

APLIKASI METODE GEOLISTRIK UNTUK MENENTUKAN CADANGAN FOSFAT: STUDI KASUS SUKOLILO, PATI JAWA TENGAH

Mohamad Rauf^{1*}, Widya Utama²

¹²Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 6011

e-mail : mrauf70@gmail.com

Abstrak

Berdasarkan hasil penelitian Potensi Bahan Galian Golongan C di Kabupaten Pati Jawa Tengah cadangan fosfat banyak ditemukan di pegunungan sebelah selatan Pati, termasuk dalam satuan geomorfologi Perbukitan Gunung Watukendong – Gunung Gleded tepatnya di tiga kecamatan yaitu : Sukolilo, Kayen dan Tambakromo. Menurut hasil penelitian tersebut perlu dilakukan penelitian lebih detail terhadap bahan galian C yang telah ada dalam rangka inventarisasi secara lebih teliti dari segi teknis dan kelayakan. Penelitian ini dilakukan untuk melanjutkan penelitian terdahulu, adapun metode yang digunakan adalah geolistrik dua dimensi konfigurasi Wenner–Schlumberger dan uji kimiawi. Pemodelan dengan menggunakan Res2Dinv untuk memperoleh kontur tahanan jenis struktur tanah bawah permukaan dan besar cadangan fosfatnya Sedangkan metode uji kimiawi dilakukan untuk menentukan kadar P_2O_5 . Hasil pengukuran dilaboratorium diperoleh harga resistivitas batuan fosfat berkisar 118,49 Ωm hingga 449,37 Ωm sedangkan berdasarkan anomali pada kontur resistivitas hasil inversi Res2Dinv berkisar 94 Ωm hingga 450 Ωm . Pola sebaran batuan fosfat membentuk lapisan – lapisan dalam morfologi gua, yang ditemukan pada kedalaman 2,1 m hingga 9,6 m, dengan volume cadangan 4.069,94 m^3 atau 13.145,9 ton. Dari hasil analisa kimiawi diperoleh kadar P_2O_5 sebesar 10,64 % hingga 29,82 %.

Kata kunci : Geolistrik, konfigurasi Wenner – Schlumberger, resistivitas, fosfat, kadar P_2O_5 .

1. Pendahuluan

Sejak tahun 2006 petani sering terganggu akibat kelangkaan pupuk, sehingga menyebabkan melonjaknya harga pupuk. Salah satu penyebabnya adalah kurang tersedianya bahan baku yaitu fosfat. Fosfat adalah merupakan bahan baku utama pupuk jenis SP-36 dan NPK. Fosfat merupakan sumber utama unsur Kalium dan Nitrogen yang tidak dapat larut dalam air, tetapi dapat diolah untuk memperoleh produk fosfat dengan menambahkan asam. Fosfat disamping bahan baku pupuk super fosfat (SP-36) juga dapat digunakan bahan pupuk alam. Di Indonesia jumlah cadangan fosfat yang telah diselidiki adalah 2,5 juta ton endapan guano (kadar P_2O_5 sebesar 0,17% hingga 43 %). Cadangan fosfat tersebut belum sepenuhnya dieksplorasi karena masih minimnya penelitian yang dapat menunjang kegiatan eksplorasi tersebut.

Fosfat termasuk bahan galian golongan C, berdasarkan hasil penelitian Potensi Bahan Galian Golongan C di Kabupaten Pati Jawa Tengah (Pemetaan Bahan Galian Golongan C Propinsi

Jawa Tengah, 1992) cadangan fosfat banyak ditemukan di pegunungan sebelah selatan Pati, termasuk dalam satuan geomorfologi Perbukitan gunung Watukendong – gunung Gleded tepatnya di tiga kecamatan yaitu : Kecamatan Sukolilo, Kecamatan Kayen, Kecamatan Tambakromo. Menurut hasil penelitian tersebut perlu dilakukan penelitian lebih detail terhadap lokasi – lokasi bahan galian golongan C yang telah ada dalam rangka inventarisasi secara lebih teliti dari segi teknis dan kelayakan.

Metode yang digunakan pada penelitian ini geolistik - resistivitas 2D dengan konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger, yang bertujuan untuk survei awal sebelum dilakukan eksplorasi lebih lanjut terhadap fosfat. Dengan menggunakan metode resistivitas 2D akan diperoleh informasi tentang nilai resistivitas bawah permukaan secara lateral dan secara vertikal.

2. Tinjauan pustaka

2.1. Fosfat

Fosfat adalah unsur dalam suatu batuan beku (apatit) atau sedimen dengan kandungan fosfor ekonomis. Biasanya kandungan fosfor dinyatakan sebagai *bone phosphate of lime* (BPL) atau berdasarkan kandungan P_2O_5 . Fosfat apatit termasuk fosfat primer karena gugusan oksida fosfatnya terdapat dalam mineral apatit ($Ca_{10}(PO_4)_6, F_2$) yang terbentuk selama pembekuan magma. Kadang – kadang endapan fosfat berasosiasi dengan batuan beku alkali kompleks, terutama karbonit kompleks dan sianit. Fosfat komersial dari mineral apatit adalah Kalsium fluo – fosfat dan sebagian kecil wavelite. Sumber lain dalam jumlah sedikit berasal dari slag, guano, crandalite ($Ca Al_3 (PO_4)_2 (OH)_5, H_2O$) dan millisite ($Na,K, Ca Al_6 (PO_4)_4, 3H_2O$). Sifat yang dimiliki adalah berwarna putih atau putih kehijauan, hijau, dengan berat jenis 2,81 – 3,23 gr/cc dan kekerasan 5 H.

2.2. Resistivitas Batuan

Batuan mempunyai sifat-sifat kelistrikan. Sifat listrik batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat terjadi ketidakseimbangan atau arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya. Potensial listrik alam dikelompokkan menjadi 4 yaitu, potensial elektrokinetik, potensial difusi, potensial nerst, potensial meneralisasi. Sedangkan konduktivitas listrik batuan dikelompokkan menjadi 3 (Lilik H, 1990), yaitu, konduksi elektronik, konduksi elektrolitik dan konduksi dielektrik.

2.3 Potensial dalam medium homogen

Suatu medium homogen isotropis yang dialiri arus listrik searah I (karena diberi medan listrik E), maka persamaan Laplace dalam bentuk potensial harmonik :

$$\nabla^2 V = 0 \dots\dots\dots(1)$$

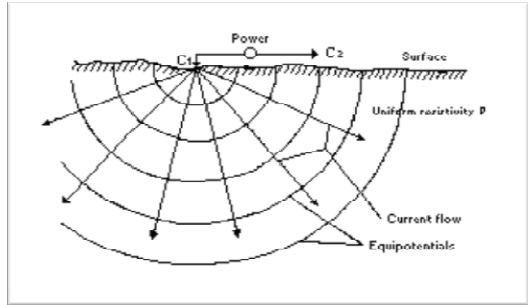
Dalam koordinat bola, operator Laplacian berbentuk :

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right] + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \dots\dots(2)$$

Karena Asumsi bumi bersifat homogen isotropis, maka persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi :

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Jika satu elektroda arus diletakkan di permukaan bumi (Gambar 2) dan udara di atasnya dianggap mempunyai konduktivitas nol ($\sigma = 0$).

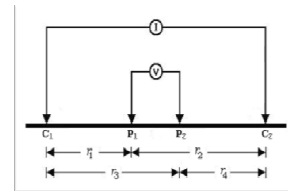


Gambar 1. Sumber arus berupa titik pada permukaan medium homogen (Telford et al., 1990).

Maka potensialnya sebesar :

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \dots\dots\dots(4)$$

Apabila terdapat dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang dibuat dengan jarak tertentu seperti Gambar 3, elektroda potensial pada titik-titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut.



Gambar 2. Dua pasang elektroda arus dan potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan tahanan jenis ρ (Telford et al., 1990).

Maka beda potensial antara P1 dan P2 dapat ditulis sebagai,

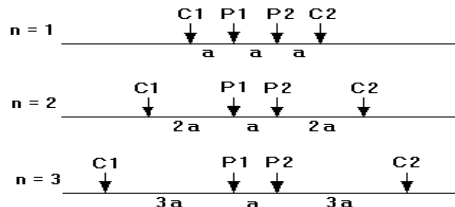
$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \dots\dots(5)$$

Konfigurasi dengan empat elektroda inilah yang biasanya digunakan dalam pekerjaan survei geolistrik tahanan jenis di lapangan.

2.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi ini merupakan gabungan antara konfigurasi Wenner dan konfigurasi Schlumberger. Menurut Sumanovac F. dkk (2007), Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* mempunyai penetrasi

maksimum hingga kedalaman 90 meter sedangkan konfigurasi Wenner hanya mencapai 80 m. Variabel n merupakan kelipatan untuk menunjukkan tingkat lapisan yang teramati.



Gambar 3. Pengukuran Resistivitas 2D dengan Konfigurasi Elektroda Wenner-Schlumberger (Goetomo, 2007)

Faktor geometri dari konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger adalah :

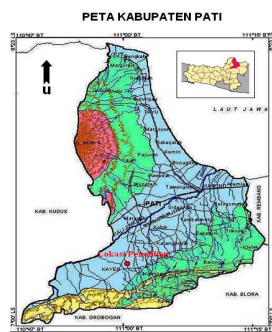
$$K_{W-S} = \pi r(r + 1)a \dots\dots\dots(6)$$

Dimana a adalah jarak antara elektroda P1 dan P2, serta r adalah perbandingan antara jarak elektroda C1 – P1 dengan P1 – P2. Nilai resistivitas semu dirumuskan :

$$\rho_{W-S} = K_{W-S} R \dots\dots\dots(7)$$

3. Lokasi daerah penelitian

Secara geografi Pati terletak pada koordinat 110° 30' Bujur Timur (batas sebelah barat), 111° 15' Bujur Timur (batas sebelah timur), 6° 25' Lintang Selatan (batas sebelah utara), 7° 00' Lintang Selatan (Batas Sebelah Selatan).



Gambar 4. Lokasi penelitian Kecamatan Kayen BKP Sukolilo Kabupaten Pati

Lokasi penelitian berada di Petak 35 dukuh Lemahabang Desa Sumpersari, Kecamatan Kayen, Kabupaten Pati. Dukuh Lemahabang terletak di Pati bagian selatan dalam satuan perbukitan Gunung Watukendong – Gunung Gledek, dengan ketinggian 162 m hingga 200 m di

atas permukaan laut. Luas area penelitian 20.000 m³ yang terdiri dari lereng – lereng perbukitan dengan kemiringan 22°.

4. Geologi Daerah Penelitian

Wilayah Kabupaten Pati Jawa Tengah secara stratigrafi regional termasuk dalam Mandala Rembang dan Mandala Gunung Muria. Mandala Rembang tersusun oleh 12 (dua belas) Formasi Batuan yang berumur dari Oligosen hingga Plistosen. Adapun urutan formasi tersebut adalah : Formasi Ngimbang, Formasi Kujung, Formasi Prupuh, Formasi Tuban, Formasi Bulu, Formasi Tawun, Formasi Wonocolo, Formasi Ledok, Formasi Mundu, Formasi Lidah (Harsono, 1983). Pada Formasi Kujung mempunyai ketebalan 6000 m diendapkan pada laut terbuka. Formasi ini tersingkap di sepanjang antiklin Kujung pada ketinggian Tuban. Bagian bawah tersusun oleh napal dan lempung napalan dengan sisipan batu gamping bioklastik. Bagian atas formasi ini tersusun oleh batu lempung dan batu lempung napalan dengan sisipan *splintery limestone*. Formasi ini berpotensi sebagai penghasil bahan galian golongan C jenis kapur dan Fosfat sedimenter.

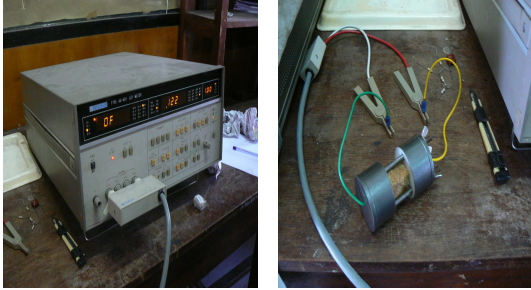
Secara morfologi daerah penelitian termasuk satuan perbukitan yang terhampar di bagian selatan wilayah kabupaten Pati, sampai di perbatasan dengan daerah kabupaten Grobogan dan Kabupaten Blora. Morfologi ini menempati bagian menempati bagian daerah kecamatan : Sukolilo, Kayen, Tambakromo, Winong, Pucakwangi dan Jakenan.

Batuan penyusun morfologi adalah batu gamping, batu gamping pasiran, dan batu lempung. Keseluruhan batuan tersebut mengalami pelipatan. Daerah penelitian ini merupakan daerah kars, yang sebagian besar terdiri dari batu Gamping.

5. Prosedur kerja

Untuk mendapatkan gambaran struktur pelapisan bawah permukaan bumi dilakukan eksplorasi Geofisika dengan metode Resistivitas Wenner – Schlumberger dengan teknis pelaksanaan dibagi dua bagian yaitu :

1. Pengambilan data Resistivitas sampel batuan dan uji kadar P₂O₅ di laboratorium
 2. Pengambilan data resistivitas di lapangan.
- Sampel batuan sebanyak 10 buah diamabil dari petak 36 yang jaraknya sekitar 600 m dari lokasi penelitian. Alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistivitas sampel batuan adalah RCL–Meter. Sampel tersebut terlebih dahulu dibuat bentuk balok supaya dapat diukur luas penampang dan panjangnya.



Gambar 5. Pengukuran nilai Resistivitas sampel batuan dengan RCL – Meter

Analisa kimiawi menggunakan metode spektroskopi di Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA ITS oleh tenaga laboran untuk mendapatkan besarnya kandungan Fosfat khususnya P_2O_5 dalam satuan % berat, Pengambilan data di lapangan sebanyak 7 lintasan yang terdiri dari 1 lintasan referensi yang diambil pada lokasi petak 36 yang sudah dieksplorasi sedangkan 6 lintasan yang lain diambil pada petak 35 yang belum dieksplorasi. Metode yang digunakan geolistrik resistivitas *mapping* konfigurasi *Wenner-Schlumberger* dengan alat *Resistivitymeter Campus Tigre*. Data dilapangan yang berupa resistivitas semu selanjutnya diolah dengan *Software Res2Dinv*.

6. Hasil

Hasil pengukuran nilai resistivitas sample dan uji kadar kimiawi batuan di laboratorium dapat lihat pada tabel 1. di bawah ini. Dari tabel dibawah dapat dilihat bahwa nilai resistivitas sampel batuan fosfat sebesar 207,40 Ωm hingga 449,37 Ωm dengan kadar P_2O_5 sebesar 10,64 % hingga 29,82 %. Untuk batuan gamping terukur nilai resistivitasnya 564,99 Ωm hingga 4529,77 Ωm .

Tabel 1. Hasil Pengukuran Resistivitas Sampel Batuan

Sampel Batuan	A (m^2)	L (m)	R (Ω)	ρ (Ωm)	Kadar P_2O_5 (%)
Sampel 1	0.002310	0.054	7301	312.32	29,82
Sampel 2	0.001764	0.049	5761	207.40	22.54
Sampel 3	0.001936	0.067	11640	336.34	23.14
Sampel 4	0.001333	0.026	8765	449.37	10.64
Sampel 5	0.001120	0.044	4655	118.49	-
Sampel 6	0.001911	0.046	13600	564.99	-
Sampel 7	0.000890	0.025	28180	1003.21	-
Sampel 8	0.000999	0.020	33500	1673.33	-
Sampel 9	0.001824	0.050	101300	3695.42	-
Sampel 10	0.001155	0.032	125500	4529.77	-

Pengolahan data lapangan untuk lintasan referensi menunjukkan letak anomali rendah berada pada kedalaman 1m hingga 9,6 m dengan nilai resistivitas 190 Ωm hingga 500 Ωm (gambar 6) anomali ini diinterpretasikan sebagai batuan fosfat. Pada lintasan referensi ini batuan fosfat ditemukan membentuk lapisan-lapisan pada morfologi gua dengan batuan dasarnya yang berasosiasi dengan batu gamping. Sedangkan anomali tinggi memiliki nilai resistivitas 1599 Ωm hingga 5406 Ωm , yang diinterpretasikan sebagai batu gamping. Menurut literatur harga resistivitas batu gamping (*limestone*) berkisar antara 50 Ωm hingga 10⁷ Ωm .

Pada penampang kontur 2-D lintasan 1, lintasan 3, lintasan 4, lintasan 5, lintasan 6 dan lintasan 7 yang berlokasi di Petak 35 memiliki anomali rendah dengan resistivitas berkisar 94 Ωm hingga 450 Ωm . Anomali tersebut diinterpretasi sebagai batuan fosfat pada area penelitian. Anomali tersebut ditemukan pada kedalaman 2,1 m hingga 9,6 m yang berupa lapisan-lapisan dalam morfologi gua. Anomali tinggi mempunyai nilai resistivitas berkisar 1000 Ωm hingga 8000 Ωm , diinterpretasikan sebagai batu gamping. Hal ini diperkuat oleh pengukuran pada lintasan referensi dan pengukuran sampel batuan pada laboratorium. Secara geologi area penelitian adalah daerah kars sehingga keberadaan batu gamping mudah ditemukan. Deposit batu gamping ditemukan pada perbukitan gunung Watukendong sampai gunung Gledek yang secara stratigrafi termasuk dalam formasi Paciran dan formasi Mundu.

Persebaran batuan fosfat diperoleh dengan mengkorelasi penampang kontur resistivitas tiap-tiap lintasan sehingga diperoleh pemodelan persebaran batuan fosfat (gambar 13). Dari pemodelan tersebut diperoleh dua buah persebaran batuan fosfat pada area penelitian, Persebaran pertama dapat kita lihat pada penampang lintasan 1 dan lintasan 3, kedua lintasan tersebut mempunyai korelasi batuan fosfat yang saling menghubungkan dengan arah korelasi ke Timur, dengan panjang sebaran 77 m dan luas penampang 20,6 m^2 . Pesebaran yang kedua berada pada lintasan 4, lintasan 5, lintasan 6 dan lintasan 7 dengan arah sebaran ke Timur laut, dengan panjang sebaran 51 m dan luas penampangnya 48,5 m^2 .

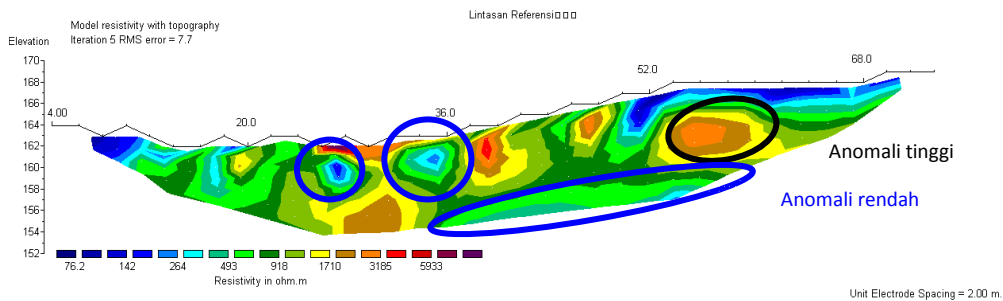
Untuk menentukan pendugaan cadangan fosfat caranya adalah dengan menghitung luas penampang batuan fosfat pada hasil *software Res2Dinv* berdasarkan nilai resistivitas dan perkiraan labarnya yang diperoleh dengan mempertimbangkan keberadaan batuan dilintasan lainnya dengan cara korelasi antar lintasan. Adapun cadangan hipotetik batuan fosfat pada area penelitian Petak 35 dengan cadangan

1 sebesar 1.591,98 m³ dan cadangan 2 sebesar 2.477,97 m³. Total cadangan hipotetik sebesar 4.069,94 m³. Jika berat jenis batuan fosfat diasumsikan 3,23 gram/cc maka total cadangan hipotetik fosfat di area penelitian adalah 13.145,9 ton dengan rincian cadangan 1 sebesar 5.142,1 ton dan cadangan 2 sebesar 8.003,8 ton.

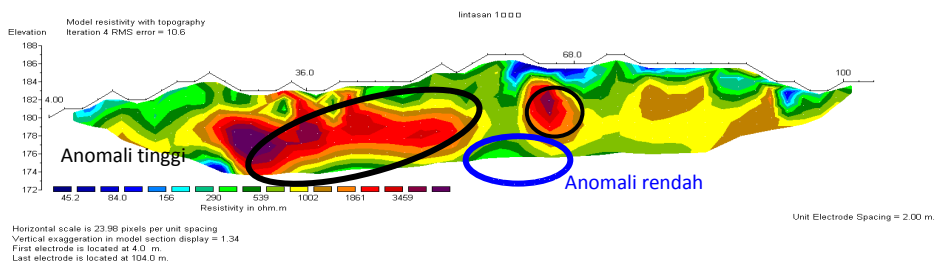
7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini adalah :

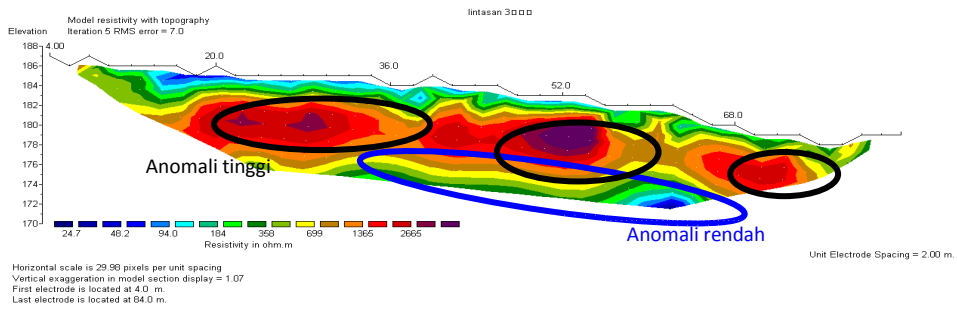
1. Harga resistivitas batuan fosfat berdasarkan hasil pengukuran di laboratorium adalah 118,49 Ωm hingga 449,37 Ωm. Sedangkan berdasarkan anomali resistivitas sebesar 94 Ωm hingga 450Ωm.
2. Struktur batuan utama pada area penelitian yaitu di Petak 35 Lemahabang Desa Sumpersari Kawasan hutan Sukolilo Pati adalah batuan gamping (*limestone*).
3. Pada area penelitian ditemukan 2 buah sebaran batuan fosfat. Sebaran pertama memotong lintasan 1 dan lintasan 3, sebaran kedua memotong lintasan 4, lintasan 5, lintasan 6 dan lintasan 7. Pola sebaran batuan fosfat tersebut membentuk lapisan-lapisan dalam morfologi gua, pada kedalaman 2,1 m hingga 9,6 m.
4. Besarnya cadangan hipotetik batuan fosfat di area penelitian sebesar 13.145,9 ton dengan rincian, sebaran pertama sebesar 5.142,1 ton dan sebaran kedua sebesar 8.003,8 ton.
5. Hasil analisa kimiawi batuan fosfat diperoleh kandungan P₂O₅ sebesar 10,64 % hingga 29,82 %.



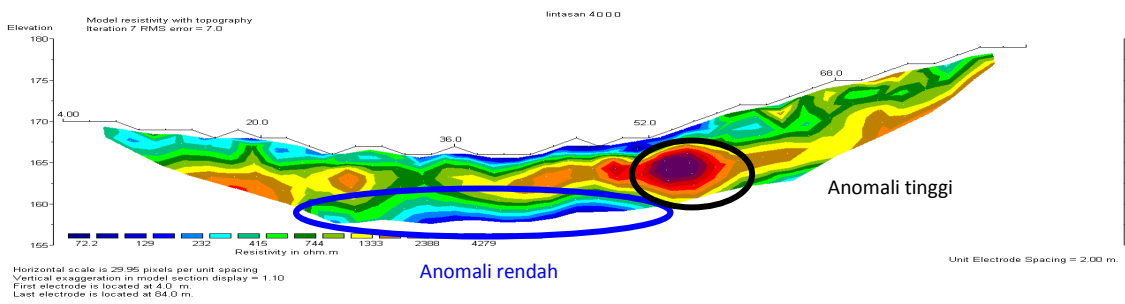
Gambar 6. Pemodelan lintasan referensi dengan topografi



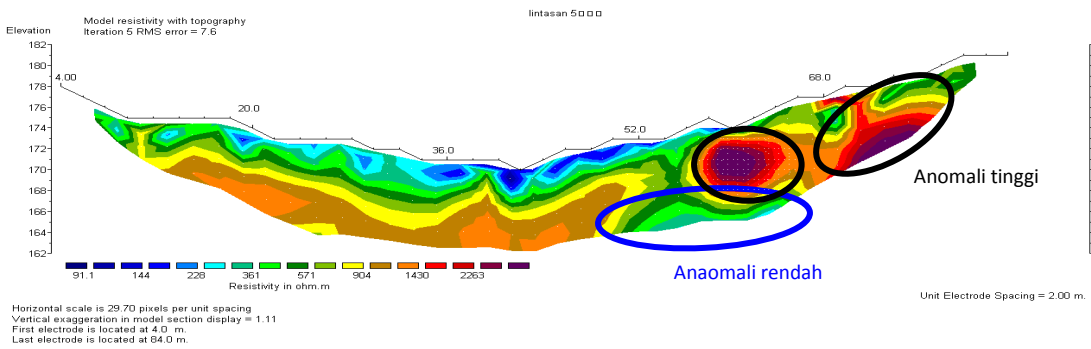
Gambar 7. Pemodelan lintasan 1 dengan topografi



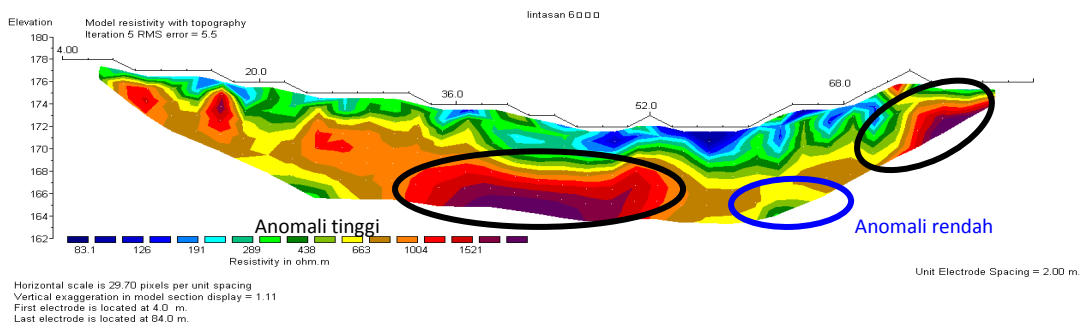
Gambar 8. Pemodelan lintasan 3 dengan menyertakan topografi



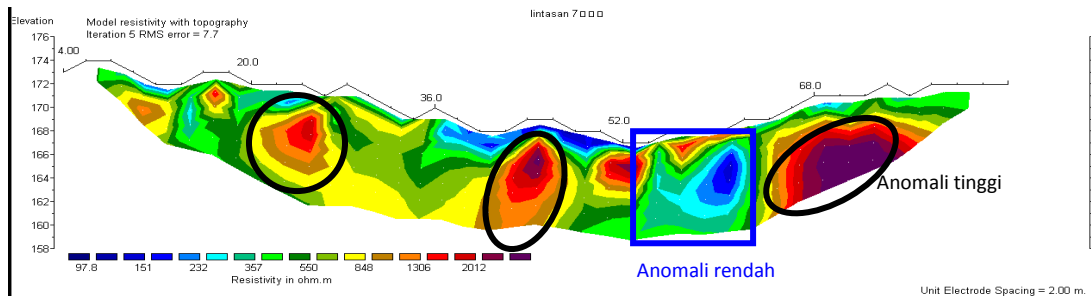
Gambar 9. Pemodelan lintasan 4 dengan menyertakan topografi



Gambar 10. Pemodelan lintasan 5 dengan menyertakan topografi

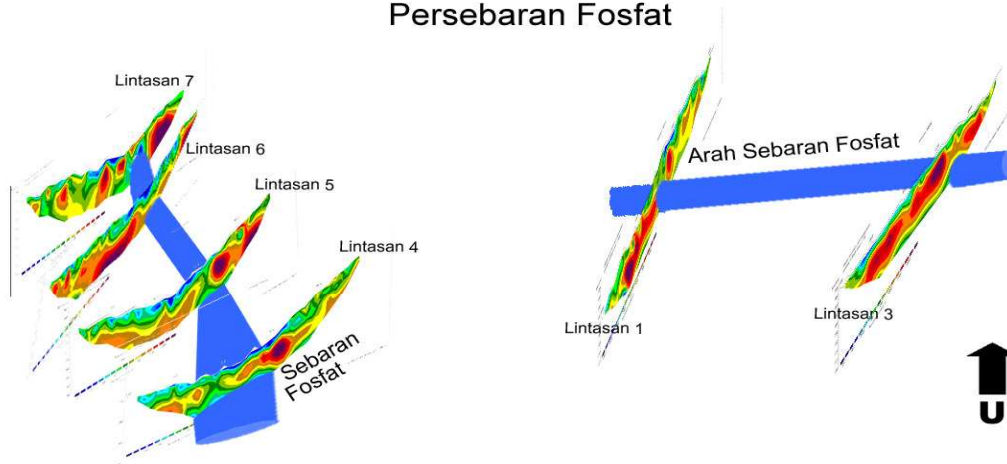


Gambar 11. Pemodelan lintasan 6 dengan menyertakan topografi



Gambar 12. Pemodelan lintasan 7 dengan menyertakan topografi

Persebaran Fosfat



Gambar 13. Pemodelan penyebaran batuan fosfat

8. Daftar pustaka

Campus International Product Ltd (1999), *Geopulse Tiger Resistivity-meter User's Manual*, 17-19 Taylor Street Luton Bedfordshire, England.

Dinas Pertambangan Jawa Tengah, (1992), *Potensi Bahan Galian Golongan C Di Kabupaten Pati*, Proyek Pemetaan Bahan Galian Golongan C Propinsi Dati I Jawa Tengah, Semarang.

Emmons, Thiel, Stauffer, Allisson, (1955) *Geology Principles and Processes*, MC Graw – Hill Book Company. INC, New York.

Fetter, C.W. 1988. *Position of The Saline Water Interface Beneath Oceanic*, Water Resources

Research

Harsono – Pringgopawiro, (1983), *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara Suatu Pendekatan Baru*, Disertasi Doktor, ITB Bandung.

Hendrajaya, L. dan Arif, L. (1990), *Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi : Metoda Eksplorasi*, Laboratorium Fisika Bumi, Institut Teknologi Bandung.

Loke, M.H. and Barker, R.D., (1996), *Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosection by A Quasi-Newton Method*, Geophysical Prospecting, 44, 131-152.

Menke, W., (1984), *Geophysical Data*

Analysis : *Discrete Inverse Theory*,
Academic Press. Inc., Orlando-Florida.

Pettijohn, F.J. (1957), *Sedimentary Rock Second Edition*, Printed In The United State Of America.

Robert, L.S and Raymond, J.K., (1978) *Special Report 176, Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board*, National

Academy of Science, Washington D.C.

Roynold J. M., (1997), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Ltd., New York.

Telford, W.M, Geldart, L.P., (1990) *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London.