

PENENTUAN LUAS DAN VOLUME KONTAMINAN MELAMIN DI AREA X BONTANG BERDASARKAN NILAI RESISTIVITAS GEOLISTRIK DAN SAMPEL CORING

Merry Yuliana^{2*}, Adrianus Inu Natalisanto¹, Djayus^{1,2},

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman

Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur

*Corresponding Author: merryyuliana30@gmail.com

Abstract. Melamine is a kind of polymer which could contaminate the environment. Bontang X area has been known to be contaminated by the melamine. The research aimed to determine the area and volume contaminated by the melamine and to measure the resistivity of melamine. There were seven steps performed in the research. First, it was the step to search references proving the existence of melamine contaminants in the research area. Second, it was the step to measure the apparent resistivity by the geoelectrical method in the configuration of *Wenner-Schlumberger*. Third, it was the step to process the geoelectrical data by using *Res2dinv* software to provide underground 2-dimensional cross-sectional area in the representative of apparent resistivity. Fourth, it was the step to digitize the 2-dimensional cross-sectional area by using the facilities of *Ms. Word* and then the results were to be processed by using *Surfer* software to create the contour map of apparent resistivity. Fifth, it was the step to get the coring data in the research area. Sixth, it was the step to measure the resistivity of coring samples by using the instrument of geophysics Laboratory. Seventh, it was the step to calculate the melamine contaminated area and volume by gridding the contour maps with the help of *ImageJ* software. The results of the research were: first, the melamine contaminated area at the surface is $(1218.3 \pm 6.25) \text{ m}^2$ and at the depth of 0.5 m is $(1112.9 \pm 6.25) \text{ m}^2$; second, the contaminated volume is $(1165.6 \pm 3.125) \text{ m}^3$, with the melamine resistivity is $(7.5 \pm 3.5) \Omega \text{m}$.

Keywords: resistivity, contaminant, melamine, geoelectrical method.

Pendahuluan

Suatu area X Bontang diketahui merupakan tempat pembuangan limbah melamin. Diduga daerah tersebut telah terkontaminasi melamin. Dalam penelitian ini telah ditentukan nilai resistivitas melamin tersebut, luas kontaminan dan volumenya dengan metode geolistrik. Metode geolistrik yang digunakan mencakup metode geolistrik skala laboratorium dan lapangan.

Metode geolistrik skala laboratorium dilakukan melalui pengukuran nilai resistivitas pada sampel coring yang diambil dari area X Bontang. Nilai resistivitas yang diperoleh merupakan nilai resistivitas sebenarnya. Adapun metode geolistrik skala lapangan dilakukan melalui penginjeksian arus listrik langsung di area X Bontang menggunakan peralatan geolistrik. Nilai yang diperoleh

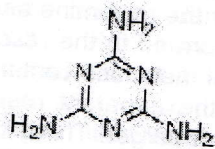
merupakan distribusi nilai resistivitas semu dan *chargeability* dari area X tersebut.

Hasil dari pengukuran resistivitas semu dan *chargeability* tersebut kemudian diolah sehingga diperoleh nilai resistivitas, luas dan volume dari kontaminan melamin di area X Bontang tersebut. Nilai resistivitas, luas dan volume kontaminan melamin tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai referensi tentang keberadaan kontaminan melamin di area-X tersebut.

Melamin

Melamin merupakan polimer termoplas yang dapat diperoleh melalui polimerisasi fenol atau melamin-formaldehida. Melamin merupakan senyawa berwarna, termasuk dalam kelompok senyawa heterosiklik-basa kuat yang memiliki rumus molekul $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ dengan nama IUPAC 1,3,5-

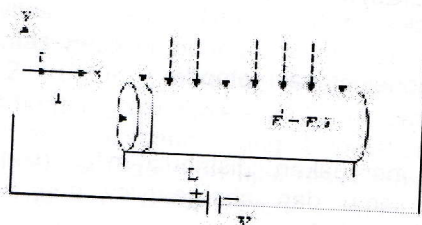
triazine-2,4,6-triamine. Melamin dapat diperoleh dari sintesis sianamida. Senyawa kimia ini berbentuk kristal putih padat, mempunyai sifat sedikit larut dalam air (3.1 g/L pada suhu 20°C), memiliki berat molekul 126,13 g/mol dan titik leleh pada suhu 350 °C. Melamin banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam industri sintatesis resin. Adapun struktur melamin diperlihatkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Struktur melamin (Hoffman,1885)

Pengukuran Nilai Resistivitas di Laboratorium

Pengukuran resistivitas di laboratorium dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik I melalui sampel coring sepanjang L yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arus yang dialirkan pada material sampel coring.

Pada gambar tersebut, rapat arus listrik \vec{j} yang melalui elemen luasan $d\vec{A}$ sampel coring tersebut sebanding dengan elemen arus dl menurut persamaan:

$$dl = \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

atau untuk kasus pengukuran di laboratorium dianggap berlaku:

$$I = \vec{j} \cdot A \quad (2)$$

Diketahui bahwa hukum Ohm menghubungkan rapat arus \vec{j} (A/m²) dengan medan listrik \vec{E} (V/m) menurut persamaan:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (3)$$

dengan konduktivitas σ (Ωm)⁻¹ memenuhi kaitan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

Kuat medan listrik yang memintas sampel coring memenuhi persamaan:

$$\vec{E} = \frac{V}{x} \hat{i} \quad (5)$$

Selanjutnya persamaan (2),(4) dan (5) disubstitusikan ke persamaan (3) menjadi

$$V = \left(\frac{\rho l}{A}\right) x \quad (6)$$

Dari persamaan (6) dapat diperoleh nilai slope (kemiringan) dari pengambilan data, yaitu:

$$\rho = \frac{m A}{l} \quad (7)$$

dengan x adalah jarak spasi pengukuran (m), m adalah slope/kemiringan (volt/meter), A adalah luas penampang (m²) dan I adalah kuat arus listrik (ampere).

Dalam setiap melakukan pengukuran atau pengambilan data pasti terdapat ketidakpastian yang memenuhi persamaan:

$$\Delta \rho = \sqrt{\left(\frac{A}{l} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{m}{l} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{m A}{l^2} \Delta l\right)^2} \quad (8)$$

dengan

$$\Delta m = \sqrt{\frac{N(\sigma_y^2)}{\Delta}}, \Delta = N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \quad (9)$$

$$\Delta A = \frac{n}{2} |d \Delta d| \quad (10)$$

$$\Delta l = \frac{l}{2} \text{ nst multi meter} \quad (11)$$

Pengukuran Resistivitas di Lapangan

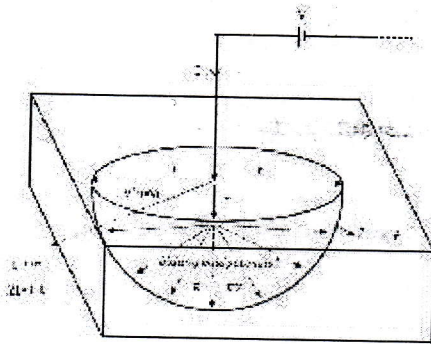
Agar dapat ditentukan nilai resistivitas lapisan-lapisan batuan bumi, maka lapisan bumi dianggap bersifat homogen isotropis (Telford, 1990). Andaikan elektroda arus mengalirkan arus listrik pada medium isotropis, maka akan terbentuk bidang ekipotensial berbentuk setengah bola yang memenuhi persamaan:

$$\vec{A} = 2\pi r^2 \hat{r} \quad (12)$$

Adapun aliran arus listrik yang menembus bidang ekipotensial separuh bola tersebut memenuhi persamaan:

$$\vec{j} = J \cdot \hat{r} \quad (13)$$

Gambaran aliran arus listrik tersebut diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Skema Pengukuran Resistivitas di Lapangan

Kuat medan listrik \vec{E} yang ditimbulkan elektroda dalam Gambar 3 memenuhi persamaan:

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (14)$$

Pengaitan persamaan (1), (3), (4), (12), (13) dan (14) akan memberikan persamaan potensial listrik pada jarak r , yaitu:

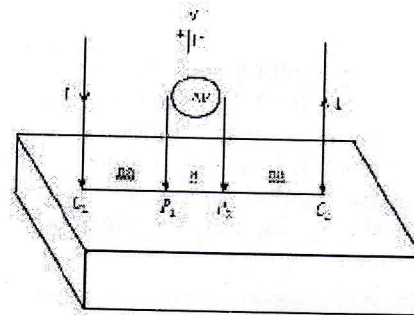
$$V_r = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (15)$$

dengan \vec{j} adalah rapat arus listrik (A/m²), σ adalah konduktivitas (Ωm)⁻¹, \vec{E} adalah kuat medan listrik (V/m) dan V_r adalah beda potensial listrik pada jarak r (volt).

Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Prinsip dasar metode geolistrik adalah menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi menggunakan dua buah elektroda arus (disebut C₁ dan C₂), kemudian mengukur beda potensial melalui dua buah elektroda lainnya di permukaan bumi (disebut P₁ dan P₂). Penerapan prinsip tersebut diperlihatkan dalam Gambar 4.

Susunan elektroda konfigurasi Wenner-Schlumberger diperlihatkan dalam Gambar 4. Konfigurasi ini adalah konfigurasi yang digunakan dalam pengukuran di lapangan.



Gambar 4. Skema konfigurasi Wenner-Schlumberger teknik mapping.

Secara ringkas resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger memenuhi persamaan:

$$\rho = \pi na(n+1) \frac{\Delta V}{I} \quad (16)$$

Adapun kaitan antara nilai resistivitas dengan material batuan diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Nilai resistivitas sebagian material-material bumi.

Material	Resistivity Range (Ωm)
Air (Udara)	0
Sands (Pasir)	1 - 1,000
Sandstone (Batu Pasir)	200 - 8,000
Clay (Lempung)	1 - 100
Ground Water (Air Tanah)	0,5 - 300
Sea Water (Air Asin)	0,2
Silt (Lanau)	20 - 200
Dry Gravel (Kerikil Kering)	600 - 10,000
Alluvium (Aluvium)	10 - 800
Gravel (Kerikil)	100 - 600

Sumber : Telford, 1990.

Luas dan volume kontaminan limbah dapat ditentukan dari tampilan kontur permukaan yang didapat dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer*. Kontur permukaan tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *ImageJ* melalui fasilitas *Histogram Analyze*. Penentuan luas kontaminan dilakukan dengan memotong bagian penampang kontur yang diduga terkontaminasi melamin. Luas sebaran kontaminan limbah L_k (m²) ditentukan dengan persamaan berikut.

$$L_k = L_t \left(\frac{I_k}{I_t}\right) \quad (17)$$

Selanjutnya volume dari kontaminan melamin tersebut dapat dihitung dengan mengikuti persamaan:

$$V_k = L_k \times h \quad (18)$$

dengan L_k adalah luas kontaminan melamin (m²), L_t adalah luas daerah

yang dipotong pada bagian penampang kontur (m^2), J_k adalah jumlah pixel gambar yang diduga kontaminan melamin, J_l adalah jumlah pixel gambar yang dipotong pada penampang kontur dan V_k adalah volume kontaminan melamin (m^3).

Metodologi

Terdapat dua jenis data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa tiga sampel coring di area X Bontang. Adapun data sekunder berupa data nilai resistivitas dan *chargeability* dari hasil pengukuran geolistrik mapping konfigurasi *Wenner-Schlumberger*.

Pengolahan data primer dilakukan di laboratorium. Alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran nilai resistivitas di laboratorium yaitu: sampel coring, pipa paralon (ukuran 2,5 inci dengan panjang 11 cm), sumber arus, 2 multimeter, jarum (sebagai elektroda), timbangan, dan kabel penghubung. Adapun langkah pengukuran nilai resistivitas dengan merujuk rangkaian pada Gambar 2. Dari pengukuran tersebut akan didapatkan nilai arus dan tegangan dari sampel coring. Selanjutnya dihitung nilai resistivitasnya beserta ketidakpastian dengan menggunakan persamaan (7) dan (8) sehingga diperoleh nilai resistivitas yang sebenarnya.

Data sekunder yang diolah berupa data geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Pengolahan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Res2dinv* untuk memperoleh penampang 2-dimensi yang menunjukkan gambaran batuan lapisan bawah permukaan sepanjang lintasan pengukuran. Selanjutnya dilakukan proses digitasi sehingga didapatkan nilai resistivitas semu pada kedalaman tertentu. Kemudian dari data tersebut diolah kembali menggunakan perangkat lunak *Surfer* yang menghasilkan kontur distribusi nilai resistivitas (penampang secara horizontal) dari setiap kedalaman tertentu.

Data nilai resistivitas yang telah diolah di laboratorium dan di lapangan selanjutnya diinterpretasi untuk memperkirakan jenis batuan dengan merujuk Tabel 1. Luas dan volume kontaminan melamin ditentukan dengan menggunakan persamaan (17) dan persamaan (18).

Hasil dan Pembahasan

Area X Bontang memiliki topografi daerah yang datar, memiliki kemiringan lapisan batuan sekitar 15° dan berada dalam formasi Kampung Baru yang tersusun atas batupasir dengan sisipan lempung, lanau dan serpih dengan sifat lunak dan mudah hancur. Lokasi penelitian, letak sampel coring dan lintasan geolistrik diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Lokasi penelitian, letak sampel coring dan lintasan geolistrik.

Dari Gambar 5, terdapat tiga sampel coring. Sampel coring 1 terletak di line 8 yang diduga sebagai tempat air mengalir, sampel coring 2 terletak di line 2 yang merupakan tempat akumulasi pembuangan limbah melamin dan sampel coring 3 terletak di line 10 yang berada di hutan. Selain itu terdapat sepuluh lintasan geolistrik (tujuh lintasan menggunakan dua puluh empat elektroda dan tiga lintasan menggunakan empat puluh delapan elektroda) dengan jarak antar elektroda yaitu 5 meter.

Hasil Pengolahan data sampel coring berupa nilai resistivitas beserta ketidakpastiannya yang disajikan berturut-turut dalam Tabel 2, 3 dan 4.

Tabel 2. Nilai Resistivitas Sampel Coring 1

Kedalaman (cm)	$\rho \pm \Delta\rho (\Omega \cdot m)$	KTP Relatif
0-50	1058 ± 273,4	25,84%
	35,45 ± 9,334	26,32%
	86,22 ± 30,818	35,74%
	3,3 ± 0,32	9,69%
	16,6 ± 2,97	17,89%
	15,26 ± 1,741	11,4%
50-100	2,64 ± 0,113	4,28%
	34,18 ± 1,215	3,55%
	26,01 ± 0,416	1,60%
	2,95 ± 0,0424	1,43%
100-150	3,19 ± 0,046	1,44%
	5,46 ± 0,079	1,45%
	7,78 ± 0,111	1,41%
	7,32 ± 0,105	1,43%
150-200	7,39 ± 0,106	1,43%
	16,4 ± 0,236	1,43%
	14,22 ± 0,203	1,427%
	14,98 ± 0,214	1,428%
	16,47 ± 0,236	1,433%
	12,07 ± 0,177	1,466%

Tabel 3. Nilai Resistivitas Sampel Coring 2

Kedalaman (cm)	$\rho \pm \Delta\rho (\Omega \cdot m)$	KTP Relatif
0-50	15,96 ± 0,237	1,485%
	7,68 ± 0,121	1,575%
	4,09 ± 0,059	1,442%
	4,63 ± 0,067	1,447%
	10,86 ± 0,265	2,44%
50-100	4,28 ± 0,0612	1,43%
	4,17 ± 0,060	1,439%
100-150	54,75 ± 0,265	0,48%
150-200	8,64 ± 0,123	1,424%
	9,82 ± 0,140	1,426%
	8,74 ± 0,125	1,43%
	15,7 ± 0,23	1,465%

Tabel 4. Nilai Resistivitas Sampel Coring 3

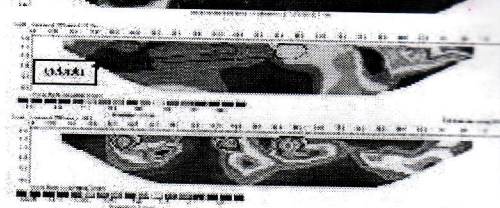
Kedalaman (cm)	$\rho \pm \Delta\rho (\Omega \cdot m)$	KTP Relatif
0-50	57,84 ± 0,940	1,625%
	271,5 ± 4,2766	1,575%
	438,8 ± 1,9197	0,438%
50-100	102,8 ± 1,92	1,868%
	62,87 ± 0,975	1,55%
	118,7 ± 1,76	1,482%
100-150	21,28 ± 0,410	1,927%
	85,79 ± 1,271	1,48%
	336,9 ± 56,5	1,68%
150-200	80,68 ± 1,381	1,712%
	1094,5 ± 24,05	2,198%

Hasil Pengolahan data geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* berupa nilai resistivitas (gambar bagian atas)

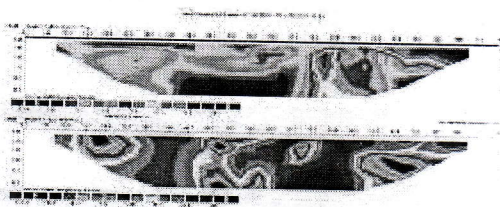
dan nilai *chargeability* (gambar bagian bawah) yang disajikan berturut-turut dalam Gambar 6 s.d 15.



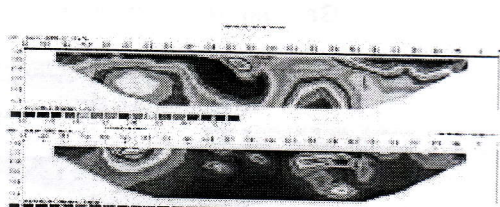
Gambar 6. Lintasan 1



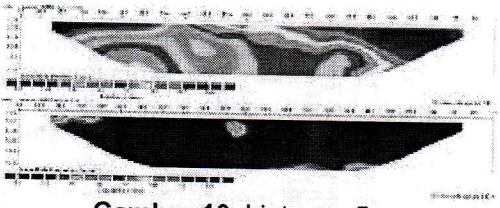
Gambar 7. Lintasan 2



Gambar 8. Lintasan 3

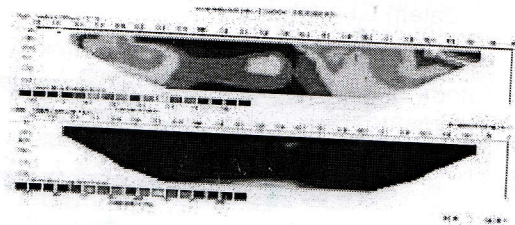


Gambar 9. Lintasan 4

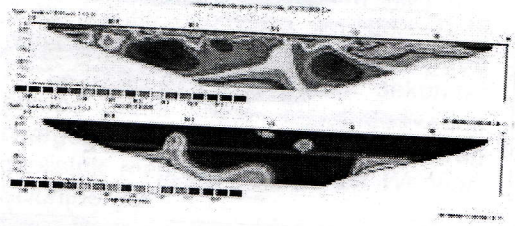


Gambar 10. Lintasan 5

Gambar 11. Lintasan 6



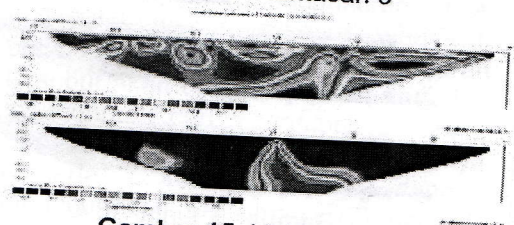
Gambar 12. Lintasan 7



Gambar 13. Lintasan 8



Gambar 14. Lintasan 9



Gambar 15. Lintasan 10

Gambar 6 s.d 12 (lintasan 1 sampai lintasan 7) merupakan lintasan yang terdiri dari dua puluh empat elektroda dengan spasi 5 meter dan kedalaman maksimal yang terukur adalah 15,9 meter. Gambar 13 s.d 15 (lintasan 8 samapi lintasan 10) merupakan lintasan yang terdiri dari empat puluh delapan elektroda dengan spasi 5 meter dan kedalaman maksimal yang terukur adalah 39,4 meter. Kisaran nilai resistivitas dan *chargeability* dari setiap lintasan disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Kisaran Nilai Resitivitas dan Chargeability Setiap Lintasan

Lintasan	Nilai resistivitas (Ω)	Nilai <i>chargeability</i> (msec)
1	1,93 - 172	25,5 - 816

2	1,57 - 1468	0,00236 - 129
3	6,10 - 39,7	0,0536 - 206
4	2,86 - 102	0,0155 - 171
5	3,08 - 55,5	19,0 - 816
6	4,86 - 38,6	0,0534 - 216
7	7,61 - 118	27,3 - 816
8	3,30 - 25,1	7,95 - 829
9	4,55 - 180	35,8 - 810
10	4,03 - 23,7	26,4 - 905

Dari sepuluh lintasan geolistrik, hanya lintasan 2 dan 3 ditemukanya adanya indikasi kontaminan melamin pada titik-titik lintasan dengan acuan nilai resisitvitas dan nilai *chargeability* yang sama-sama rendah. Lintasan 2 terletak di elektroda ke-5 hingga eketroda ke-6 atau pada jarak 20 hingga 25 meter dari titik 0 meter lintasan 2, elektroda ke-10 atau pada jarak 45 meter dari titik 0 meter lintasan 2 dan elektroda ke-14 atau pada jarak 65 meter dari titik 0 meter lintasan 2. Lintasan 3 terletak di elektroda ke-4 dan ke-5 atau pada jarak 15 sampai 20 meter dari titik 0 lintasan 3. Nilai resistivitas dari kontaminan melamin berkisar antara $(7,5 \pm 3,5) \Omega m$. Batuan yang mendominasi adalah lempung, teteapi terdapat pula lanau, lempung pasiran dan batu pasir.

Setelah area yang diduga sebagai kontaminan melamin telah diketahui, selanjutnya dilakukan perhitungan luas dan volume kontaminan melamin melalui persamaan (17) dan (18). Hasil yang diperoleh dari perhitungan luas dan volume kontaminan melamin tertera dalam Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil perhitungan luas kontaminan melamin

Kedalaman (m)	Luas (m ²)	ketidakpastian
permukaan	1218,3	$\pm 6,25$
0,5	1112,9	$\pm 6,25$

Tabel 7. Hasil perhitungan volume kontaminan melamin

Kedalaman (m)	Volume (m ³)	ketidakpastian
0-0,5	609,15	$\pm 3,125$
0,5-1	556,45	$\pm 3,125$
Total	1165,6	$\pm 3,125$

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. a. Luas area yang terkontaminasi di permukaan sebesar $(1218 \pm 6) m^2$;
b. Luas area yang terkontaminasi melamin di kedalaman 0,5 meter sebesar $(1113 \pm 6) m^2$;
2. Volume area yang terkontaminasi melamin sebesar $(1166 \pm 3) m^3$;
3. Nilai resistivitas kontaminan melamin di area penelitian adalah: $(7,5 \pm 3,5) \Omega m$.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemerintahan Kabupaten Kutai Kartanegara yang telah memberikan beasiswa Gerbang Raja.

Daftar Pustaka

- [1] Arbi Yan Sulistyio. 2012. *Pemetaan Sebaran Lindi di Daerah TPA Depok Dengan Menggunakan Metode Resistivity dan IP*. Universitas Indonesia: Depok.
- [2] Hendrawati Alfiana. 2013. *Identifikasi Intrusi Limbah Pertambangan Emas Liar Dengan Menggunakan Metode Geolistrik 3D Studi Kasus Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri*. Semarang: UNS.
- [3] Telford et al. 1990. *Applied Geophysic*. London: Cambridge University Press.
- [4] Ullmann's. 2003. *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6 th Edition. (vol 13).