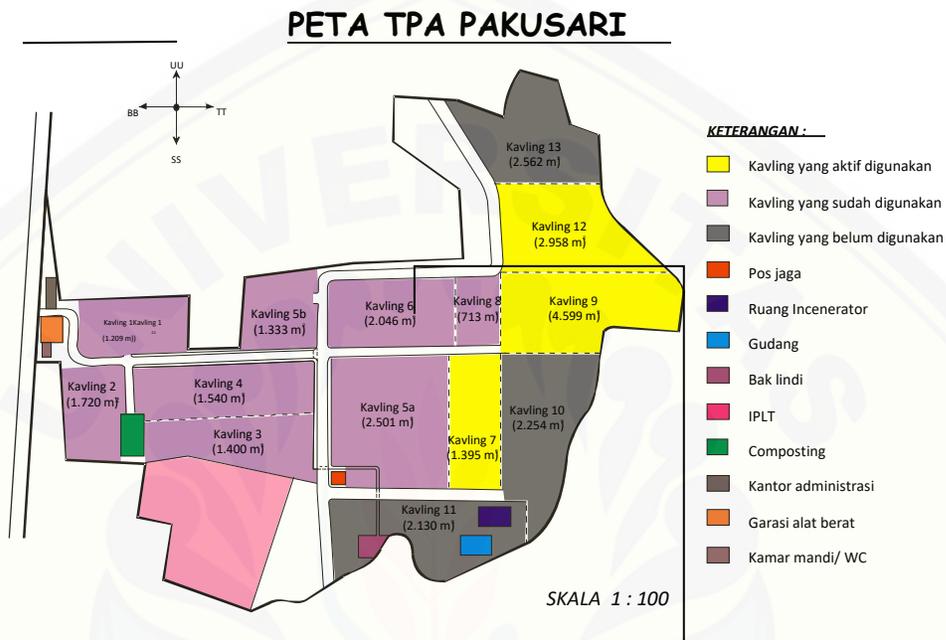


Gambar 3.2. Operator



Gambar 3.3. Dokumentasi setelah pengambilan data selesai

Lampiran 4. Peta TPA Pakusari Jember



Gambar 4.1 . Peta Lokasi TPA Pakusari

