PENGARUH REMBESAN *LEACHATE*BERDASARKAN GEOLISTRIK RESISTIVITAS TERHADAP KUALITAS AIR TANAH DI SEKITAR TPA BULUSAN BANYUWANGI

THE EFFECT OF LEACHATE SEEPAGE BASED ON GEOELECTRIC RESISTIVITY TO THE QUALITY OF GROUND WATER IN BULUSAN LANDFILL AREA OF BANYUWANGI

Zulis Erwanto[1*],Akhmad Afandi[2], Nungki Rigen P.[3], dan M. Danu Tirto[4]

[1,2]Dosen Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember Km. 13, Labanasem, Kabat, Banyuwangi.
[3,4]Mahasiswa D-III Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember Km. 13, Labanasem, Kabat, Banyuwangi.

e-mail : zulis.erwanto@poliwangi.ac.id

Diterima 14-08-2017	Diperbaiki 14-09-2017	Disetujui 21-09-2017

ABSTRAK

Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan baik dari hewan, manusia dan tumbuhan yang dibuang ke alam dalam bentuk padatan, cairan maupun gas. TPA Bulusan merupakan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah di Kabupaten Banyuwangi *yang* memiliki luas lahan 1,5 Hektar dan dapat menampung sampah ±125-130 m^3/hari. Penanganan sampah di TPA Bulusan menggunakan sistem *controlled landfill*, biasanya terdapat rembesan *leachate* yang dapat meresap ke dalam tanah.Untuk mendeteksi rembesan *leachate* dengan geolistrik resistivitas, dimana nilai resistivitas air bersih (*fresh*) 10-100 Ωm, sedangkan nilai resistivitas air tanah yang terkandung air lindi (*leachate*) berkisar dibawah 10 Ωm. Metode yang digunakan adalah Konfigurasi *Wenner (Lateral Mapping)* dan Konfigurasi *Schlumberger (Vertical Sonding)*.Analisis kualitas air tanah menggunakan metode STORET, Indeks Pencemaran (PI) dan Indeks Kualitas Air (IKA).Letak akumulasi lindi hasil interpretasi Konfigurasi *Wenner (Mapping)* menyebar pada kedalaman dari 2,50 – 24,9 meter pada lapisan pasir *tuffaan* dan pasir *tuffaan* sedikit gravel dengan nilai resistivitas 6,0 – 29,1 Ωm. Pada metode Konfigurasi *Schlumberger (sonding)*, letak akumulasi leachate terdapat pada kedalaman 57,5 – 69,2 meter yang diduga terjadinya intrusi air laut dan diindikasi terdapatnya leachate dengan nilai resistivitas 0,0273 Ωm. Berdasarkan metode STORET, PI dan IKA pada radius 50, 100, dan 250 m dari lokasi TPA terindikasi tercemar ringan. Sedangkan untuk sample S3 radius 150 m dan S4 radius 200 m dari lokasi TPA kearah timur laut diindikasikan air tanah telah terkontaminasi oleh rembesan leachate dengan predikat Cemar Sedang sampai Buruk. Perlu adanya pengolahan air tanah menjadi air bersih sebagai bentuk penanggulangan pencemaran leachate terhadap air tanah.

Kata kunci :geolistrik resistivitas, kualitas air, leachate, TPA, wenner-schlumberger.

ABSTRACT

*Garbage is the unwanted leftover material from both animal, human and plantation which is dumped into nature in form of solid, liquid or gas. Bulusan*landfill*is the final processing garbage in Banyuwangi Regency which has 1.5 hectares of wide and can accommodate garbage ± 125-130 m^3/days. Garage handling process in Bulusan landfill uses controlled landfill system. Usually there is seepage leachate that can seep into the ground.To detect leachate seepage with the geoelectric resistivity, with the resistivity value of pure water (fresh) 10-100 Ωm, while the groundwater resistivity value that contamined of leachate organized under 10 Ωm. The method used was the configuration of Wenner (Lateral Mapping) and Schlumberger (Vertical Sonding). The ground water quality analysis used STORET, Pollution Index (PI) and Water Quality Index (WQI) method.The leachate accumulated location as interpretation of Wenner (Mapping) was spread over a depth of 2.50 – 24.9 meters in tuffon sand layerand tuffoan sand was a bitgravel by resistivity 6.0 – 29.1 Ωm. Related to Schlumberger configuration method (sonding),*

theleachateaccumulation located within 57.5 – 69.2 metres of depth. It was estimated where sea water intrusion occurs and indicated the presence of leachate with resistivity value 0.0273 Ωm. According to STORET, PI and WQI method on radius 50, 100, and 250 m from landfill location was indicated low contamination. While, for S3 radius 150 m sample and S4 radius 200 m sample from landfill location to northeast direction was indicated that the ground water was contaminated by leachate seepage with moderate to bed predicate. In conclusion it needs a ground water processing into clean water as a form of prevention of ground water contamination by leachate.

Keywords *:GeoelectricResistivity, Water Quality, Landfill, Leachate, Wenner-Schlumberger*

PENDAHULUAN

Sampah memiliki berbagai dampak pada masyarakat seperti pencemaran lingkungan dan kesehatan. Pencemaran dapat terjadi di udara sebagai akibat dekomposisi sampah, dapat pula mencemari air dan tanah yang disebabkan oleh adanya rembesan *leachate* (air lindi). Tumpukan sampah dapat menimbulkan kondisi lingkungan fisik dan kimia menjadi tidak sesuai dengan kondisi normal. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan suhu dan perubahan pH tanah maupun air yang menjadi terlalu asam atau basa.

TPA Bulusan merupakan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah di Kabupaten Banyuwangi yang memiliki luas lahan 1,5 Hektar dan dapat menampung sampah ±125-130 m^3/hari. TPA Bulusan menerima kiriman sampah 600 ton per hari dari 13 kecamatan diantaranya yaitu adalah Kecamatan Banyuwangi, Rogojampi, Kabat, Singojuruh, Srono, Cluring, Muncar, Glagah, Giri, Genteng, Wongsorejo, Kalipuro, dan Kecamatan Licin (Radar Banyuwangi, 21 Februari 2015)[6].

Menurut Loke dan Barker [3], resistivitas air bersih (*fresh*) adalah antara 10-100 Ωm. Berdasarkan sifat inilah bisa dilakukan penelitian untuk mengetahui letak akumulasi rembesan (*leachate*) di sekitar TPA dengan memanfaatkan perbedaan nilai resistivitas yang bekisar dibawah 10 Ωm dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas (Datunsolang, dkk. 2015)[1]. Selain itu untuk mengetahui dampak pencemarannya diperlukan uji dan analisis kualitas air tanah di sekitar TPA Bulusan Banyuwangi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rembesan *leachate* berdasarkan geolistrik resistivitas terhadap kualitas air tanah di sekitar TPA Bulusan Banyuwangi.

DASAR TEORI

Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi (Wuryantoro, 2007)[9]. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah ataupun akibat injeksi arus kedalam bumi. Dengan tujuan untuk memperkirakan sifat kelistrikan medium atau formasi batuan bawah permukaan terutama kemampuannya untuk menghantarkan atau menghambat arus listrik.

Resistivitas Batuan

Variasi nilai hambatan jenis untuk beberapa material bawah permukaan yang digunakan dalam penelitian menurut Telford dkk [8] dalam ohm meter ditunjukkan padaTabel 1 berikut ini :

Tabel1. Resistivitas Material-MaterialBumi

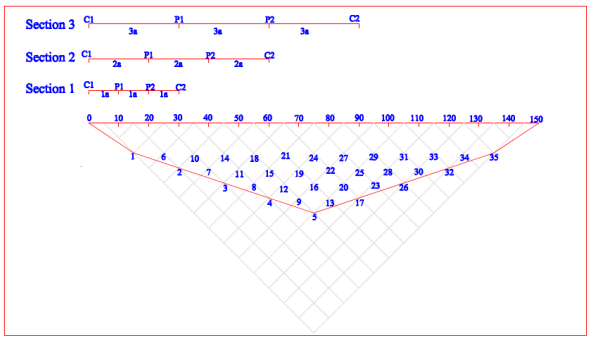
Material resistivitas	(Ohm meter)	Material resistivitas	(Ohm meter)
Pyrite (Pirit)	0,01-100	*Shales* (Serpih)	20-2.000
Quartz (Kwarsa)	500-800.000	*Sand* (Pasir)	1-1.000
Calcite (Kalsit)	$1x10^{12}$-$1x10^{13}$	*Clay* (Lempung)	1-100
Rock salt (Garam batu)	30-$1x10^{13}$	*Groundwater* (Airtanah)	0,5-300
Granite (Granit)	200-100.000	*Sea water* (Air asin)	0,2
Andesite (Andesit)	$1,7x10^{2}$-$45x10^{4}$	*Magnetite* (Magnetit)	0,01-1.000
Basalt (Basal)	200-100.000	*Drygravel* (Kerikil kering)	600-10.000
Limestones (Gampimg)	500-10.000	*Alluvium* (Aluvium)	10-80
Sandstones (Batupasir)	200-8.000	*Gravel* (Kerikil)	100-600
Breksi	75-200	*Silt* (Lanau)	10-200
Marls (Batulumpur)	3-70	Tufa Vulkanik	20-100
Konglomerat	$2x10^{3}$-10^{4}	Lava	100-$500x10^{4}$
Topsoil	50-100	*Graphitic schist*	10-500
Loose sand	500-5000	*Slates* (Batu tulis)	500-500.000
Gravel (Kerikil)	100-600	*Quartzite* (Kwarsit)	500-800.000
Clay (Lempung)	1-100	*Pyrite* (Pirit)	0,01-100
Weathered bedrock	100-1000	*Pyrrhotite*	0,001-0,01
Sandstone (Batupasir)	200-8.000	*Chalcopyrite*	0,005-0,1
Limestone (Gamping)	500-10.000	Galena	0,001-100
Greenstone	500-200.000	*Sphalerite*	1000-1.000.000
Gabbro	100-500.000	Magnetit	0,01-1.000
Granite (Granit)	200-100.000	*Cassiterite*	0,001-10.000
Basalt (Basal)	200-100.000	Hematit	0,01-1.000.000

Akuisisi Data Geolistrik

a) Akuisisi Metode *Resistivity Mapping (Wenner)*

Metode ini merupakan metode resistivity yang bertujuan untuk mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horizontal. Oleh karena itu, pada metode ini digunakan konfigurasi elektroda yang sama untuk semua titik pengamatan di permukaan bumi [7]. Teknik

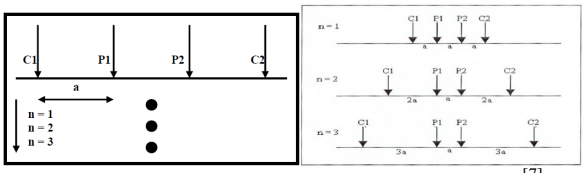
akusisi metode wenner dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1.Teknik AkuisisiMetodeWenner

b) Metode*Resistivity Sonding (Schlumberger)*

Metode ini bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan dibawah permukaan secara vertikal. Pada metode ini, pengukuran pada suatu titik sonding dilakukan dengan jalan mengubah-ubah jarak elektroda. Pengubahan ini tidak dilakukan secara sembarang tetapi mulai jarak elektroda terkecil kemudian membesar secara gradual. *Vertical Sonding* atau dikenal dengan *Vertical Electrical Sonding* (VES) merupakan cara akuisisi geolistrik untuk mengetahui distribusi harga resistivitas pada suatu titik target sonding (satu arah) vertikal di bawah permukaan bumi. Cara ini sering dinamakan Sonding 1 Dimensi, sebab resolusi yang dihasilkan hanya bersifat vertikal [7]. Teknik akuisisi *vertikal sonding* dilihat pada Gambar 2. berikut ini :



Gambar 2. Teknik Akuisisi *Vertikal Sonding*[7]

Kualitas Air

Metode STORET

Metode STORET adalah membandingkan data kualitas air dengan bakumutu air yang disesuaikan dengan peruntukannya guna menentukan status mutu air. Jika hasilpengukuran memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran ≤ baku mutu) maka diberi skor0. Jika hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran > baku mutu),maka diberi skor seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Sistem Nilai Untuk Menentukan Status Mutu Air

Jumlah Contoh	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
<10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
≥10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Sumber : Keputusan Meneg LH Nomor 115 tahun 2003[4]

Berdasarkan Keputusan Meneg LH Nomor 115 tahun 2003[4], cara untuk menentukan status mutu air Metode STORET adalah dengan menggunakan sistem nilai dari "US-EPA (*EnvironmentalProtection Agency*)" dengan mengklasifikasikanmutu airdalamempat kelasyaitu :

1. Kelas A : baik sekali, dengan nilai0
2. Kelas B : baik atau cemar sedang, dengan nilai = -1 s.d. -10
3. Kelas C : sedang, dengannilai=- 11 s.d. -30
4. Kelas D : buruk, dengan nilai = ≥ -31

Metode *Pollution Index* (PI)

Menurut Sumitomo dan Nemerow (1970) Universitas Texas, A.S di dalam Keputusan Meneg LH Nomor 115 tahun 2003[4], mengusulkan suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemar yang bermakna untuk suatu peruntukan. Indeks ini dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan [4]. Indeks ini memiliki konsep yang berlainan dengan Indeks Kualitas Air (*Water Quality Index*). Indeks Pencemaran (IP) ditentukan untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai.

$$PIj = \sqrt{\frac{(Ci/Lij)_M^2 + (Ci/Lij)_R^2}{2}} \quad (1)$$

Dengan :

C_i =Konsentrasi parameter air yang diambil

L_{ij} =Konsentrasi parameter air berdasarkan bakumutu

PI_j =Indek pencemaran

Jika nilai baku Lij memiliki rentang, maka perlu dicari terlebih dahulu rata-rata dari rentang tersebut.

- Untuk Ci ≤ Lij $_{rata\text{-}rata}$, maka :

$$(Ci/Lij)baru = \frac{[Ci-(Lij)rata-rata]}{\{(Lij)minimum-(Lij)rata-rata\}} \quad (2)$$

- Untuk Ci > Lij $_{rata\text{-}rata}$, maka :

$$(Ci/Lij)baru = \frac{[Ci-(Lij)rata-rata]}{\{(Lij)maksimum-(Lij)rata-rata\}} \quad (3)$$

Catatan :

- Ci/Lij $_{baru}$ dihitung karena nilai Ci/Lij yang berjauhan.
- Untuk Ci/Lij < 1 digunakan Ci/Lij $_{hasil\ pengukuran}$, tetapi bila Ci/Lij > 1 perlu dicari Ci/Lij $_{baru}$.

Jika $C_i/L_{ij} > 1$

Maka digunakan persamaan $(C_i/L_{ij})baru$yaitu :

$$(Ci/Lij)baru = 1.0 + 5\log(Ci/Lij) \quad (4)$$

Indeks Pencemaran dihitung untuk menilai tingkat pencemaran peraiaran (KepMenLH No.115/2003)[8]. Indeks Pencemaran ditentukan dengan membandingkan data simulasi terhadap baku mutu kualitas air (PP No. 82/2001 kelas II) (Effendi, 2015)[2]. Kriteria klasifikasi indeks pencemaran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3.Kriteria Klasifikasi Indeks Pencemaran

Kriteria	Predikat
0 ≤ PIj ≤ 1,0	Memenuhi Baku Mutu (Kondisi Baik) (*Good Water Quality*)
1,0 < PIj ≤ 5,0	Cemar Ringan (*Moderately Polluted*)
5,0 ≤ PIj ≤ 10	Cemar Sedang (*Polluted*)
PIj > 10	Cemar Berat (*Extremely Polluted*)

Sumber : Effendi, 2015[2]

Metode *Water Quality Index* (WQI) atau Indek Kualitas Air (IKA)

Brown dalam Effendi [2], mengembangkan *National Sanitation Foundation's Water Quality Index* (NSF-WQI) dengan upaya yang lebih besar dan rumit dalam pemilihan parameter, pengembangan skala umum dan penilaian bobot karena dielaborasikan dengan metode Delphy. NSF-WQI ini termasuk dalam kategori indeks yang digunakan untuk kualitas air secara umum, menghasilkan 9 (sembilan) parameter terpilih yaitu DO, Fecal coli, pH, BOD, nitrat, fosfat, temperatur, turbiditas dan total padatan dengan pembobotan untuk masing-masing parameter [2].

National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) atau Indeks Kualitas Air ditentukan untuk menilai tingkatan kualitas air dari suatu perairan. Brown dkk dalam NSF-WQI menentukan lima klasifikasi IKA (Indeks Kualitas Air) dalamlima rentang nilai skor yaitu :[2]

Tabel 4. Predikat Indeks Kualitas Air

No	Nilai	Predikat
1	0-25	Sangat Buruk
2	26-50	Buruk
3	51-70	Sedang
4	71-90	Baik
5	91-100	Sangat Baik

Sumber : Effendi, H., 2015[2] dan R., Dewi, 2016[5]

Tabel 5.Original Bobot (Wi)

Original Weight Score		
No	Parameter	*Weight Score*
1	DO	0.17
2	pH	0.11
3	BOD	0.11
4	Suhu	0.1
5	COD	0.1
6	NH_3-N (Amoniak)	0.1
7	Turbidity	0.08
8	Total solids	0.07
9	Fecal Coliform	0.16
	Total	1

Sumber : Effendi, H., 2015[2]

Bobot dari masing-masing parameter tersebut dikalikan dengan nilai yang diperoleh dari kurva sub indeks (Li) (Gambar 3 s.d 8). Untuk mendapatkan nilai kurva sub indeks dapat digunakan *Calculator NSF-WQI Online:* (http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm).

Kemudian nilai dari semua parameter dijumlahkan dengan formula yang tersaji dibawah ini. NSF-WQI / Indeks Kualitas Air ditentukan dengan kriteria pada Tabel 4.

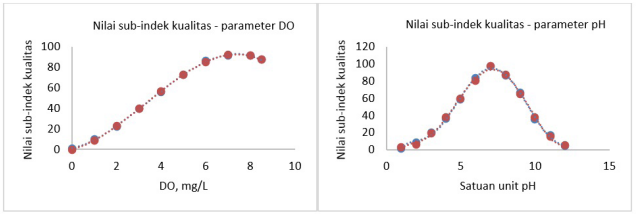
$$IKA = \sum_{i=0}^{n} Wi\ x\ Li \quad (5)$$

Dengan :

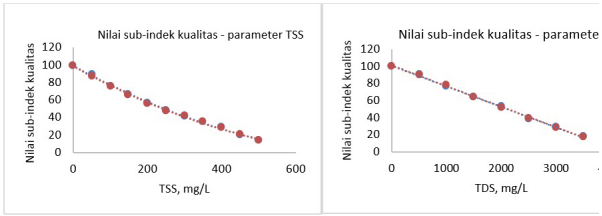
IKA = Indeks Kualitas Air

Wi = Bobot

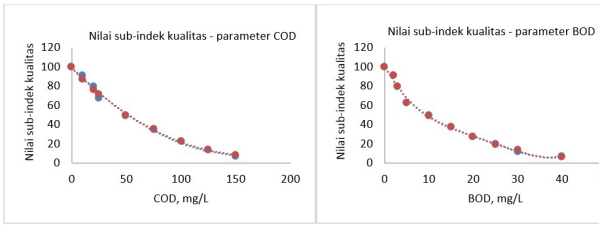
Li = Nilai dari kurva sub-index



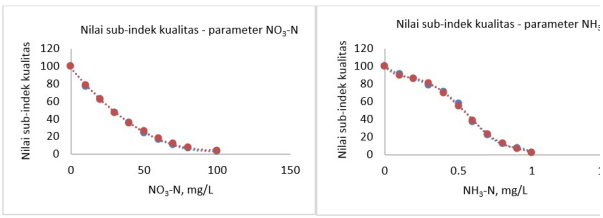
Gambar 3. Nilai Sub Indek Kualitas Parameter DO dan pH [5]



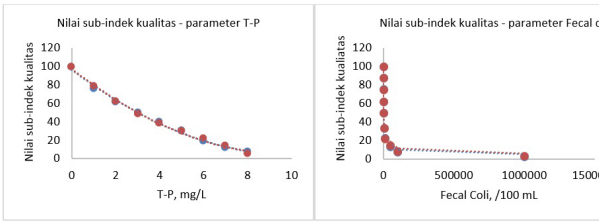
Gambar 4. Nilai Sub Indek Kualitas Parameter TSS dan TDS [5]



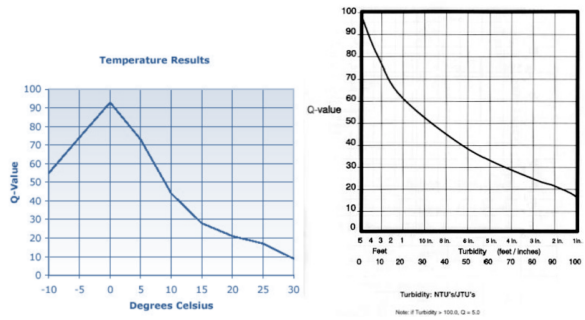
Gambar 5. Nilai Sub Indek Kualitas Parameter COD dan BOD [5]



Gambar 6. Nilai Sub Indek Kualitas Parameter NO_3-N dan NH_3-N [5]



Gambar 7. Nilai Sub Indek Kualitas Parameter T-P dan Fecal Coli [5]



Gambar 8. Nilai Sub Indek Kualitas Parameter Suhu dan Turbidity (Effendi, H., 2015[2] dan R., Dewi, 2016[5])

Indeks NSF-WQI (Indeks Kualitas Air) merupakan indeks yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan indeks lain dan juga dijadikan acuan dalam prosedur penyusunan indeks kualitas air di berbagai negara. IKA digunakan secara luas di berbagai negara untuk memecahkan masalah dalam pengelolaan data dan evaluasi keberhasilan dan kegagalan dalam strategi pengelolaan untuk meningkatkan kualitas air.Selain ekstrapolasi, cara lain untuk mendapatkan nilai sub indeks kualitas air adalah menggunakan persamaan regresi berdasarkan kurva yang terbentuk, sebagaimana Tabel 6. Bila kadarparameter kualitas air telah diperoleh berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, maka dengan menggunakan persamaan matematika terkait akan diperoleh sub indeks kualitas air.

Tabel 6. Persamaan Regresi Kurva Nilai Sub-Indek Kualitas Air Tiap Parameter

Parameter	**Persamaan Regresi Kurva Nilai Sub-Indek Kualitas Air**	
	Persamaan regresi	**Koefisien Determinasi**
DO	$Y_1 = -0.3525x^3 + 3.5267x^2 + 5.7687x$	$R^2 = 0.9995$
	$Y_2 = -5.1069x^2 + 76.185x - 191.22$	$R^2 = 1$
pH	$Y_1 = -0.5101x^3 + 7.4939x^2 - 14.887x + 10.573$	$R^2 = 0.9978$
	$Y_2 = 1.4372x^3 - 40.947x^2 + 361.49x - 919.47$	$R^2 = 0.9981$
COD	$Y_1 = -2E-05x^3 + 0.0077x^2 - 1.3838x + 101.52$	$R^2 = 0.996$
	$Y_2 = 0.0027x^2 - 0.9787x + 93.957$	$R^2 = 1$
BOD5	$Y_1 = 0.6516x^3 - 5.5904x^2 + 4.1489x + 100$	$R^2 = 1$
	$Y_2 = 0.0385x^2 - 3.3452x + 78.825$	$R^2 = 0.999$
Fecal Coliforms	$Y_1 = -1.2147x + 100$	$R^2 = 1$
	$Y_2 = -0.1377x + 89.23$	$R^2 = 1$
	$Y_3 = -0.0329x + 78.746$	$R^2 = 1$
	$Y_4 = -0.0251x + 74.838$	$R^2 = 1$
	$Y_5 = -0.004x + 53.79$	$R^2 = 1$
	$Y_6 = -0.0022x + 44.5$	$R^2 = 1$
	$Y_7 = -0.0002x + 25.015$	$R^2 = 1$
	$Y_8 = -0.0001x + 18.721$	$R^2 = 1$
	$Y_9 = -5E-06x + 8.4622$	$R^2 = 1$
TSS	$Y_1 = -3E-07x^3 + 0.0004x^2 - 0.2766x + 100.64$	$R^2 = 0.9992$
	$Y_2 = -0.1426x + 84.945$	$R^2 = 0.9943$
NH3-N	$Y = -1218x^5 + 3365.9x^4 - 3110.5x^3 + 1042.1x^2 - 176.82x + 100$	$R^2 = 0.9987$
NO3-N	$Y = 3E-07x^4 - 0.0001x^3 + 0.0204x^2 - 2.2971x + 100$	$R^2 = 0.9994$
T-Pospat	$Y = -0.142x^3 + 2.6418x^2 - 23.819x + 100$	$R^2 = 0.9968$
TDS	$Y = 8E-10x^3 - 4E-06x^2 - 0.0192x + 100$	$R^2 = 0.9994$

Sumber : Effendi, H., 2015[2] dan R., Dewi, 2016[5]

METODOLOGI

Pengumpulan Data

a) Data Primer

Melalui pengukuran langsung di sekitar TPA BulusanKabupatenBanyuwangimenggunakan alat geolistrik resistivitas. 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 disekitarTPA Bulusan Kabupaten Banyuwangi. Pengukuran secara fisika kualitas air tanah seperti mengukur suhu, pH air, warna, dan bau air tanah pada sumur-sumur penduduk. Pengukuran elevasi, jarak dan koordinat lokasi sumur terhadap TPA Bulusan.

b) Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari BAPPEDA (Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah), DKP (Dinas Kebersihan dan Pertamanan) Kabupaten Banyuwangi, Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kab. Banyuwangi, TPA (Tempat PemrosesanSampah Akhir) KabupatenBanyuwangiantara lain:

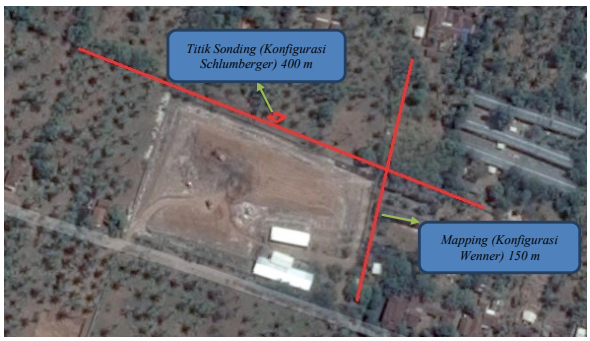
1. Peta Administratif
2. Peta Geologi
3. Peta Hidrogeologi
4. Peta Tata Guna Lahan
5. Site plan TPA Bulusan Kabupaten Banyuwangi.
6. Peta topografi TPABulusan Kabupaten Banyuwangi.
7. Hasil uji laboratorium kualitas air tanah

Pendekatan Masalah

Adapun proses penggunaan alat tersebut jika diaplikasikan untuk mendeteksi air lindi pada TPA Bulusan Kabupaten Banyuwangi sebagai berikut:

a. Pengidentifikasian area TPA dengan menganalisa titik-titik lindi menggunakan peta lokasi TPA Bulusan atau bisa dinamakan dengan pengamatan skema lintasan lindi.
b. Pendugaan aliran lindi dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan metode konfigurasi *Wenner* dan *Schlumberger*, yaitu dengan menanamkan elektroda yang telah tersalur pada *Resistivity Meter* dengan memperhitungkan titik-titik elektroda. untuk pengolahan data digunakan beberapa perangkat lunak, yaitu:
   - Seperangkat komputer dengan *Operating Sistem Microsoft Windows*.
   - *Microsoft Excel*.
   - *Software Res2Dinv* untuk metode *Mapping* (konfigurasi Wenner) dan *Software IPI2Win* untuk metode *Sonding* (konfigurasi Schlumberger).
c. Setelah sudah dilakukan pendugaan maka akan diketahui nilai resistivitas material yang terdapat dalam lapisan tanah tersebut, dari nilai tersebut dapat dicari nilai akumulasi rembesan air lindi pada air tanah serta dapat di petakan jalur persebarannya.
d. Kemudian dilakukan pengambilan sample air tanah pada sumur-sumur penduduk untuk dilakukan uji Laboratorium dan dianalisis kualitas air tanahnya dengan menggunakan metode STORET, *Pollution Index* (PI), dan Indek Kualitas Air (IKA).

Lintasan yang dijadikan penelitian untuk lintasan metode Wenner berada pada sisi sebelah timur TPA Bulusan Banyuwangi tepatnya di sebelah tembok pembatas dan di samping pemukiman pemulung yaitu memanjang dari arah timur ke utara sejauh 150 meter, serta untuk lintasan konfigurasi Schlumberger berada pada area belakang TPA Bulusan Banyuwangi membentang sepanjang 400 meter dan pembacaan berada tepat di tengah jalur tersebut. Terlihat pada Gambar 9.berikut ini :

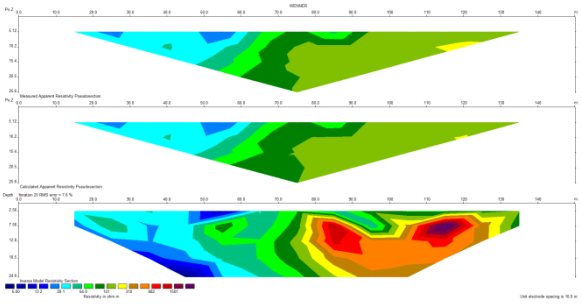


Gambar 9. Lokasi Penentuan Lintasan Pengukuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Analisis Data 2 Dimensi – *Lateral Mapping* (Konfigurasi Wenner)

Hasil interpretasi geolistrik pada Gambar 10, menunjukkan kedalaman maksimum dari pengolahan data geolistrik mencapai kedalaman 24,9 meter. Dengan memadukan data geologi dan data geolistrik yang telah diolah, maka daerah studi tersebut terdiri dari *Pasir tuffaan* dengan sedikit *Gravel*, *Gravel* ukuran sedang dan *Gravel* ukuran besar.



Gambar 10.Hasil Inversi -*Least Square Inversion*Dari *Res2Dinv*(Hasil *OutputRes2Dinv*, 2017)

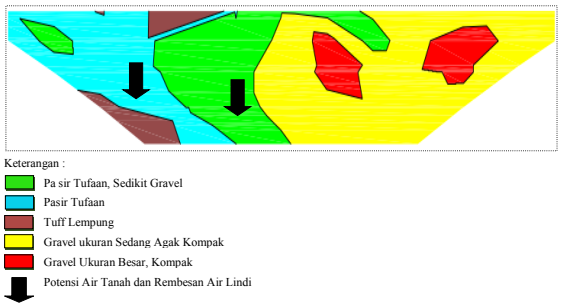
Dilihat dari nilai resistivitas, air tanah pada lintasan konfigurasi *Wenner* terdapat pada lapisan Pasir *Tuffaan* dan Pasir *Tuffaan* Sedikit Gravel. Potensi lokasi yang diindikasikan terdapat kandungan air tanah dangkal terdapat pada jarak ke 55 m dan 75 m. Adapun kedalaman air tanah dangkal pada masing-masing titik potensi tersebut adalah sebagai berikut :

a. Jarak ke 55 m dengan kedalaman maksimum ± 24,9 Meter
b. Jarak ke 75 m dengan kedalaman maksimum ± 24,9 Meter

Dalam kenyataannya, tidak menutup kemungkinan pada lapisan Pasir *Tuffaan* terdapat sisipan Gravel, hal ini diakibatkan karena pada lokasi pengukuran merupakan daerah limpasan lahar yang terdiri dari Gravel dengan ukuran kecil sampai besar. Selain itu, tanah yang berada pada daerah tersebut cukup tebal, berkisar 0,5 – 1 meter, sehingga mengakibatkan penebalan lapisan Pasir.

Dikajidari geomorfologi daerah studi, keberadaan air tanah dangkal cukup mudah dan keberadaannya merata, hanya dibedakan dengan ketebalan lapisan. Selain itu, daerah studi berada dibawah kaki Gunung Ijen, sehingga sangat mungkin ketersediaan*recharger*/daerah pengisi masih terjaga.

Nilai resistivitas air bersih (*fresh*) adalah antara 10-100 Ωm. Sedangkan nilai resistivitas air tanah yang tercemar air lindi (*leachate*) di sekitar TPA berkisar dibawah 10 Ωm. Oleh karena itu, dari hasil interpretasi dapat diketahui nilai resistivitas air tanah yang tercemar air lindi yang memiliki nilai dibawah 10 Ωm dengan gradasi warna biru tua sampai ke biru muda yang menyebar pada jarak ke 15 – 75 meterdengan kedalaman mulai dari 2,50 – 24,9 meter. Letak persebaran air lindi menuju pada titik elevasi terendah kearah timur kesisi utara TPA Bulusan Banyuwangi atau kearah timur laut menuju ke laut. Hal ini dapat dilihat pada interpretasi resistivitas batuansehingga letak persebaran air lindi diperkirakan mengalir darielevasi tertinggi ke elevasi terendahpada lapisan pasir *tuffaan* dan pasir *tuffaan* sedikit gravel yaitu dari jarak ke 15 –75 meter dengan kedalaman 2,50 – 24,9 meter dengan nilai resistivitas antara 6,0 – 29,1 Ωm, dan tingkat *error* simulasi sebesar 7,6%, yang dapat diilustrasikan pada Gambar 11berikut.



Gambar 11. Interpretasi Lapisan Tanah Dan Rembesan Air Lindi Di TPA Bulusan Banyuwangi (Hasil Analisis Dan *Output Res2Dinv*, 2017)

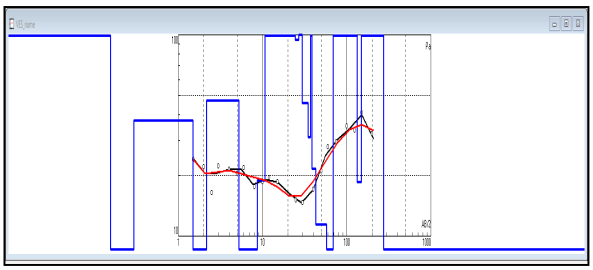
Interpretasi Analisis Data 1 Dimensi – *Vertical Sonding* (Konfigurasi Schlumberger)

Berdasarkan hasil pengolahan data pada titik pengukuran geolistrik diperoleh nilai *error*/kesalahan. Kesalahan/*error* dapat terjadi karena beberapa hal yaitu :

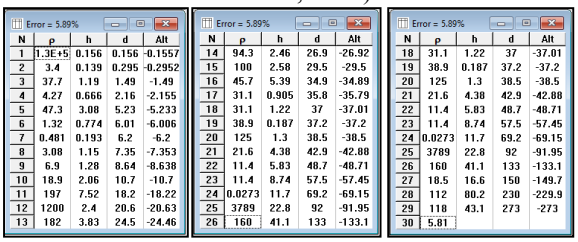
1. Kesalahan dalam melakukan pembacaan data
2. Linieritas konfigurasi titik arus dan beda potensial
3. Akurasi alat Geolistrik
4. Kondisi Alam

Dalam melakukan interpretasi jenis batuan mengacu pada peta Geologi dan Hidrogeologi Kabupaten Banyuwangi. Berdasarkan peta Geologi Indonesia skala 1 : 250.000 untuk wilayah TPA Bulusan Kecamatan Kalipuro Kabupaten Banyuwangi, terdapat Breksi Gunung Api, lava lahar dan tuff, Rante (r), Merapi (m). Kelulusan tinggi sampai sedang, berkelulusan tinggi terutama pada endapan lahar dan aliran lava vesikular.

Hasil pembacaan program untuk nilai resistivitas dan kedalaman lapisan mineral dapat dilihat pada Gambar 12s.d Gambar 14 berikut.



Gambar 12.Grafik Resistivitas Tiap Lapisan (*Output IPI2Win*, 2017)

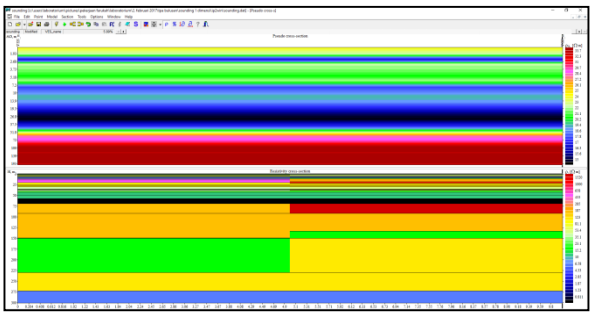


N	ρ	h	d	Alt
1	1.3E+5	0.156	0.156	-0.1557
2	3.4	0.139	0.295	-0.2952
3	37.7	1.19	1.49	-1.49
4	4.27	0.666	2.16	-2.155
5	47.3	3.08	5.23	-5.233
6	1.32	0.774	6.01	-6.006
7	0.481	0.193	6.2	-6.2
8	3.08	1.15	7.35	-7.353
9	6.9	1.28	8.64	-8.638
10	18.9	2.06	10.7	-10.7
11	197	7.52	18.2	-18.22
12	1200	2.4	20.6	-20.63
13	182	3.83	24.5	-24.46

N	ρ	h	d	Alt
14	94.3	2.46	26.9	-26.92
15	100	2.58	29.5	-29.5
16	45.7	5.39	34.9	-34.89
17	31.1	0.905	35.8	-35.79
18	31.1	1.22	37	-37.01
19	38.9	0.187	37.2	-37.2
20	125	1.3	38.5	-38.5
21	21.6	4.38	42.9	-42.88
22	11.4	5.83	48.7	-48.71
23	11.4	8.74	57.5	-57.45
24	0.0273	11.7	69.2	-69.15
25	3789	22.8	92	-91.95
26	160	41.1	133	-133.1

N	ρ	h	d	Alt
18	31.1	1.22	37	-37.01
19	38.9	0.187	37.2	-37.2
20	125	1.3	38.5	-38.5
21	21.6	4.38	42.9	-42.88
22	11.4	5.83	48.7	-48.71
23	11.4	8.74	57.5	-57.45
24	0.0273	11.7	69.2	-69.15
25	3789	22.8	92	-91.95
26	160	41.1	133	-133.1
27	18.5	16.6	150	-149.7
28	112	80.2	230	-229.9
29	118	43.1	273	-273
30	5.81			

Gambar 13.NilaiResistivitas Tiap Lapisan (*Output IPI2Win*, 2017)



Gambar 14. Resistivitas Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Menggunakan IPI2Win (*Output IPI2Win*, 2017)

Untuk pendugaan ada tidaknya lapisan pembawa air (aquifer) dapat dilihat dari peta hidrogeologi Indonesia skala 1:250000 untuk wilayah TPA Bulusan Kecamatan Kalipuro Kabupaten Banyuwangi. Aquifer produktif sedang dengan penyebaran luas. Aquifer dengan keterusan seragam kedalaman muka air tanah bebas umumnya dalam debit sumur umumnya kurang dari 5 liter/det.

Hasil interpretasi jenis batuan dari hasil nilai resistivitas *output* IPI2Win dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Interpretasi Jenis Batuan Terhadap Hasil Resistivitas Sonding

Layer	*Error* (%)	ρ (Ωm)	Tebal (m)			Deskripsi Jenis Batuan
1	5.89%	1.30E+05	0	-	0.156	Batuan dasar tak lapuk
2	5.89%	3.4	0.156	-	0.295	Tanah lanauan dan tanah lanauan basah lembek
3	5.89%	37.7	0.295	-	1.49	Tanah lanauan, pasiran
4	5.89%	4.27	1.49	-	2.16	Tanah lanauan dan tanah lanauan basah lembek
5	5.89%	47.3	2.16	-	5.23	Tanah lanauan, pasiran
6	5.89%	1.32	5.23	-	6.01	Tanah lempung, basah lembek
7	5.89%	0.481	6.01	-	6.2	Tanah lempung, basah lembek
8	5.89%	3.08	6.2	-	7.35	Tanah Lanauan dan tanah lanauan basah lembek
9	5.89%	6.9	7.35	-	8.64	Tanah Lanauan dan tanah lanauan basah lembek
10	5.89%	18.9	8.64	-	10.7	Tanah lanauan, pasiran
11	5.89%	197	10.7	-	18.2	Batuan Andesit
12	5.89%	1200	18.2	-	20.6	Batuan dasar tak lapuk
13	5.89%	182	20.6	-	24.5	Batuan dasar berkekar terisi tanah lembab
14	5.89%	94.3	24.5	-	26.9	Tanah Lanauan, Pasiran diduga mengandung air tanah, dan rembesan air lindi
15	5.89%	100	26.9	-	29.5	Tanah Lanauan, Pasiran diduga mengandung air tanah, dan rembesan air lindi

Layer	*Error* (%)	ρ (Ωm)	Tebal (m)			Deskripsi Jenis Batuan
16	5.89%	45.7	29.5	-	34.9	Tanah lanauan, pasiran
17	5.89%	31.1	34.9	-	35.8	Tanah lanauan, pasiran
18	5.89%	31.1	35.8	-	37	Tanah lanauan, pasiran
19	5.89%	38.9	37	-	37.2	Tanah lanauan, pasiran
20	5.89%	125	37.2	-	38.5	Tanah lanauan, pasiran
21	5.89%	21.6	38.5	-	42.9	Tanah lanauan, pasiran
22	5.89%	11.4	42.9	-	48.7	Tanah Lanauan dan tanah lanauan basah lembek
23	5.89%	11.4	48.7	-	57.5	Tanah Lanauan dan tanah lanauan basah lembek
24	5.89%	0.0273	57.5	-	69.2	Air Laut, dan atau diduga mengandung air lindi
25	5.89%	3789	69.2	-	92	Batuan dasar tak lapuk
26	5.89%	160	92	-	133	Tanah Lanauan, Pasiran diduga mengandung air tanah, dan rembesan air lindi
27	5.89%	18.5	133	-	150	Tanah lanauan, pasiran
28	5.89%	112	150	-	230	Tanah lanauan, pasiran
29	5.89%	118	230	-	273	Tanah lanauan, pasiran

Hasil interpretasi dengan tingkat *error* 5.89% maka dapat diduga untuk titik eksploitasi geolistrik untuk Lokasi TPA Bulusan Kecamatan Kalipuro Kabupaten Banyuwangi, yang diduga mengandung *aquifer* pembawa air dan indikasi terjadi rembesan air lindi adalah sebagai berikut :

1. Pada kedalaman antara 24,5 – 26,9 meter diduga mengandung aquifer pembawa air, dan terindikasi adanya rembesan air lindi dengan nilai resisitivitas 94,3Ωm.
2. Pada kedalaman antara 26,9 – 29,5 meter diduga mengandung aquifer pembawa air, dan terindikasi adanya rembesan air lindi dengan nilai resisitivitas 100Ωm.
3. Pada kedalaman antara 57,5 – 69,2 meter diduga terjadinya intrusi air laut dan diindikasi terdapatnya air lindi dengan nilai resisitivitas 0,0273Ωm.
4. Pada kedalaman antara 92 – 133 meter diduga mengandung aquifer pembawa air, dan terindikasi adanya rembesan air lindi dengan nilai resisitivitas 160Ωm.

Arah Rembesan Air Lindi

Berikut data hasil pengujian pH pada air lindi dan air sumur dangkal penduduk dengan elevasi dan koordinat masing-masing letak sumur untuk mengetahui arah rembesan air lindi di sekitar TPA Bulusan Banyuwangi.

a. Lindi : Air Lindi di TPA Bulusan dengan nilai pH 9 (warna hijau tua) dan terletak pada elevasi 69 m dpl dengan koordinat $08^0$09’30,015” LS dan $114^0$23’1,144” BT.
b. SP1:Sumur Pantau 1 dengan nilai pH 7,5 (warna kuning kehijauan) dan terletak pada elevasi 49 m dpl dengan koordinat $08^0$09,527’ LS dan $114^0$23,064’ BT.
c. SP2:Sumur Pantau 2 dengan nilai pH 7,5(warna kuning kehijauan) dan terletak pada elevasi 49 m dpl dengan koordinat $08^0$09,508’ LS dan $114^0$23,038’ BT.
d. S1 :Sumur Uji 1 dengan nilai pH 7 (warna kekuningan) dan terletak pada elevasi 49 m dpl dengan koordinat$08^0$09,423’ LS dan $114^0$23,067’ BT.
e. S2:Sumur Uji 2 dengan nilai pH 7,5(warna kuning kehijauan) dan terletak pada elevasi 47 m dpl dengan koordinat $08^0$09,544’ LS dan $114^0$23,112’ BT.
f. S3:Sumur Uji 3 dengan nilai pH 9 (warna hijau tua) dan terletak pada elevasi 41 m dpl dengan koordinat $08^0$09,495’ LS dan $114^0$23,161’ BT.
g. S4 :Sumur Uji 4 dengan nilai pH 9(warna hijau tua) dan terletak pada elevasi 41 m dpl dengan koordinat$08^0$09,466’ LS dan $114^0$23,179’ BT.
h. S5:Sumur Uji 5 dengan nilai pH 8 (warna hijau) dan terletak pada elevasi 31 m dpl dengan koordinat$08^0$09,470’ LS dan $114^0$23,291’ BT.
i. S6:Sumur Uji 6 dengan nilai pH 7 (warna kekuningan) dan terletak pada elevasi 48 m dpl dengan koordinat $08^0$09,554’ LS dan $114^0$23,079’ BT.

 ISBN:978-602-51450-0-1



(a) (b)

Gambar 15. Pengukuran (a) Suhu Dan (b) pH Pada Sumur Uji 3 Di Rumah Penduduk (Dok, 2017)

Berdasarkan Gambar 15 sumur penduduk di sekitar TPA Bulusan dilakukan pengukuran suhu dan pH untuk mendeteksi kontaminasi rembesan air lindi. Kadar pH lebih cenderung bersifat basa atau diatas 7 mengindikasikan bahwa adanya kontaminasi air lindi pada sumur tersebut.

Dari data di atas dapat dijelaskan bahwa arah persebaran air lindi mengarah pada elevasi terendah, kearah timur kesisi utara TPA Bulusan Banyuwangi atau kearah timur laut yaitu pada arah sumur 3, 4 dan 5. Hal tersebut diakibatkan adanya faktor gravitasi bumi, faktor geologi lapisan batuan dan mineral yang terdiri dari lapisan pasir *tufaan* sebagai tempat kandungan akumulasi air tanahdan faktor hidrogeologi yang membawa aliran air tanah menuju ke laut yang diindikasikan adanya kontaminasi air lindi, sehingga berdampak pada tercemarnya beberapa air sumur penduduk sekitar yang dilintasi oleh rembesan air lindi yang ditunjukkan dengan nilai pH air sumur lebih dari 7 yang bersifat basa.



Gambar 16.Titik Sampel Air Tanah

Dari hasil pengukuran suhu dan pH di sumur penduduk tersebut, maka dilakukan uji sampling air tanah untuk mengetahui kualitas air di sekitar TPA Bulusan dengan membagi radius dengan jarak per 50 meter sampai dengan 250 meter dari TPA Bulusan seperti pada Gambar 16, dengan maksud untuk menentukan kualitas air tanah dan deteksi arah rembesan kontaminasi air lindi.

Hasil Analisis Kualitas Air Tanah
Hasil Pengujian Sifat Kimia Air Tanah Laboratorium

Tabel 8. Hasil Pengujian Air Lindi TPA Bulusan Banyuwangi

Parameter	Sat.	Baku Mutu PerMen LHK No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016	Hasil Uji	Spesifikasi Metode
BOD_5*	mg/l	150	1670,40	SNI 06-6989.72-2009
COD	mg/l	300	3868,47	APHA 5220C, Ed 22, 2012
Besi (Fe)**	mg/l	-	6,9884	SNI 06-6989.4-2009
Zn**	mg/l	-	0,1246	SNI 06-6989.7-2009
NH_3-N**	mg/l	60	10,956	SNI 06-6989.30-2005

Sumber : Hasil Pengujian BLH Kabupaten Banyuwangi, 2017

Tabel 9. Hasil Uji Kualitas Air TanahPerRadius Di Laboratorium

No	Radius	Parameter	Sat.	Baku Mutu	Hasil Uji	Keterangan
1	50 meter	BOD	mg/l	2	4.76	Tidak Memenuhi
		COD	mg/l	10	17.02	Tidak Memenuhi
		Besi (Fe)	mg/l	0.3	-	-
		Seng (Zn)	mg/l	0.05	-	-
		Amoniak (NH_3-N)	mg/l	0.5	-	-
2	100 meter	BOD	mg/l	2	5.15	Tidak Memenuhi
		COD	mg/l	10	10.83	Tidak Memenuhi
		Besi (Fe)	mg/l	0.3	-	-
		Seng (Zn)	mg/l	0.05	-	-
		Amoniak (NH_3-N)	mg/l	0.5	-	-
3	150 meter	BOD	mg/l	2	24.23	Tidak Memenuhi
		COD	mg/l	10	29.4	Tidak Memenuhi
		Besi (Fe)	mg/l	0.3	-	-
		Seng (Zn)	mg/l	0.05	-	-
		Amoniak (NH_3-N)	mg/l	0.5	0.063	Memenuhi
4	200 meter	BOD	mg/l	2	38.54	Tidak Memenuhi
		COD	mg/l	10	47.97	Tidak Memenuhi
		Besi (Fe)	mg/l	0.3	-	-
		Seng (Zn)	mg/l	0.05	-	-
		Amoniak (NH_3-N)	mg/l	0.5	0.021	Memenuhi
5	250 meter	BOD	mg/l	2	15.54	Tidak Memenuhi
		COD	mg/l	10	20.12	Tidak Memenuhi
		Besi (Fe)	mg/l	0.3	-	-
		Seng (Zn)	mg/l	0.05	-	-
		Amoniak (NH_3-N)	mg/l	0.5	0.057	Memenuhi

Sumber : Hasil Uji Laboratorium Badan Lingkungan Hidup Banyuwangi, 2017

Pada Tabel 8 dilakukan uji air lindi untuk mengetahui kandungan pencemar tertinggi yang terkandung pada air lindi tersebut. Kandungan pencemar tertinggi terletak pada kandungan COD dan BOD serta NH_3-N. Pada Tabel 9, Kualitas air tanah pada sumur penduduk di sekitar TPA Bulusan Banyuwangi yang terindikasi tercemar

adalah pada 150 – 200 m, yang tertinggi terdapat pada radius 150 m dengan nilai BOD38,54 mg/l dan COD 47,97 mg/l melampaui batas baku yaitu BOD 2 mg/l dan COD 10 mg/l sehingga air tanah dapat diindikasikantercemar. Sedangkan pada parameter besi (Fe), seng (Zn) tidak terdeteksi dan pada amoniak bernilai kecil dibawah baku mutu yaitu sebesar 0,063 mg/l dari baku mutu 0,5 mg/l. Dengan kata lain, walaupun kecil nilainya tapi dapat dikatakan tetap terkontaminasi oleh rembesan air lindi pada air tanah tersebut.

Analisis Kualitas Air Metode STORET

Berdasarkan metode STORETyang ditunjukkan pada Tabel 10bahwa kualitas air tanah pada tiap sample sumur berada pada kategori kelas B dengan predikat cemar ringan. Kondisi ini air masih dalam keadaan baik, sehingga air tanah atau sumur penduduk pada area sekitar TPA Bulusan dengan radius 50 – 250 meter masih layak untuk digunakan untuk mandi, mencuci dan memasak.

Tabel 10. Perhitungan Kualitas Air Metode STORET

No	Radius	Parameter Fisika				Parameter Kimia			
		Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET
1	50 meter	Suhu	30°	26°- 29°	-1	pH	7	6-9	0
		Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	0	BOD	4.76	2	-2
		Warna	Tidak Berwarna	Tidak Berwarna	0	COD	17.02	10	-2
						Zn	0	0.05	0
						NH3-N	0	0.5	0
						Fe	0	0.3	0
		Jumlah			-1	Jumlah			-4
Total Skor = -5									
Kategori = Kelas B									
Predikat = Cemar Ringan									
No	Radius	Parameter Fisika				Parameter Kimia			
		Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET
2	100 meter	Suhu	27°	26°- 29°	0	pH	7.5	6-9	0
		Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	0	BOD	5.15	2	-2
		Warna	Tidak Berwarna	Tidak Berwarna	0	COD	10.83	10	-2
						Zn	0	0.05	0
						NH3-N	0	0.5	0
						Fe	0	0.3	0
		Jumlah			0	Jumlah			-4
Total Skor = -4									
Kategori = Kelas B									
Predikat = Cemar Ringan									
No	Radius	Parameter Fisika				Parameter Kimia			
		Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET
3	150 meter	Suhu	30°	26°- 29°	-1	pH	9	6-9	0
		Bau	Anyir	Tidak Berbau	-1	BOD	24.23	2	-2
		Warna	Kuning Kecoklatan	Tidak Berwarna	-1	COD	29.4	10	-2
						Zn	0	0.05	0
						NH3-N	0.063	0.5	0
						Fe	0	0.3	0
		Jumlah			-3	Jumlah			-4
Total Skor = -7									
Kategori = Kelas B									
Predikat = Cemar Ringan									
No	Radius	Parameter Fisika				Parameter Kimia			
		Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET
4	200 meter	Suhu	30°	26°- 29°	-1	pH	9	6-9	0
		Bau	Anyir	Tidak Berbau	-1	BOD	38.54	2	-2
		Warna	Kuning Kecoklatan	Tidak Berwarna	-1	COD	47.97	10	-2
						Zn	0	0.05	0
						NH3-N	0.021	0.5	0
						Fe	0	0.3	0
		Jumlah			-3	Jumlah			-4
Total Skor = -7									
Kategori = Kelas B									
Predikat = Cemar Ringan									
No	Radius	Parameter Fisika				Parameter Kimia			
		Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET	Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu	Nilai STORET
5	250 meter	Suhu	28°	26°- 29°	0	pH	8	6-9	0
		Bau	Anyir	Tidak Berbau	-1	BOD	15.54	2	-2
		Warna	Kecoklatan	Tidak Berwarna	-1	COD	20.12	10	-2
						Zn	0	0.05	0
						NH3-N	0.057	0.5	0
						Fe	0	0.3	0
		Jumlah			-2	Jumlah			-4
Total Skor = -6									
Kategori = Kelas B									
Predikat = Cemar Ringan									

Hasil Kualitas Air Metode *Pollution Index* (PI)

Berdasarkan analisis indek pencemaran air (PIj) seperti pada Tabel 11 didapat hasil sample air tanah pada sumur penduduk radius 50 m, 100 m, 150 m dan 250 m memiliki predikat cemar ringan dimana nilai PIj antara $1 < PIj \leq 5$. Menandakan bahwa kondisi air masih bisa digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dengan proses pengolahan terlebih dahulu.

Sedangkan pada radius 200 meter kondisi air tanah sumur penduduk memiliki predikat cemar sedang dimana nilai PIj antara $5 \leq PIj \leq 10$. Kondisi air tanah atau sumur tercemar tapi masih bisa digunakan untuk keperluan sehari-hari selain untuk minum atau air bersih. Air tanah dalam kondisi ini tidak bisa dikonsumsi atau tidak layak sebagai air bersih.

Tabel 11. Hasil Analisis Kualitas Air Metode Indek Pencemaran (PI)

No Sample	Radius	Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	1.0 + 5 log (Ci/Lij)	Ci/Lij baru
S1	50 meter	Suhu	30	27.5	1.67	2.11	2.11
		pH	7	7.5	0.33	-1.39	0.33
		BOD	4.76	2	2.38	2.88	2.88
		NH3-N	0	0.5	0.00	0.00	0.00
		COD	17.02	10	1.70	2.15	2.15
Jumlah							7.48
(Ci/Lij) Rata-rata							1.50
(Ci/Lij) Maksimum							2.88
Plj							2.30
Kriteria							1.0<Plj<=5.0
Predikat							Cemar Ringan
No Sample	Radius	Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	1.0 + 5 log (Ci/Lij)	Ci/Lij baru
S2	100 meter	Suhu	27	27.5	0.33	-1.39	0.33
		pH	7.5	7.5	0.00	0.00	0.00
		BOD	5.15	2	2.58	3.05	3.05
		NH3-N	0	0.5	0.00	0.00	0.00
		COD	10.83	10	1.08	1.17	1.17
Jumlah							4.56
(Ci/Lij) Rata-rata							0.91
(Ci/Lij) Maksimum							3.05
Plj							2.25
Kriteria							1.0<Plj<=5.0
Predikat							Cemar Ringan
No Sample	Radius	Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	1.0 + 5 log (Ci/Lij)	Ci/Lij baru
S3	150 meter	Suhu	30	27.5	1.67	2.11	2.11
		pH	9	7.5	1.00	1.00	1.00
		BOD	24.23	2	12.12	6.42	6.42
		NH3-N	0.063	0.5	0.13	-3.50	0.13
		COD	29.4	10	2.94	3.34	3.34
Jumlah							12.99
(Ci/Lij) Rata-rata							2.60
(Ci/Lij) Maksimum							6.42
Plj							4.90
Kriteria							1.0<Plj<=5.0
Predikat							Cemar Ringan
No Sample	Radius	Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	1.0 + 5 log (Ci/Lij)	Ci/Lij baru
S4	200 meter	Suhu	30	27.5	1.67	2.11	2.11
		pH	9	7.5	1.00	1.00	1.00
		BOD	38.54	2	19.27	7.42	7.42
		NH3-N	0.021	0.5	0.04	-5.88	0.04
		COD	47.97	10	4.80	4.40	4.40
Jumlah							14.98
(Ci/Lij) Rata-rata							3.00
(Ci/Lij) Maksimum							7.42
Plj							5.66
Kriteria							5.0<Plj<=10
Predikat							Cemar Sedang
No Sample	Radius	Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	1.0 + 5 log (Ci/Lij)	Ci/Lij baru
S5	250 meter	Suhu	28	27.5	0.33	-1.39	0.33
		pH	8	7.5	0.33	-1.39	0.33
		BOD	15.54	2	7.77	5.45	5.45
		NH3-N	0.057	0.5	0.11	-3.72	0.11
		COD	20.12	10	2.01	2.52	2.52
Jumlah							8.75
(Ci/Lij) Rata-rata							1.75
(Ci/Lij) Maksimum							5.45
Plj							4.05
Kriteria							1.0<Plj<=5.0
Predikat							Cemar Ringan

Hasil Kualitas Air Metode *Water Quality Index* (WQI) Atau Indek Kualitas Air (IKA)

Indeks kualitas air ini didasarkan pada 9 parameters yang mencakup: BOD, COD, NH_3-N, Total Phosphate, Suhu, Turbidity, Total Solids, pH, dan Fecal Coliform. Pada simulasi ini digunakan hanya 5 parameter tanpa Fecal Coliform, Total Phosphate, Turbidity dan Total Solids.Oleh karena itu, bobot dari setiap

parameter mengalami modifikasi seperti padaTabel 12.

Tabel 12. Modifikasi Bobot (Wi) Untuk 5 Parameter Pada Indeks Kualitas Air

Original Weight Score			*Modified Weight Score*		
No	Parameter	*Weight Score*	No	Parameter	*Weight Score*
1	DO	0.17	1	BOD	0.21
2	pH	0.11	2	pH	0.21
3	BOD	0.11	3	Suhu	0.20
4	Suhu	0.1	4	NH_3-N	0.20
5	COD	0.1	5	COD	0.20
6	NH_3-N	0.1			
7	Turbidity	0.08			
8	Total solids	0.07			
9	Fecal Coliform	0.16			
Total		1	Total		1

Sumber : Effendi, H., 2015 [2] dan Hasil Analisis, 2017

Bobot total dari 5 parameter kualitas air yang diukur tetap 1. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan bobot dari parameter yang dihilangkan ke masing-masing bobot parameter kualitas air yang dipakai secara proporsional.

Tabel 13. Hasil Analisis Kualitas Air Tanah Metode Indeks Kualitas Air (IKA)

Modified Weight Score			Hasil Ukur	Wi	Li	IKA (Wi x Li)
No. Sample	Parameter	*Weight Score*				
S1	BOD	0.21	4.76	0.21	63.77	13.14
	pH	0.21	7	0.21	97.52	20.09
	Suhu	0.20	30°	0.20	10	1.96
	NH3-N	0.20	0	0.20	100	19.60
	COD	0.20	17.02	0.20	78.08	15.30
Total		1.00	28.78	1.00	349.37	70.09
Predikat :	Sedang					
Modified Weight Score			Hasil Ukur	Wi	Li	IKA (Wi x Li)
No. Sample	Parameter	*Weight Score*				
S2	BOD	0.21	5.15	0.21	62.62	12.90
	pH	0.21	7.5	0.21	94.75	19.52
	Suhu	0.20	27°	0.20	13	2.55
	NH3-N	0.20	0	0.20	100	19.60
	COD	0.20	10.83	0.20	83.67	16.40
Total		1.00	23.48	1.00	354.05	70.97
Predikat :	Sedang					
Modified Weight Score			Hasil Ukur	Wi	Li	IKA (Wi x Li)
No. Sample	Parameter	*Weight Score*				
S3	BOD	0.21	24.23	0.21	20.37	4.20
	pH	0.21	9	0.21	64.95	13.38
	Suhu	0.20	30°	0.20	10	1.96
	NH3-N	0.20	0.063	0.20	92.27	18.09
	COD	0.20	29.4	0.20	67.52	13.23
Total		1.00	62.69	1.00	255.11	50.86
Predikat :	Buruk					
Modified Weight Score			Hasil Ukur	Wi	Li	IKA (Wi x Li)
No. Sample	Parameter	*Weight Score*				
S4	BOD	0.21	38.54	0.21	7.09	1.46
	pH	0.21	9	0.21	64.95	13.38
	Suhu	0.20	30°	0.20	10	1.96
	NH3-N	0.20	0.021	0.20	96.72	18.96
	COD	0.20	47.97	0.20	53.22	10.43
Total		1.00	95.53	1.00	231.98	46.19
Predikat :	Buruk					
Modified Weight Score			Hasil Ukur	Wi	Li	IKA (Wi x Li)
No. Sample	Parameter	*Weight Score*				
S5	BOD	0.21	15.54	0.21	36.14	7.44
	pH	0.21	8	0.21	87.69	18.06
	Suhu	0.20	28°	0.20	12	2.35
	NH3-N	0.20	0.057	0.20	92.77	18.18
	COD	0.20	20.12	0.20	75.36	14.77
Total		1.00	43.72	1.00	303.95	60.81
Predikat :	Sedang					

Berdasarkan metode IKA pada Tabel 13menunjukan bahwa kualitas air pada radius 50, 100, dan 250 meter mengindikasikan terkontaminasi sedang dengan nilai IKA antara 60 – 71. Sedangkan pada radius 150 dan 200 meter kondisi air tanah diindikasikan sebagai predikat Buruk dengan nilai IKA antara 45 – 51, jadi dapat dinyatakan bahwa kondisi air tanah pada sumur penduduk sudah terkontaminasi air lindi.

Perbandingan Nilai Indeks Kualitas Air

Tabel 14. Perbandingan Nilai Indeks Kualitas Air

No. Sample	Radius	Metode	Nilai Score	Predikat
S1	50 meter	STORET	-5	Cemar Ringan
		PI	2.30	Cemar Ringan
		IKA	70.09	Sedang
S2	100 meter	STORET	-4	Cemar Ringan
		PI	2.25	Cemar Ringan
		IKA	70.97	Sedang
S3	150 meter	STORET	-7	Cemar Ringan
		PI	4.90	Cemar Ringan
		IKA	50.86	Buruk
S4	200 meter	STORET	-7	Cemar Ringan
		PI	5.66	Cemar Sedang
		IKA	46.19	Buruk
S5	250 meter	STORET	-6	Cemar Ringan
		PI	4.05	Cemar Ringan
		IKA	60.81	Sedang

Berdasarkan Tabel 14 dapat disimpulkan bahwa analisis menggunakan 3 metode tersebut masing-masing memiliki perbedaan. Pada metode STORETdidapatkan hasil yang menunjukkan bahwa kualitas air pada tiap radius memiliki kualitas yang sama yaitu dengan predikat Cemar Ringan pada Kelas B, pada metode PI terdapat 4 sample yaitu S1, S2, S3 dan S5 masing-masing dengan radius 50, 100, 150 dan 250 meter memiliki predikat Cemar Ringan pada range $1,0<PIj\leq5,0$, dan yang predikat Cemar Sedang dengan range $5,0<PIj\leq10$ pada sample S4 radius 200 m. Untuk metode IKA menunjukkan bahwa terdapat 3 sample yaitu S1, S2, dan S5 masing-masing dengan radius 50, 100 dan 250 meter memiliki predikat Cemar Sedang, dan yang predikat Cemar Buruk pada sample S3 radius 150 m dan S4 radius 200 m.

Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi air tanah pada masing-masing sumur penduduk tersebut telah terkontaminasi oleh air lindi dengan perbedaan konsentrasi polutan. Pada radius 50, 100, dan 250 meter diindikasikan air tanah terkontaminasi ringan sampai sedang, dan pada radius 150 dan 200 meter diindikasikan air tanah telah terkontaminasi air lindi kategori Cemar Sedang sampai Buruk tidak layak konsumsi dan perlu adanya pengelolaan menjadi air bersih sebagai bentuk penanggulangan pencemaran air lindi di sekitar TPA Bulusan Kabupaten Banyuwangi.

KESIMPULAN

Letak akumulasi lindi hasil interpretasi Konfigurasi *Wenner (Mapping)* menyebar pada kedalaman mulai dari 2,50 – 24,9 meter pada lapisan pasir *tuffaan* dan pasir *tuffaan* sedikit

gravel dengan nilai resistivitas antara 6,0 – 29,1 Ωm. Sedangkan pada metode Konfigurasi *Schlumberger (sonding)*, dapat diketahui bahwa letak akumulasi air lindi terdapat pada kedalaman antara 57,5 – 69,2 meter yang diduga terjadinya intrusi air laut dan diindikasi terdapatnya air lindi dengan nilai resisitivitas 0,0273 Ωm. Pada kedalaman antara 24,5 – 29,5 meter diduga terdapat pembawa air tanah yang diindikasikan terkontaminasi oleh rembesan air lindi.

Arah rembesan air lindi mengarah pada elevasi terendah, kearah timur kesisi utara TPA Bulusan Banyuwangi atau kearah timur laut menuju ke laut yang diindikasikan dengan kualitas air sumur secara fisika dari warna, bau dan pH air yang mengarah pada sumur uji 3, 4 dan 5 memiliki warna kekuningan seperti Nitrat Amoniak dan pH air bernilai lebih dari 7 yang bersifat basa. Dengan hasil analisis uji kualitas air yang berdasarkan metode STORET yang menunjukkan bahwa kualitas air pada tiap radius memiliki kualitas yang sama yaitu dengan predikat Cemar Ringan pada Kelas B, pada metode PI terdapat 4 sample yaitu S1, S2, S3 dan S5 masing-masing dengan radius 50, 100, 150 dan 250 meter memiliki predikat Cemar Ringan pada range $1,0<PIj\leq5,0$, dan yang predikat Cemar Sedang dengan range $5,0<PIj\leq10$ pada sample S4 radius 200 m. Untuk metode IKA menunjukkan bahwa terdapat 3 sample yaitu S1, S2, dan S5 masing-masing dengan radius 50, 100 dan 250 meter memiliki predikat Cemar Sedang, dan yang predikat Cemar Buruk pada sample S3 radius 150 m dan S4 radius 200 m. Jadi air tanah pada masing-masing sumur penduduk tersebut telah terkontaminasi oleh air lindi dengan perbedaan konsentrasi polutan. Pada radius 50, 100, dan 250 meter diindikasikan air tanah terkontaminasi ringan sampai sedang, dan pada radius 150 dan 200 meter diindikasikan air tanah telah terkontaminasi air lindi kategori Cemar Sedang sampai Buruk tidak layak konsumsi dan perlu adanya pengelolaan menjadi air bersih sebagai bentuk penanggulangan pencemaran air lindi di sekitar TPA Bulusan Kabupaten Banyuwangi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset Dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan yang telah diberikan dalam skema Penelitian Dosen Pemula Tahun 2017. Kedua kalinya kepada Politeknik Negeri Banyuwangi yang telah memberi kesempatan dan dukungannya sehingga kami dapat menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Datunsolang, F., Gerald, T., As'ari. "Identifikasi Rembesan Limbah Cair Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger Studi Kasus TPA Sumompo, Manado".*Jurnal Ilmiah Sains Vol. 15 No. 2*. (2015) :167-172.

[2] Effendi, Hefni. "Simulasi Penentuan Indeks Pencemaran dan Indeks Kualitas Air (NSF-WQI)". *Puslitbang Kualitas dan Laboratorium Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.* (2015)

[3] Loke MH, Barker RD. "Practical Techniques for 3D Resistivity Surveys and Data Inversion. Geophy". *Prosp.*, 44 (1996): 499-524.

[4] Menteri Negara Lingkungan Hidup. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*. Jakarta. (2003)

[5] R., Dewi. 2016. "Penentuan Parameter Dan Kurva Sub Indeks Dalam Penyusunan Indeks Kualitas Air". *Puslitbang-Kualitas dan Laboratorium Lingkungan KLHK. Tanggerang, Ecolab Vol. 10 No. 2* Juli (2016) : 47–102.

[6] Radar Banyuwangi, "radarbanyuwangi jawapos," 5 September 2016. [Online]. Available: http://radarbanyuwangi.jawapos.com/read/2016/09/05/1958/tpa-bulusan-tambah-lahan-28-hektare.

[7] Rakhmanto, Fajar. "Modul Geolistrik Resistivitas (Edisi Revisi 1)".*Geosentris Nusantara Consultan, Malang.* (2016).

[8] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. *Applied Geophysics 2nd Edition*. Cambridge University Press, New York. (1990).

[9] Wuryantoro. "Aplikasi metode geolistrik tahanan jenis untuk Menentukan letak dan kedalaman Aquifer air tanah (Studi Kasus di Desa Temperak Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang Jawa Tengah", *Universitas Negeri Semarang*. (2007)