

Terapan *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* dan *Seismic Refraction Tomography (SRT)* pada Area Tambang Batubara Terbuka PT. MHU Kalimantan Timur

Piter Lepong^{1,*}, Wahidah², Asmaidi³

¹Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Mulawarman: Barong Tongkok No. 4, Samarinda, 75123, Kalimantan Timur, Indonesia

²Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Mulawarman: Barong Tongkok No. 4, Samarinda, 75123, Kalimantan Timur, Indonesia

³Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Mulawarman: Barong Tongkok No. 4, Samarinda, 75123, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail korespondensi: pit.lepong@gmail.com

Abstract

Loa Gagak sub-block operated PT MHU is known to have discontinuous coal seam which is interpreted to be the results of wash-out. Moreover, mapping the hard and soft material area seems to be very challenging. Thus, an ERT survey has been conducted using Wenner and Dipole-Dipole configuration with 9 lines each, 235 meters length, and up to 40 meters depth of penetration. The main objective of this study is to delineate the lithology including the coal seam based on the resistivity value on every line of the measurements. The results of ERT survey are displayed in resistivity section as a result of inversion on each line with two configurations. The result of Dipole-Dipole configuration is able to image the North-East trend of coal continuity while Wenner configuration could image the upright stratigraphy trend. Though these two configurations confirms coal seam with NE-SW trend, the results of resistivity imaging need to be optimized using other configurations in order to be able to increase the accuracy by correlating them with other geological data.

Furthermore, the ERT method has not been able to determine the boundaries of swamp deposits clearly. Another method is needed to identify swamp material so that it can map the thickness and the depth of both soft and the hard material. The SRT method seems to be able to image the hardness of the rock based on P-wave velocity based on 3 trial lines.

Keywords: coal, ERT, Wenner, Dipole-Dipole, SRT

PENDAHULUAN

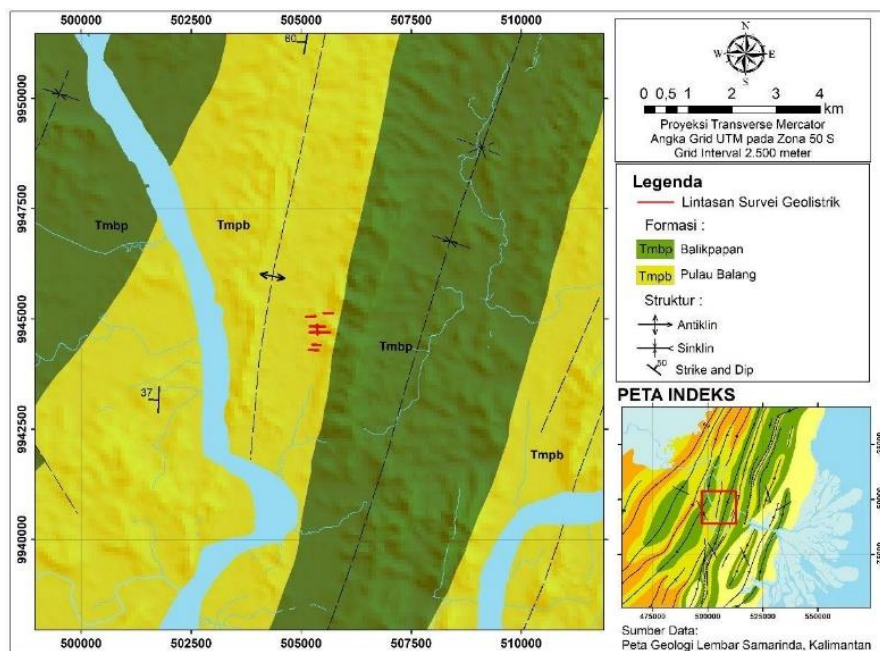
Berdasarkan hasil diskusi dengan geologist MHU menyatakan bahwa salah satu kondisi riil lapangan di area PT.MHU sub-block Loa Gagak adalah seam batubara yang tidak menerus yang kemungkinan terjadi karena proses *wash-out*. Selain itu terdapat kendala dalam memetakan area material lunak dan keras. Untuk itu telah dilakukan survey ERT

dengan menggunakan konfigurasi Wenner dan Dipole-Dipole. Tujuannya adalah untuk menafsirkan litologi batuan serta batubara berdasarkan nilai resistivitas (ohm.m) pada setiap lintasan pengukuran sehingga bisa menentukan arah kemenerusan seam batubara. Namun, karena metode ERT kurang optimal dalam menentukan batas endapan rawa antara material keras dan lunak, sehingga dilakukan uji coba metode seismik refraksi (SRT) yang diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat kekerasan batuan berdasarkan nilai kecepatan gelombang P.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Geologi Regional

Lokasi survei dalam peta geologi regional termasuk dalam lembar Samarinda. Litostratigrafi daerah survey merupakan batuan yang berumur tersier dan sebagian kecil ada yang tertutupi dengan lapisan alluvium. Satuan batuan yang dikelompokkan dalam formasi batuan sesuai dengan umur batuan dan memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Menurut Supriatna, S., Sukardi, E. Rustandi (1995) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, batuan yang tersingkap di Cekungan Kutai dari tertua sampai yang termuda adalah Formasi Pamaluan, Formasi Bebuluh, Formasi Pulau Balang, Formasi Balikpapan, Formasi Kampung Baru dan Alluvium. Gambar 2 memperlihatkan lokasi pengamatan pada formasi Pulau Balang dan Balikpapan sebagai berikut:



Gambar 1. Geologi Regional Lokasi Pengamatan Geolistrik

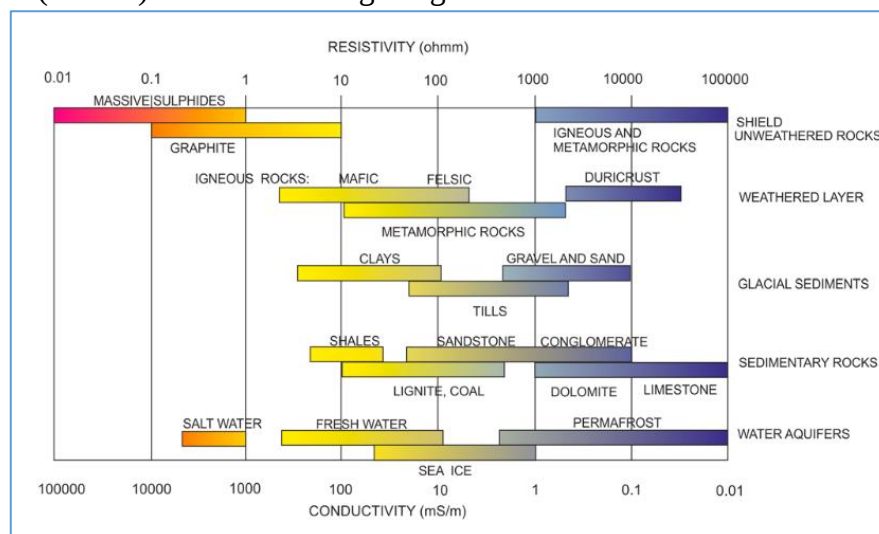
Formasi Pulau Balang (Tmptb) memiliki jenis batuan (litologi) berupa perselingan batupasir *greywacke* dan batupasir kuarsa sisipan batugamping, batulempung, batubara, dan tuf dasit. Batupasir *greywacke* berwarna kelabu kehijauan, padat, tebal lapisan antara 50 cm sampai dengan 100 cm. Batupasir kuarsa berwarna kelabu kemerahan, setempat tufan dan gampingan tebal lapisan 15 cm sampai dengan 60 cm. Batugamping berwarna coklat muda kekuningan, mengandung foraminifera besar.

Batugamping ini terdapat sebagai sisipan atau lensa dalam batupasir kuarsa, ketebalan lapisan 10 cm sampai dengan 40 cm. Batulempung berwarna kelabu kehitaman dengan tebal lapisan 1 m sampai dengan 2 cm. Setempat berselingan dengan batubara, tebal ada yang mencapai 4 m.

Formasi Balikpapan (Tmbp) memiliki jenis batuan (litologi) berupa perselingan batupasir dan batulempung sisipan batulanau, serpih, batugamping dan batubara. Batupasir kuarsa, putih kekuningan, tebal 1 m sampai dengan 3 m, disisipi lapisan batubara, tebal 5 cm sampai dengan 10 cm. Batupasir gampingan, coklat, berstruktur sedimen lapisan sejajar dan silang siur, tebal lapisan 20 cm sampai dengan 40 cm, mengandung foraminifera kecil disisipi lapisan tipis karbon. Batulempung, kelabu kehitaman setempat mengandung sisa tumbuhan, oksida besi yang mengisi rekahan-rekahan setempat mengandung lensa Batupasir gampingan. Batulanau Gampingan, berlapis tipis, serpih kecoklatan, berlapis tipis.

2. *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*

Electrical Resistivity Tomography (ERT) merupakan metode geofisika yang digunakan untuk mengukur resistivitas batuan bawah permukaan. Metoda ini menggunakan sumber arus (transmitter) yang diinjeksikan kedalam tanah melalui dua buah elektroda arus yang diberi notasi A B kemudian beda potensial tegangan diukur di permukaan dengan dua elektroda penerima (receiver) yang diberi notasi M N. Besarnya beda potensial diantara kedua elektroda tersebut selain tergantung pada besarnya sumber arus yang digunakan juga tergantung pada jarak antar elektroda. Resistivitas yang terukur bukanlah resistivitas sebenarnya (true resistivity) melainkan resistivitas semu (apparent resistivity). Dengan menggunakan Software RES2DINV data pengukuran lapangan dapat diolah menjadi penampang dengan Citra 2D yang memberikan citra nilai resistivitas secara horizontal dan vertikal. Umumnya nilai resistivitas berubah dari kecil ke besar jika terjadi penurunan kandungan air dalam material tanah. Nilai resistivitas akan berkurang dengan bertambahnya kandungan air dalam tanah. Nilai resistivitas tanah yang diukur dalam ohm-meters (Ω -m), merupakan fungsi dari porositas, permeabilitas, saturasi air dan zat-zat terlarut yang terdapat dalam pori fluida dalam batuan. Berikut adalah acuan umum nilai resistivitas (ohm.m) untuk material geologi :

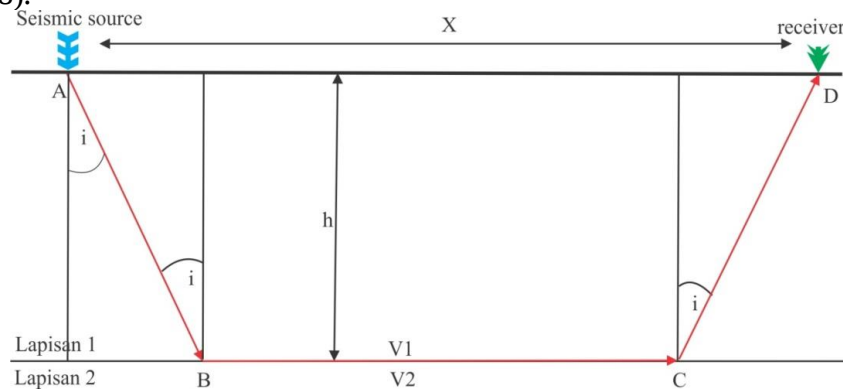


Gambar 2. Nilai acuan resistivitas (ohm.m) berbagai batuan

3. Seismic Refraction Tomography (SRT)

Seismic Refraction Tomography (SRT) merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau elastik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi. Metode ini digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai keadaan struktur geologi bawah permukaan. Metode ini didasarkan pada sifat penjalaran gelombang yang mengalami bias dengan sudut kritis dalam perambatannya, gelombang tersebut melalui bidang batas yang memisahkan suatu lapisan dengan lapisan yang lain di bawahnya, yang mempunyai kecepatan gelombang lebih besar (Listiyani, 2006).

Metode seismik refraksi menerapkan waktu tiba gelombang primer pertama dalam perhitungannya. Gelombang primer memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan gelombang S sehingga waktu datang gelombang primer yang digunakan dalam perhitungan. Gelombang seismik refraksi yang dapat terekam oleh *receiver* pada permukaan bumi hanyalah gelombang seismik refraksi yang merambat pada batas antar lapisan batuan. Hal ini hanya dapat terjadi jika sudut datang merupakan sudut kritis atau ketika sudut bias tegak lurus dengan garis normal ($r = 90^\circ$ sehingga $\sin r = 1$). Dan hal ini sesuai dengan asumsi diawal bahwa kecepatan lapisan dibawah *interface* lebih besar dibandingkan dengan kecepatan di atas *interface* (Setiawan, 2008).



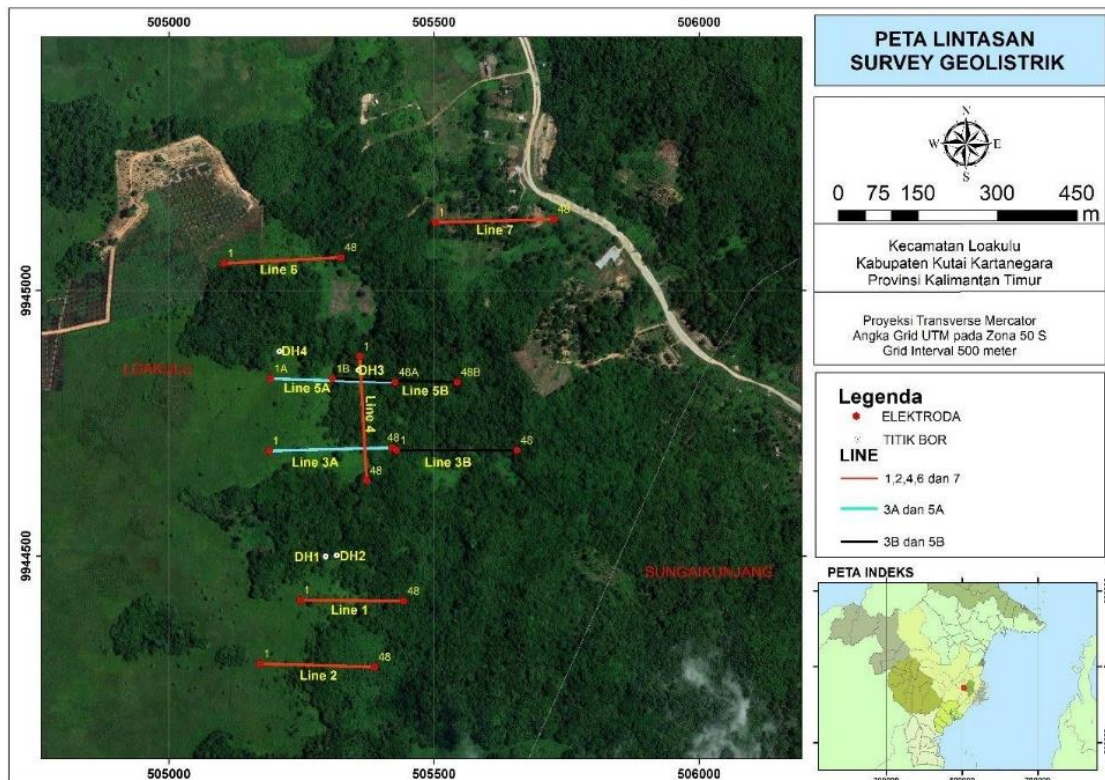
Gambar 3 Lintasan penjalaran gelombang bias (Prabowo, 2016)

Dalam semua survei seismik refraksi sumber energi digunakan untuk menghasilkan gelombang kejut di dekat permukaan tanah. Dalam survei rekayasa geoteknik hanya gelombang *first arrival* (gelombang kompresi) tercepat yang terdeteksi dan waktu tibanya meningkat pada jarak dari sumber *geophone*. Dari perhitungan berdasarkan data *time-distance* ini memungkinkan untuk mendapatkan informasi pada ketebalan berbagai batuan dan lapisan tanah, dan juga kecepatan gelombang seismik dari lapisan ini. Untuk menghubungkan kecepatan gelombang primer ada jenis material, material yang lebih padat memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari pada material yang lebih lunak dan lembut (Firnanza, 2017). Kedalaman lapisan batuan dapat ditentukan dengan menggunakan dua cara yaitu berdasarkan waktu penggal (*intercept time* (t_i)) dan berdasarkan jarak kritis (x_o) (Prabowo, 2016).

METODE PENELITIAN

Survei ERT diukur pada sembilan lintasan dengan panjang masing-masing lintasan adalah 235 meter. Jumlah elektroda yang digunakan adalah 48 dengan spasi 5 meter, menggunakan dua konfigurasi yakni Dipole-Dipole dan konfigurasi Wenner pada setiap lintasan. Pemilihan kedua konfigurasi ini untuk menghasilkan citra perbandingan resistivitas yang dapat merepresentasi

kondisi geologi lapangan. Gambar 4 di bawah ini adalah peta yang memperlihatkan posisi lintasan geolistrik yang arahnya dominan Timur-Barat yang kurang lebih tegak lurus dengan arah strike seam batubara. Selain itu, pengukuran SRT dilakukan pada tiga lintasan. Prinsip kerja pengukurannya yaitu 2 gulung kabel *geophone* dipasang sesuai dengan spasi yang telah ditentukan. Setelah itu kabel *geophone*, GPS, laptop, kabel *trigger* dan aki dihubungkan ke *seismograph* DAQlink III, selanjutnya dilakukan input data untuk pengaturan laptop dengan *seismograph* DAQlink III. Kemudian *seismograph* DAQlink III mendeteksi tiap-tiap *geophone* yang terpasang dan selanjutnya siap melakukan *shot* pengambilan data dengan palu. Data yang terekam akan langsung tersimpan di laptop pada *software* *vibroscope*.



Gambar 4. Peta Lintasan Penyelidikan Geolistrik PT.MHU Loa Gagak

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil dan Pembahasan Data Metode ERT

Pada setiap lintasan dilakukan pengukuran geolistrik sebanyak dua konfigurasi. Koordinat setiap lintasan dan panjang bentang geolistrik ditunjukkan dalam Table 1 di bawah. Koordinat menggunakan datum WGS84 zona 50M Selatan Equator.

Tabel 1. Posisi Titik Koordinat Awal dan Akhir pada Setiap Lintasan

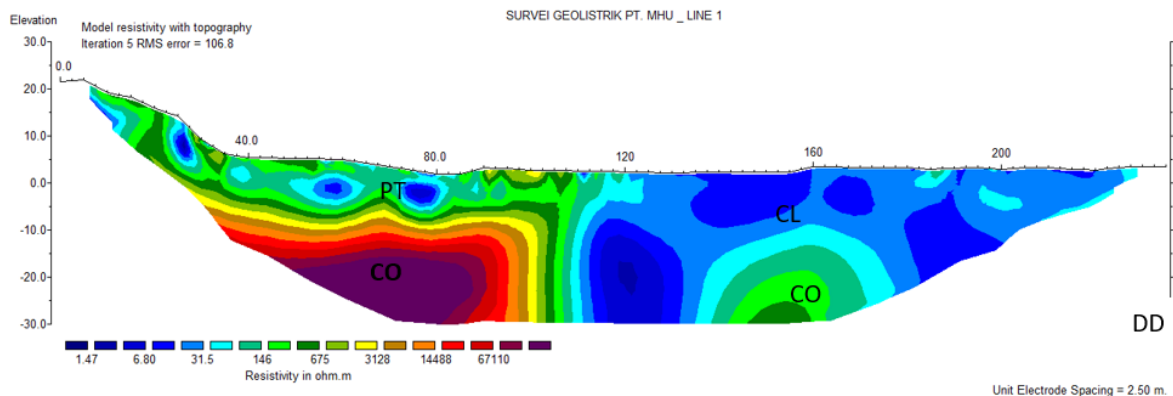
Lintasan	Koordinat Awal dan Akhir Lintasan	Spasi Elektroda	Panjang (m)
Lintasan 1	Awal : 505248 9944417 Akhir : 505443 9944415	5 Meter	235
Lintasan 2	Awal : 505172 9944297 Akhir : 505389 9944291	5 Meter	235
Lintasan 3A	Awal : 505429 9944699 Akhir : 505657 9944699	5 Meter	235
Lintasan 3B	Awal : 505189 9944698 Akhir : 505422 9944704	5 Meter	235
Lintasan 4 cross	Awal : 505360 9944876 Akhir : 505373 9944642	5 Meter	235
Lintasan 5A	Awal : 505192 9944834 Akhir : 505427 9944827	5 Meter	235
Lintasan 5B	Awal : 505309 9944834 Akhir : 505544 9944827	5 Meter	235
Lintasan 6	Awal : 505104 9945051 Akhir : 505325 9945062	5 Meter	235
Lintasan 7	Awal : 505502 9945128 Akhir : 505727 9945134	5 Meter	235
TOTAL LINTASAN			2115 meter

Lintasan 1

Pada lintasan 1 terdapat lahan terbuka dan lahan yang masih hutan, dimana lahan hutan berada pada elektorda 1 (0 m) sampai elektroda 21 (100 m) sedangkan lahan terbuka berada pada elektroda 22 (105 m) sampai elektroda 48 (235 m). Pada lintasan 1 juga terdapat kolam air yang lebarnya kira-kira 4 meter. Kolam tersebut dilewati oleh lintasan geolistrik pada elektroda 28 (135 m) dan 29 (140 m).

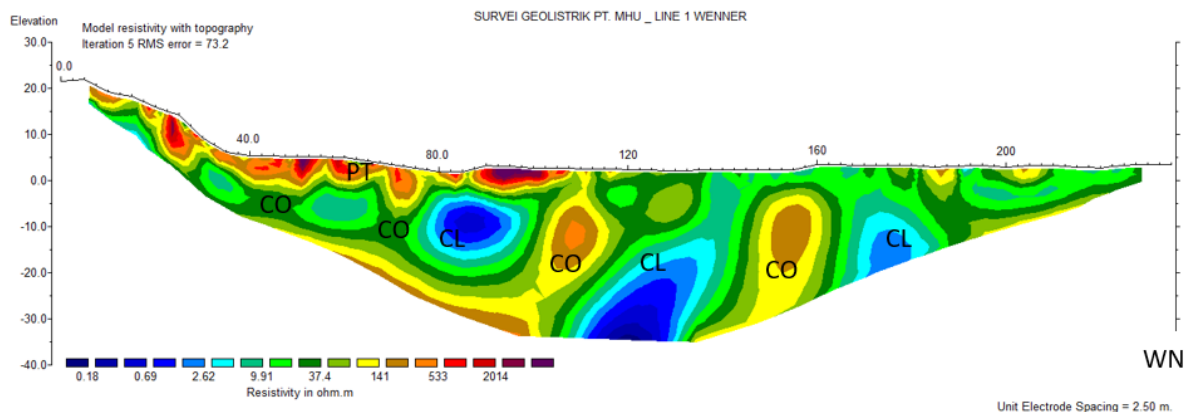


Gambar 5. Foto Lapangan dan Peta Indikasi Lintasan



Gambar 6. Hasil Resistivitas Dipole-Dipole (DD) Lintasan 1

Hasil dipole-dipole (DD) Lintasan 1 dengan panjang lintasan 235 meter berarah Timur (E)–Barat (W) dimana titik 0 berada di posisi Barat. Penampang menunjukkan hasil hingga kedalaman sekitar 40 meter, dimana profilnya pada sisi timur hampir dominan clay (CL) dengan resistivitas <100 ohm.m dan posisi barat dari jarak 0-110 meter menunjukkan pola perlapisan yang ditafsirkan sebagai Peat (PT) hingga pada kedalaman 10 meter dengan resistivitas hingga 150 ohm.m. Di bawah lapisan Peat terdapat lapisan yang diinterpretasi sebagai Coal (CO), namun terlalu lebar untuk ukuran seam yang tegak. Hasil inversi dipole-dipole tidak dapat mencitrakan posisi litologi yang tegak selain itu pula bersifat sangat resistive dengan nilai resistivitas yang sangat besar yakni >3128 ohm.m.



Gambar 7. Hasil Resistivitas Wenner (WN) Lintasan 1

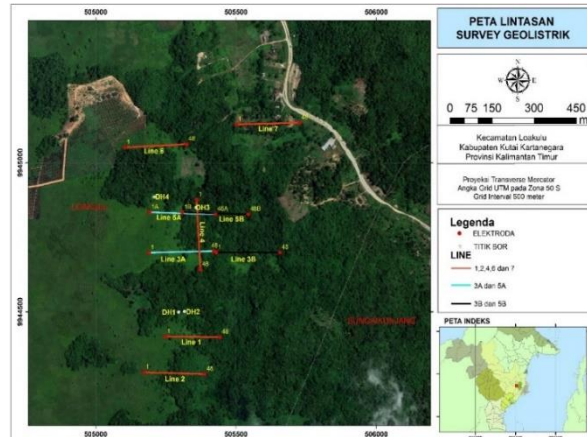
Hasil konfigurasi Wenner (WN) Lintasan 1 dengan posisi persis sama dengan konfigurasi DD, panjang lintasan 235 meter berarah Timur (E)–Barat (W) dimana titik 0 berada di posisi Barat. Penampang menunjukkan hasil hingga kedalam sekitar 40 meter, dimana profilnya menunjukkan variasi antara clay (CL) dengan resistivitas <100 ohm.m dengan batubara (CO) dengan resistivitas 75-150 ohm.m. Pada posisi jarak 0-110 meter menunjukkan pola perlapisan Peat (PT) hingga pada kedalaman 10 meter dengan resistivitas hingga >150 ohm.m, di bawah lapisan PT diinterpretasi beberapa seam batubara. Segmentasi litologi yang miring dapat terlihat dalam hasil konfigurasi WN, tetapi tidak tercitrakan dalam DD.

Tabel 2 Nilai Resistivitas Dipole-Dipole dan Wenner pada Lintasan 1

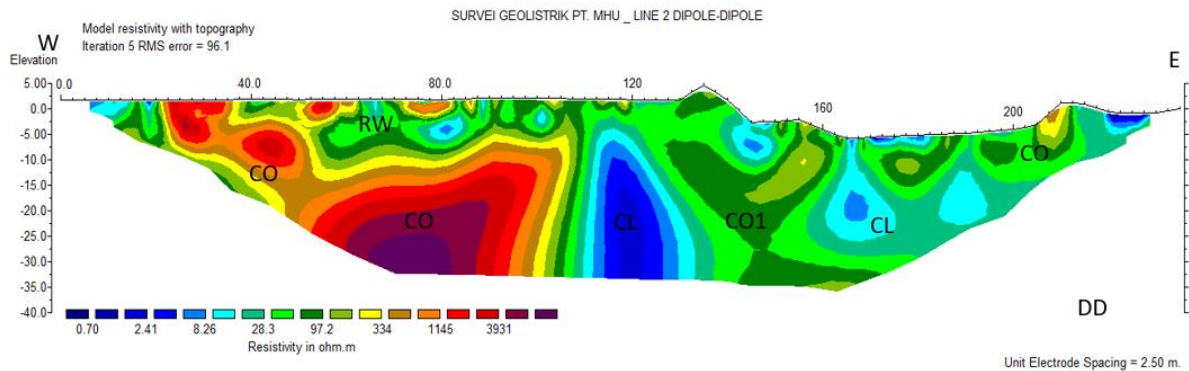
Dipole-Dipole (DD) dan Wenner (WN)		
PT	Diinterpretasi sebagai Gambut dan Berada di Area Semak –Tertutup Pepohonan	Range Resistivity 37-146 ohm.m
CL	Diinterpretasi sebagai Clay atau mud namun belum dapat membedakan antara hard atau soft material	Range Resistivity 1-31 ohm.m
CO	Diinterpretasi Sebagai Batubara	Range Resistivity 75-150 ohm.m

Lintasan 2

Pada lintasan 2 terdapat zona rawa yaitu pada elektroda 1 (0 m) sampai elektroda 18 (85 m). Pada lintasan 2 juga terdapat singkapan batubara yang dilewati oleh lintasan geolistrik pada elektroda 31 (150 m) sampai elektroda 33 (160 m).

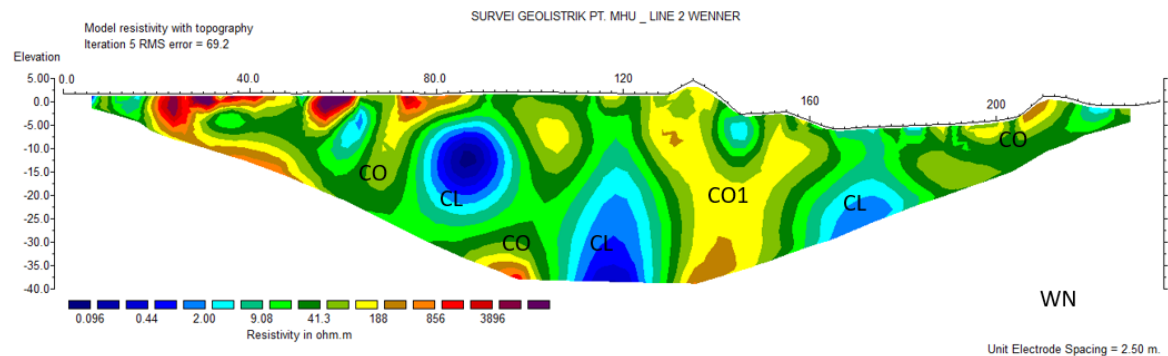


Lintasan 8. Photo Lapangan dan Peta indikasi Lintasan



Gambar 9. Hasil Resistivitas Dipole-Dipole (DD) Lintasan 2

Hasil dipole-dipole (DD) Lintasan 2 dengan panjang lintasan 235 meter berarah Timur (E)–Barat (W) dimana titik 0 berada di posisi Barat. Penampang menunjukkan hasil hingga kedalaman sekitar 40 meter, dimana profilnya pada sisi timur hampir dominan clay (CL) dengan resistivitas <100 ohm.m dan posisi barat dari jarak 0-100 meter menunjukkan pola perlapisan yang ditafsirkan sebagai rawa (RW) hingga pada kedalaman 10 meter dengan resistivitas hingga 150 ohm.m. Di bawah lapisan Peat terdapat lapisan yang diinterpretasi sebagai Coal (CO), ada dua seam CO yakni jarak 40m dan 80m. Seam CO1 adalah singkapan batubara yang ada di lapangan dengan nilai resistivitas dalam range 75-188 ohm.m. Pada jarak 210 m juga diinterpretasi terdapat seam dengan range resistivitas sama dengan CO1.



Gambar 10. Hasil Resistivitas Wenner (WN) Lintasan 2

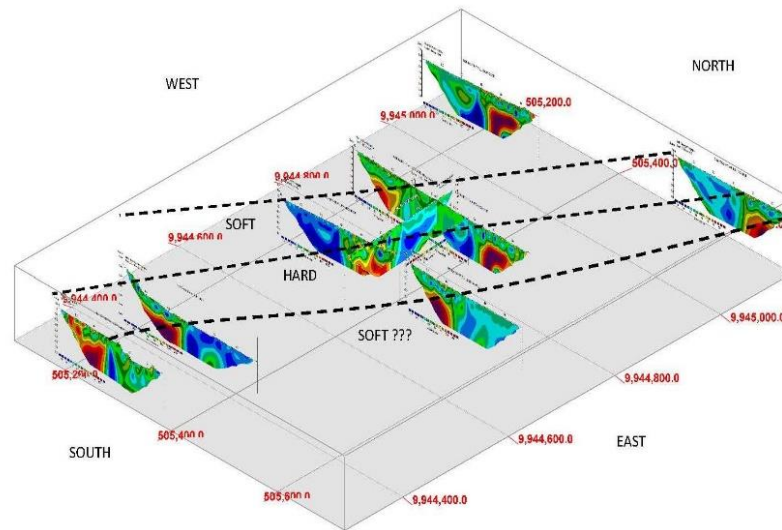
Hasil Wenner (WN) Lintasan 2 dengan panjang lintasan 235 meter berarah Timur (E)–Barat (W) dimana titik 0 berada di posisi Barat. Penampang menunjukkan hasil hingga kedalaman sekitar 40 meter, dimana profilnya pada sisi timur hampir dominan clay (CL) dengan resistivitas <100 ohm.m dan di posisi barat dari jarak 0-115 meter menunjukkan pola perlapisan yang ditafsirkan sebagai rawa (RW) berupa perselingan clay dengan gambut hingga pada kedalaman yang bervariasi hingga 10 meter. Di bawah lapisan Peat terdapat lapisan yang diinterpretasi sebagai Coal (CO), ada dua seam CO yakni yakni jarak 40m, 80m dan 110m. Seam CO1 adalah singkapan batubara yang ada di lapangan dengan nilai resistivitas dalam range 75-188 ohm.m. Pada jarak 210 m juga diinterpretasi terdapat seam dengan range resistivitas sama dengan CO1.

Tabel 3 Nilai Resistivitas Dipole-Dipole dan Wenner pada Lintasan 2

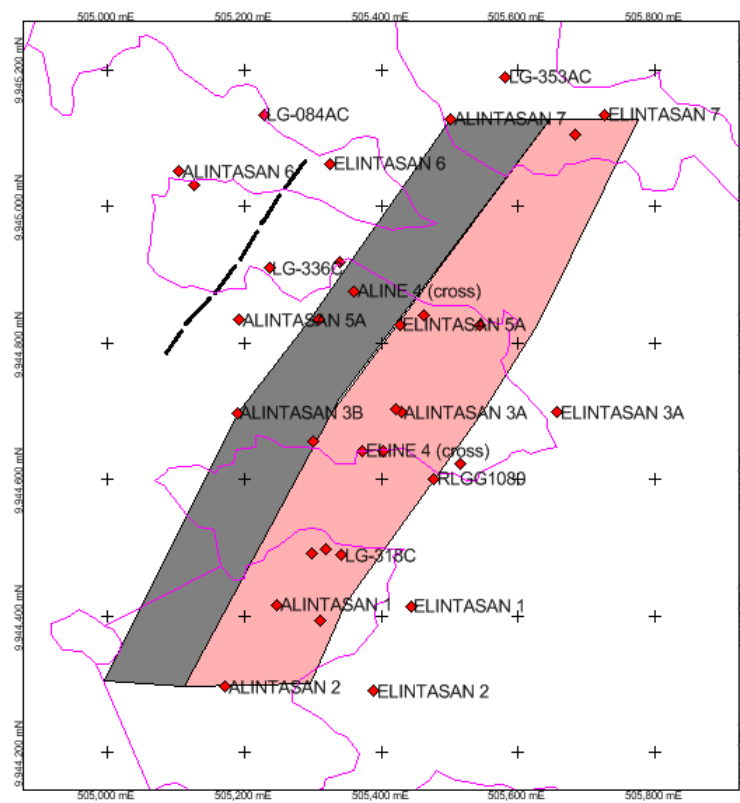
Dipole-Dipole (DD) dan Wenner (WN)		
RW	Interpretasi sebagai Zona Rawa dan Gambut	Range Resistivity 37-146 ohm.m
CL	Diinterpretasi sebagai Clay atau mud namun belum dapat membedakan antara hard atau soft material	Range Resistivity 1-31 ohm.m
CO	CO1 adalah singkapan batubara di lapangan dan CO diinterpretasi Sebagai batubara	Range Resistivity 75-188 ohm.m

Adapun hasil korelasi sembilan lintasan geolistrik memperlihatkan pola resistivitas yang berarah North East. Pada Gambar 11a terlihat pola yang menerus yang terbagi antara resistivitas tinggi dan resistivitas rendah. Pada Gambar 11b ditunjukkan pembagian zonasi resistivitas tinggi dan resistivitas rendah. Warna merah muda menunjukkan zona dengan resistivitas tinggi yang diinterpretasi sebagai zona dengan material yang lebih keras atau hard material berupa sandstone atau bisa juga zona gambut. Sebaliknya warna abu-abu adalah zona dengan resistivitas rendah yang diinterpretasi sebagai material yang lebih soft atau clay.

a)



b)

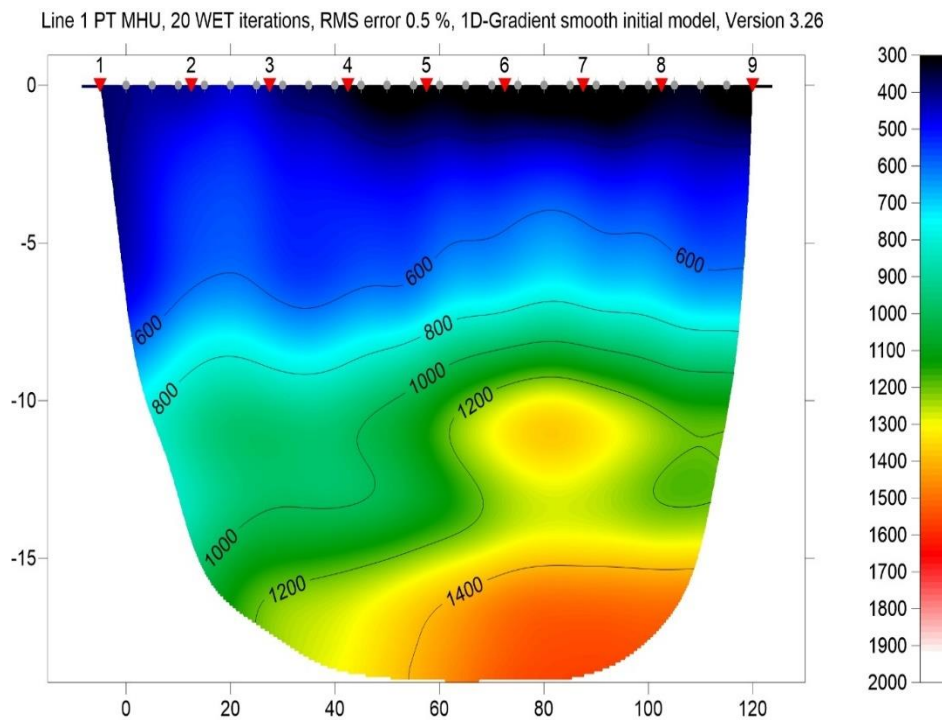


Gambar 11.a) Hasil 3D Sembilan lintasan, b) Zonasi resistivitas rendah dan tinggi

2. Hasil dan Pembahasan Data Metode SRT

Lintasan 1

Lokasi SRT Lintasan 1 semua berada di area hutan. Separuh dari lintasan ini *overlapping* dengan lintasan 3A Geolistrik (ERT).



Gambar 12. Hasil Pengukuran SRT Lintasan 1

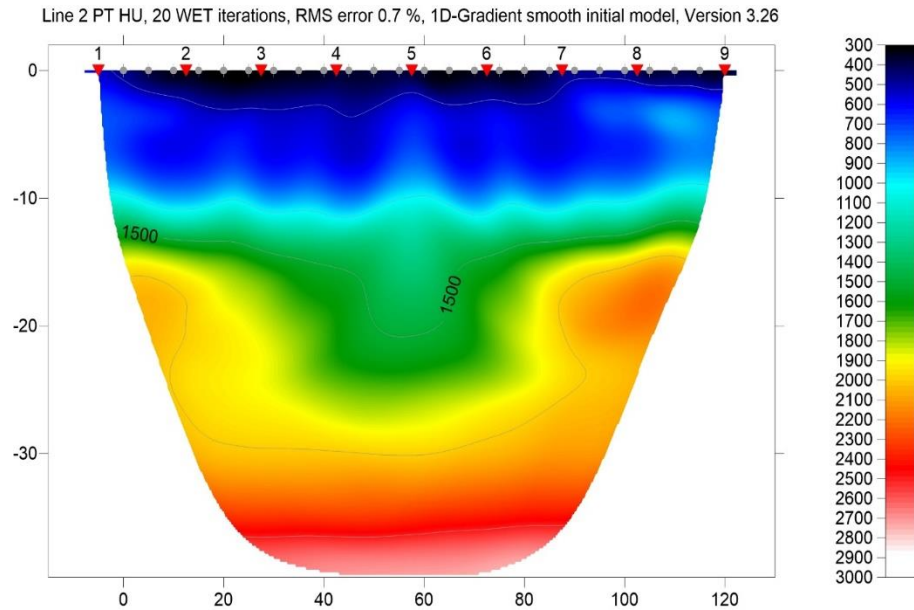
Pada Tabel 4 ditunjukkan deskripsi material yang berada di lintasan 1 ini berdasarkan kecepatan gelombang P. Kecepatan 300 – 800 m/s kemungkinan adalah material lunak yang berada pada kedalaman 0 – 10 m. Sedangkan lapisan kerasnya berada pada kedalaman lebih dari 15 m dengan kecepatan gelombang P lebih dari 1200 m/s.

Tabel 4 Deskripsi material di Lintasan 1 (SRT)

Kecepatan (m/s)	Kedalaman (m)	Deskripsi material
300 – 400	0 – 3	<i>Loose, Top Soil, Very Soft Rock</i>
400 – 800	3 – 10	<i>Soft Rock, clay, wet soil</i>
800 – 1200	10 – 15	<i>Compact Soil, Clayey-Sandstone</i>
> 1200	> 15	<i>Hard Clay Rock</i>

Lintasan 2

Lokasi SRT Lintasan 2 semua berada di area rawa. Lintasan ini hampir sejajar dengan Lintasan 3B Geolistrik dan berada pada bagian Selatan. Pengukuran dilakukan dalam kondisi tanah basah karena hujan.



Gambar 13. Hasil Pengukuran SRT Lintasan 2

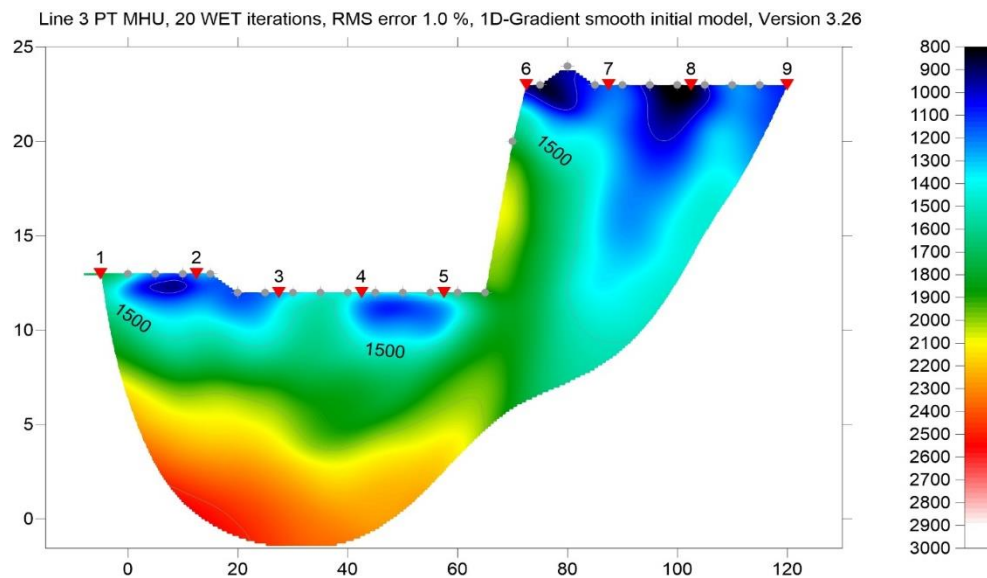
Pada Tabel 5 ditunjukkan deskripsi material yang berada di lintasan 2 ini berdasarkan kecepatan gelombang P. Material lunak kemungkinan berada pada kedalaman 0 – 10 m dengan kecepatan gelombang P 300 – 800 m/s. Sedangkan lapisan kerasnya berada pada kedalaman lebih dari 25 m dengan kecepatan gelombang P lebih dari 1600 m/s.

Tabel 5 Deskripsi material di Lintasan 2 (SRT)

Kecepatan (m/s)	Kedalaman (m)	Deskripsi material
300 – 400	0 – 3	<i>Loose, Top Soil, Very Soft Rock</i>
400 – 1000	3 – 10	<i>Soft Rock, clay, wet soil</i>
1000 – 1600	10 – 25	<i>Compact Soil, Clayey-Sandstone</i>
> 1600	> 25	<i>Hard Clay Rock</i>

Lintasan 3

Lokasi SRT Lintasan 3 diukur di area PIT. Pada geophone 15 dan 16 berada di elevasi tinggi yang melintasi seam batubara. Kondisi lapisan permukaan pada elektroda 1-12 diidentifikasi sebagai pasir.



Gambar 14. Hasil Pengukuran SRT Lintasan 3

Jika diperhatikan, Lintasan 1 dan Lintasan 2 memiliki profil kecepatan yang hampir sama, dari permukaan berupa *very soft*, *soft*, *compact* hingga *hard material*. Sedangkan Lintasan 3 memiliki profil kontur *velocity* yang lebih tinggi dari material *compact* hingga *hard material*, kecuali pada area seam batubara yang memiliki kecepatan lebih rendah.

Tabel 6 Deskripsi material di Lintasan 3 (SRT)

Kecepatan (m/s)	Kedalaman (m)	Deskripsi material
800 – 1400	0 – 12 (kedalaman bervariasi)	<i>Material pasir pada jarak 0-65m, dan pada posisi jarak 70-80 m materialnya berupa seam batubara</i>
1400 – 2000	15 – 20	<i>Compact Soil, Clayey-Sandstone</i>
> 2000	> 25	<i>Hard Clay Rock</i>

KESIMPULAN

1. Hasil konfigurasi Dipole-dipole (DD) pada metode ERT menghasilkan citra resistivitas (ohm.m) yang jelas antara litologi clay dengan litologi batubara atau seam. Hasil konfigurasi DD dapat menampilkan citra untuk menarik trend litologi yang kontinyu, namun struktur litologi yang tegak baik clay maupun coal tidak tercitarkan dengan baik di konfigurasi dipole-dipole.
2. Hasil konfigurasi Wenner (WN) menghasilkan citra resistivitas (ohm.m) yang tersegmentasi antara batas clay dengan coal dengan kemiringan yang bervariasi, namun strukturnya belum seoptimum jika dibandingkan dengan penafsiran model geologinya.
3. Metode SRT direkomendasikan untuk pemetaan tingkat kekerasan batuan area tambang dekat permukaan berupa *very soft*, *soft*, *compact* hingga *hard material*. Klasifikasi material tersebut berguna dalam desain tambang, ekskavasi dan atau rippability.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT. Multi Harapan Utama (MHU)

REFERENSI

- [1] Firnanza, Esha. 2017. Penentuan Litologi Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Model Kecepatan 2D Tomografi Seismik Refraksi Untuk Geoteknik Jalan Tol. Fakultas Teknik, Universitas Lampung: Lampung.
- [2] Listiyani, F., Nurwidyanto, M. I., & Yuliyanto, G. (2006). Penentuan Kedalaman Dan Ketebalan Akuifer Menggunakan Metode Seismik Bias (Studi Kasus Endapan Alluvial Daerah Sioux Park, Rapid Creek, South Dakota, United State of America). *Berkala Fisika*, 9(3), 109-113–113.
- [3] Setiawan, Budi. 2008. *Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia: Depok.
- [4] Supriatna, S., Sukardi, dan E. Rustandi. 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.
- [5] Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics, 2nd ed.* Cambridge University Press.