



"Konservasi Sumberdaya  
Mineral dan Energi"

## PROSIDING SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN

YOGYAKARTA, 11 AGUSTUS 2009

### FENYUNTING:

Nur Ali Amri  
M.Th. Kristiati, EA  
Suharsono  
Puji Pratiiknyo  
Herwin Lukito



SEMINAR FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta.  
Gedung Arie F. Lasut Lt. I telp. (0274) 487814 email: seminar\_ftm\_upnyk@yahoo.com

## MAKALAH GEOFISIKA

32. Estimasi sumberdaya dari pengukuran resistivity-2d didaerah prospek bijih besi : Studi kasus di daerah Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah dan Trenggalek Jawa Timur  
**Winda, Winanto Adjie, dan Desfri Hamdany** **327**
33. Penentuan episenter gempa vulkanik gunung Karangetang Sulawesi Utara menggunakan metoda Inversi non linier dengan pendekatan linier  
**Nia Maharani** **343**
34. Identifikasi bawah permukaan penyebaran zona kebakaran batubara (studi laboratorium dan ground penetrating radar (gpr))  
**Hurriyah, S.Si, MT, dan Ardian Novianto, ST, MT** **352**
35. Pemetaan zona air tanah berdasarkan metoda geolistrik Schlumberger Kabupaten Probolinggo Propinsi Jawa Timur  
**Agus Santoso** **365**

# IDENTIFIKASI BAWAH PERMUKAAN PENYEBARAN ZONA KEBAKARAN BATUBARA (Studi Laboratorium dan Ground Penetrating Radar (GPR))

HURRIYAH, S.Si, MT\*, ARDIAN NOVIANTO, ST, MT\*\*

\* Prodi IPA Fisika Jurusan Tadris IAIN Imam Bonjol Padang,

\*\* Jurusan Teknik Geofisika UPN "Veteran" Yogyakarta

## Abstrak

Batubara menjadi cukup penting sebagai sumber energi terutama setelah harga minyak bumi meningkat, namun selama ini seringkali terjadi kerusakan batubara karena kebakaran yang diakibatkan oleh pembukaan lahan atau faktor alam lainnya. Sifat dari batubara yang mudah terbakar dan sulit untuk dipadamkan walaupun berada di bawah permukaan tanah, dapat menimbulkan kerusakan yang semakin luas dan membahayakan masyarakat yang tinggal di area keterdapatannya batubara tersebut.

Melihat kondisi tersebut perlu dilakukan suatu pemetaan secara geofisika untuk mendeteksi batubara yang terbakar di bawah permukaan. Penelitian ini bermaksud untuk membedakan sifat batubara yang terbakar dan tidak terbakar secara laboratorium dan dibandingkan dengan data lapangan hasil pengukuran GPR sehingga dapat diketahui penyebaran dari batubara yang terbakar tersebut.

Perbedaan sifat fisis dari batubara normal dengan batubara yang terbakar dapat dilihat dengan jelas pada citra hasil pengolahan yang diakibatkan oleh perubahan densitas dan kecepatan perambatan gelombangnya. Perubahan densitas dan kecepatan yang terjadi dapat dibedakan antara batubara normal, batubara terbakar tingkat menengah dan batubara terbakar tingkat lanjut. Batubara normal mempunyai kecepatan 2333 m/s dan densitas 1.32 g/ml, batubara terbakar sebagian mengalami peningkatan kecepatan menjadi 2407.4 m/s and density 1.4919 g/ml, sedangkan batubara terbakar lanjut mengalami penurunan kecepatan menjadi 2148.55 m/s and density 1.1375 g/ml.

## Abstract

*Coal become important as alternative energy after the oil price increase, but often occurs of coal damage because of fire caused by land clearing or other natural factors. The nature of the coal that is easy to ignite and difficult to be quenched although in subsurface, can cause increasing damage and dangerous for people who lived in the deposition of coal area.*

*Viewing this conditions should be a mapping of geophysics to detect the coal burned on subsurface. This research is intended to distinguish the nature of coal is burnt and not burnt in a laboratory and field data compared with the results of (Ground Penetrating Radar (GPR) measurements that can be known that the distribution of coal is burned.*

*Differences characteristic of normal coal with burning coal that can be seen clearly in the image processing results caused by changes in density and Velocity of propagation wave. Changes of Density and velocity that occur can be differentiated between normal coal, medium burn coal and hard burn coal. Normal coal has velocity at 2333 m/s and density 1.32 g/ml, medium burned coal increase to 2407.4 m/s and density 1.4919 g/ml, whereas hard burned coal decrease velocity to 2148.55 m/s and density 1.1375 g/ml.*

## I. PENDAHULUAN

Batubara menjadi cukup penting sebagai sumber energi terutama setelah harga minyak bumi meningkat, namun selama ini seringkali terjadi kerusakan batubara karena kebakaran yang diakibatkan oleh pembukaan lahan atau faktor alam lainnya. Sifat dari batubara yang mudah terbakar dan sulit untuk dipadamkan walaupun berada di bawah

permukaan tanah, dapat menimbulkan kerusakan yang semakin luas dan membahayakan masyarakat yang tinggal di area keterdapatan batubara tersebut.

Melihat kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mempelajari karakteristik/sifat batubara yang terbakar. Pengetahuan mengenai karakteristik batubara yang terbakar diharapkan dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan pemetaan zona tersebut sehingga dapat dilakukan penanganan lebih lanjut untuk mengurangi efek negatif yang dapat timbul.

Penelitian-penelitian sebelumnya banyak difokuskan pada sebaran batubara maupun bentuk perlapisannya. Pada penelitian ini akan dilihat karakteristik/sifat batubara berdasarkan penjalaran gelombangnya terutama dari segi kecepatan dan densitasnya. Efek velocity dan densitas tersebut akan dilihat pada batubara normal, terbakar tingkat menengah dan terbakar pada tingkat lanjut. Penelitian ini dilakukan pada skala eksperimen dilaboratorium dengan mempelajari fenomena penjalaran gelombangnya menggunakan *transducer* untuk menghasilkan gelombang ultrasonik, kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran lapangan Ground Penetrating Radar (GPR). Display batubara menggunakan ultrasonik di laboratorium dibandingkan dengan citra radar dilapangan. Meskipun informasi dan referensi mengenai masalah ini masih sangat jarang, tapi hal ini menarik untuk diteliti dan merupakan tantangan, khususnya bagi kalangan akademisi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1. Ground Penetrating Radar (GPR)

Prinsip perambatan gelombang radar merupakan prinsip gelombang elektromagnetik. Persamaan dasar gelombang elektromagnetik menggunakan empat persamaan Maxwell yaitu:

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} + J \quad (\text{II.1})$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (\text{II.2})$$

$$\text{div} B = 0 \quad (\text{II.3})$$

$$\text{div} D = q \quad (\text{II.4})$$

dimana H adalah kuat medan magnet (ampere/m), E adalah kuat medan listrik (Volt/m), B adalah induksi magnet (Weber/m<sup>2</sup>), D adalah perpindahan listrik (coulomb/m<sup>2</sup>), J adalah rapat arus (ampere/m<sup>2</sup>), q adalah densitas muatan.

Solusi persamaan gelombang elektromagnetik diambil berdasarkan penurunan persamaan Maxwell untuk kasus medium isotropik, dengan asumsi konduktivitas sangat kecil (Annan,2000):

$$\frac{\partial^2}{\partial S^2} f(S,t) = -v \frac{\partial^2}{\partial t^2} f(S,t) \quad (\text{II.5})$$

dimana  $S = \bar{r} \cdot \bar{k}$ , dan  $\bar{E} = f(\bar{r} \cdot \bar{k} \cdot \bar{t}) \hat{u}$

Kecepatan gelombang elektromagnet pada medium tergantung pada frekuensi, konduktivitas listrik, konstanta dielektrik dan permeabilitas magnet, yang secara matematis diturunkan sebagai berikut:

$$V_m = \frac{\check{S}}{S} = \frac{c}{\sqrt{\frac{v_r \sim_r}{2} \sqrt{1 + \frac{\dagger^2}{\check{S}^2 v^2}} + 1}} \quad (\text{meter/nanosekon}) \quad (\text{II.6})$$

Sebagian besar medium bawah permukaan kurang bersifat magnet ( $\mu_r=1$ ) dan merupakan material dengan konduktivitas yang kecil ( $\sigma \approx 0$ ), maka kecepatan gelombang dapat dituliskan seperti dibawah ini (Reynolds, 1997):

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{v_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{v_r}} \quad (\text{meter/nanosekon}) \quad (\text{II.7})$$

dimana  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif.

Sifat Gelombang Elektromagnetik dapat dinyatakan dalam kecepatan fase ( $v$ ), atenuasi ( $\alpha$ ), dan impedansi EM ( $Z$ ).

Matematis dari kecepatan fase, atenuasi, dan impedansi EM, untuk frekuensi rendah adalah:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \check{S}}{\sim \dagger}} \quad (\text{II.8})$$

$$r = \sqrt{\frac{\check{S} \cdot \sim \cdot \dagger}{2}} \quad (\text{II.9})$$

$$Z = (1+i) \sqrt{\frac{\check{S} \cdot \sim}{2 \cdot \dagger}} \quad (\text{II.10})$$

kecepatan, atenuasi, dan impedansi pada frekuensi tinggi adalah:

$$v = \frac{1}{\sqrt{v \cdot \sim}} = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (\text{II.11})$$

$$r = \sqrt{\frac{\sim}{v}} \cdot \frac{\dagger}{2} = Z_0 \cdot \frac{\dagger}{2 \cdot \sqrt{K}} \quad (\text{II.12})$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\sim}{v}} = \frac{Z_0}{\sqrt{K}} \quad (\text{II.13})$$

dimana  $Z_0$  adalah impedansi pada ruang bebas, yaitu :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\tilde{\mu}_0}{\epsilon_0}} = 377 \cdot \text{ohm} \quad (\text{II.14})$$

Untuk material sederhana, frekuensi transisi didefinisikan :

$$f = \frac{\dagger}{2 \cdot fV} \quad (\text{II.15})$$

Berikutini ditunjukkan tabel konstanta dielektrik, konduktifitas listrik, kecepatan, dan atenuasi beberapa material:

Tabel II.1 Konstanta elektromagnetik (Annan,2000)

Material	v	†	€	r
Udara	1	0	0.3	0
Air murni	80	0.01	0.33	2.10 <sup>-1</sup>
Air laut	80	3.10 <sup>4</sup>	0.01	0.1
Pasir kering	4	0.01	0.15	0.01
Pasir basah (aquifer)	25	0.1-1	0.06	0.03
Limestone	6	0.5-2	0.12	0.04
Lempung padat	5-35	0.05	0.06	1-300
Granit	5	0.1-1	0.13	0.01
Rock salt	6	0.1-1	0.13	0.01
Batubara*	4.03-4.17	14.3-25.6	0.14-0.15	
Slate	5-15	0.03	0.09	1-100

(\*Heteriawan,2000)

## II.2. Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang akustik yang mempunyai sifat identik dengan gelombang suara namun mempunyai frekuensi di atas batas frekuensi yang dapat didengar manusia. Batas frekuensi gelombang ultrasonik belum dapat ditentukan secara pasti, hal ini disesuaikan dengan kebutuhan dalam pemanfaatannya

Gelombang ultrasonik mempunyai beberapa sifat yang dapat dimanfaatkan untuk beberapa keperluan sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Sifat pokok gelombang ultrasonik adalah:

1. Mempunyai parameter fisik frekuensi (f), periode (T) dan panjang gelombang ( $\lambda$ )  
Dari ketiga parameter tersebut dapat diturunkan menjadi nilai velocity(v) yang mempunyai arti yang sangat significant untuk identifikasi sample yang dilalui oleh gelombang ultrasonik.
2. Mempunyai arah pergerakan gelombang

Gelombang ultrasonik yang merambat akan memberikan energi sekaligus tanpa merusak sample yang dilaluinya, sehingga dari energi tersebut mengakibatkan pergerakan gelombang (*wave motion*) dengan arah tertentu.

Berikut ini tabel kecepatan dan impedansi akustik gelombang P dari berbagai jenis batuan sedimen:

Tabel II.2. Kecepatan dan impedansi akustik gelombang P berbagai jenis batuan

Batuan	Kecepatan [Vp(m/s)]	Impedansi Akustik ... [V(10 <sup>4</sup> g/cm <sup>2</sup> S)]
Zona lapuk	100-500	1.2-9
Pasir kering	100-600	2.8-14
Lempung	1200-2800	15-65
Batupasir lepas	1500-2500	27-60
Batupasir kompak	1800-4300	40-116
Batugamping,	200-6250	35-180
dolomit	4500-6500	110-140
Auhidrit, batugaram	<b>2000-2300</b>	<b>20-35</b>
<b>Batubara</b>		

### II.3. Batubara

Defenisi batubara telah ditentukan oleh beberapa ahli yang salah satunya adalah Wolf (1984) yang menyatakan bahwa batubara adalah batuan sedimen yang mudah terbakar. Berasal dari tumbuh-tumbuhan (komposisi utamanya karbon, hidrogen dan oksigen), berwarna coklat sampai hitam, sejak pengendapannya terkena proses kimia dan fisika yang mengakibatkan terjadinya pengkayaan kandungan karbonnya.

Faktor-faktor terbentuknya batubara harus memenuhi beberapa hal yaitu posisi geotektonik, Topografi purba, Posisi geografi, Iklim, Tumbuhan (flora), Pembusukan (*decomposition*), Penurunan dasar cekungan (*subsidence*), Waktu geologi, dan Metamorfosa organik. Faktor-faktor tersebut harus terpenuhi agar dapat terbentuk batubara. Sedangkan Tahapan pembentukan batubara dapat di gambarkan sebagai berikut :

1. Tahap diagenesa gambut (*peatification*), yaitu proses perubahan bahan organik dari tumbuhan menjadi gambut.
2. Tahap geokimia (*coalification*), yaitu proses perubahan gambut menjadi batubara dalam berbagai tingkatan yang menerus.

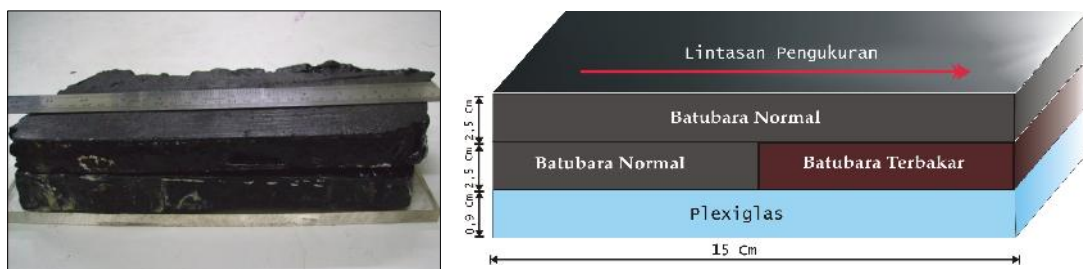
### III. METODA PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan secara laboratorium kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil pengukuran GPR di lapangan. Pengukuran di laboratorium

dilakukan dengan membangkitkan gelombang menggunakan transduser (gambar III.1). Akuisisi laboratorium dilakukan dengan cara pengukuran di atas model lapisan batubara (Gambar III.2). Model batubara yang digunakan terdiri dari 2 lapis dimana lapisan pertama adalah batubara normal dan lapisan kedua adalah batubara yang sebagian sisinya dibakar, dengan tingkat pembakaran sedang dan lanjut. Gelombang yang dihasilkan oleh transduser tidak dapat mengalir pada medium udara sehingga di antara setiap lapisan sample di bubuhi vaselin. Untuk membantu dalam melakukan analisa hasil akuisisi terhadap nilai kecepatan dan densitas juga dilakukan pengukuran secara transmisi menggunakan transducer terhadap sampel batubara yang digunakan. Diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada gambar III.3.

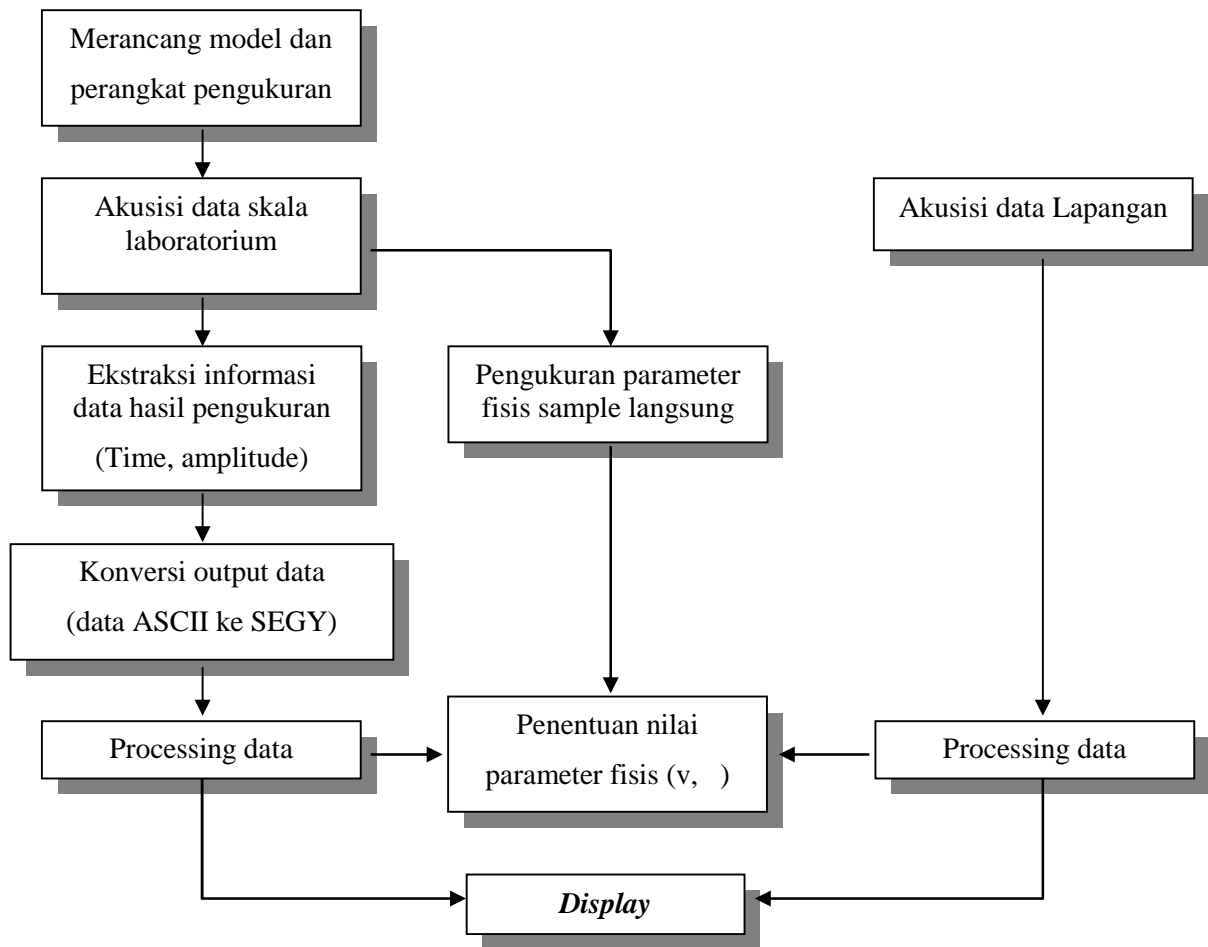


Gambar III.1. Peralatan yang digunakan pada pengukuran di laboratorium



Gambar III.2. Batubara dan ilustrasi model lintasan pengukuran





Gambar III.3. Diagram alir penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

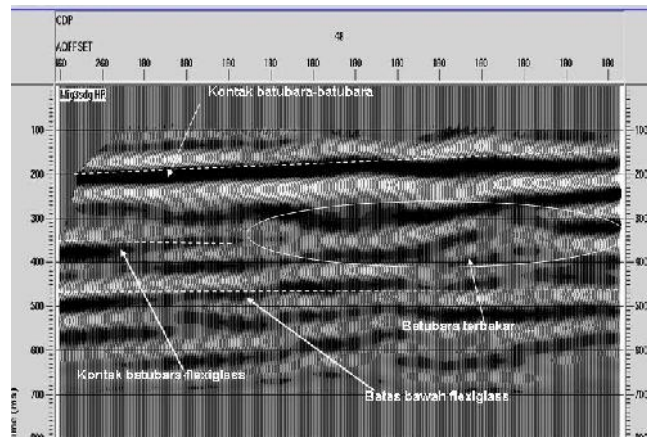
Sampel batubara yang digunakan mempunyai derajat batubara bituminus. Berikut ini merupakan tabel sifat fisis dari masing-masing komponen berdasarkan pengukuran dengan *transmission transducer* dan densitas berdasarkan pengukuran laboratorium.

Tabel IV.1. Karakteristik bahan yang digunakan

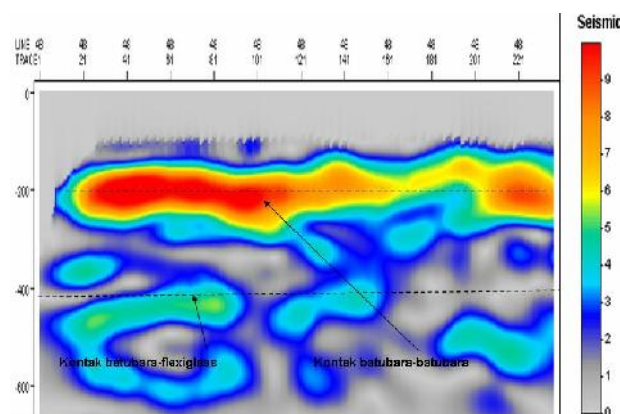
No	Komponen	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Kecepatan (m/s)
1	Batubara normal	1.32	2333.3
2	Batubara dibakar sedang	1.49	2407.4
3	Batubara dibakar lanjut	1.1375	2148.55
4	Flexiglass	1.5119	2818.5

Hasil akuisisi data yang telah dilakukan kemudian diproses untuk menghasilkan display dari kondisi subsurface-nya. Dalam rangka memperjelas perubahan amplitudo dalam display nya maka dibantu dengan display atribut amplitudo sesaat. Display dari pengolahan data di laboratorium dapat ditunjukkan sebagai berikut :

### 1. Lapisan Batubara Terbakar Tingkat menengah



Gambar IV.1 Display pengolahan data pada model batubara Terbakar Sedang



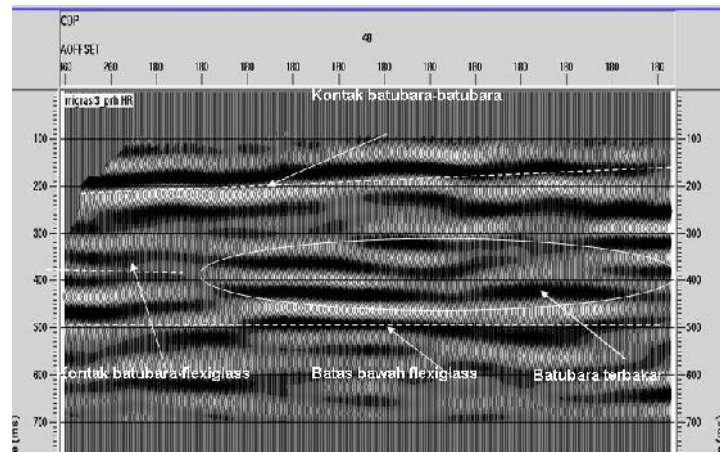
Gambar IV.2. Atribut Amplitudo sesaat pada model batubara Terbakar Sedang

Pada display di atas terlihat bahwa kontak batubara tidak terbakar dengan batubara terbakar terlihat pada sekitar time 180-200 ms, dimana pada time tersebut terlihat pola reflector yang kontinu. Kontak kedua berada di bawah batubara terbakar yang terlihat pada time 380 ms. Terlihat bahwa setelah melewati zona batubara yang terbakar menunjukkan pola reflektor yang hancur. hal ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan sifat fisis dari batubara yaitu pada kecepatan dan densitasnya.

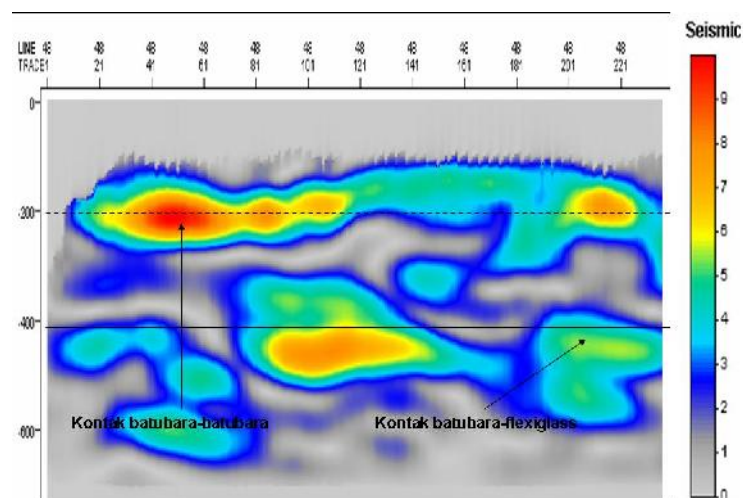
Kenampakan amplitudo sesaat juga memperjelas kenampakan reflektor batubara yang terbakar, dimana terlihat bahwa amplitudo semakin mengecil pada zona batubara terbakar. Pada lapisan kedua amplitudo mengecil akibat absorpsi dan akhirnya putus-putus.

Batas bawah flexiglass tidak terlihat pada amplitudo sesaat ini, kemungkinan dikarenakan oleh keterbatasan alat ultrasonik.

## 2. Lapisan Batubara Terbakar Tingkat Lanjut



Gambar IV.3. Display pengolahan data pada model batubara Terbakar tingkat lanjut



Gambar IV.4 Attribut Amplitudo sesaat pada model batubara Terbakar tingkat lanjut

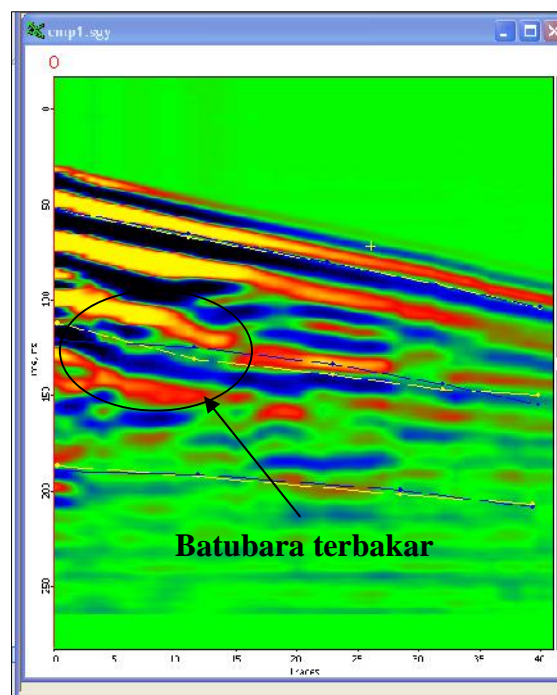
Pada model ini batubara pada lapisan kedua dibakar lagi sampai tingkat pembakaran lanjut. Pola reflektor maupun pada display amplitudo sesaat menunjukkan pola yang sama dengan batubara terbakar tingkat menengah namun di sini reflektor lebih *cutic* akibat perubahan sifat fisis (kecepatan dan densitas) yang lebih besar.

Pola reflektor yang lebih *cutic* (hancur) pada batubara terbakar tingkat lanjut daripada pada batubara terbakar tingkat menengah menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kontras akustik impedan yang lebih besar. Berdasarkan data pengukuran secara

transmisi diketahui bahwa pada saat batubara terbakar tingkat menengah terjadi peningkatan kecepatan dan densitas hal ini karena terjadinya pemampatan batubara akibat pembakaran tersebut. Namun pada saat terbakar pada tingkat lanjut justru terjadi penurunan kecepatan dan densitas. Hal ini terjadi karena pembakaran tingkat lanjut mengakibatkan batubara lebih rapuh (menjadi abu) sehingga porositasnya meningkat.

### Data Pengukuran Lapangan (GPR)

Display yang diperoleh berdasarkan pemodelan fisis selanjutnya dibandingkan dengan data lapangan. Data lapangan yang digunakan adalah data GPR, yang diindikasikan terdapat zona batubara terbakar. Berdasarkan data CMP yang diperoleh didapatkan nilai kecepatan dan permitivitas batubara tersebut. Berikut ini display data CMP-nya :



Gambar IV.5 Display data lapangan CMP (*common mid point*) GPR

Kecepatan yang diperoleh merupakan kecepatan rata-rata dari masing-masing lapisan. Permitivitas yang diperoleh juga merupakan permitivitas relatif dari masing-masing lapisan. Kecepatan lapisan pertama adalah 18.139 cm/ns, dengan permitivitas 2.735. lapisan ini diinterpretasikan sebagai lempung atau pasir halus. Lapisan kedua memiliki kecepatan 12.30 cm/ns dan permitivitas 5.939. lapisan ini diinterpretasikan sebagai batubara yang mengalami kebakaran. Lapisan ketiga kecepatannya naik sedikit yaitu 13.025 cm/ns dan permitivitasnya turun menjadi 5.305.

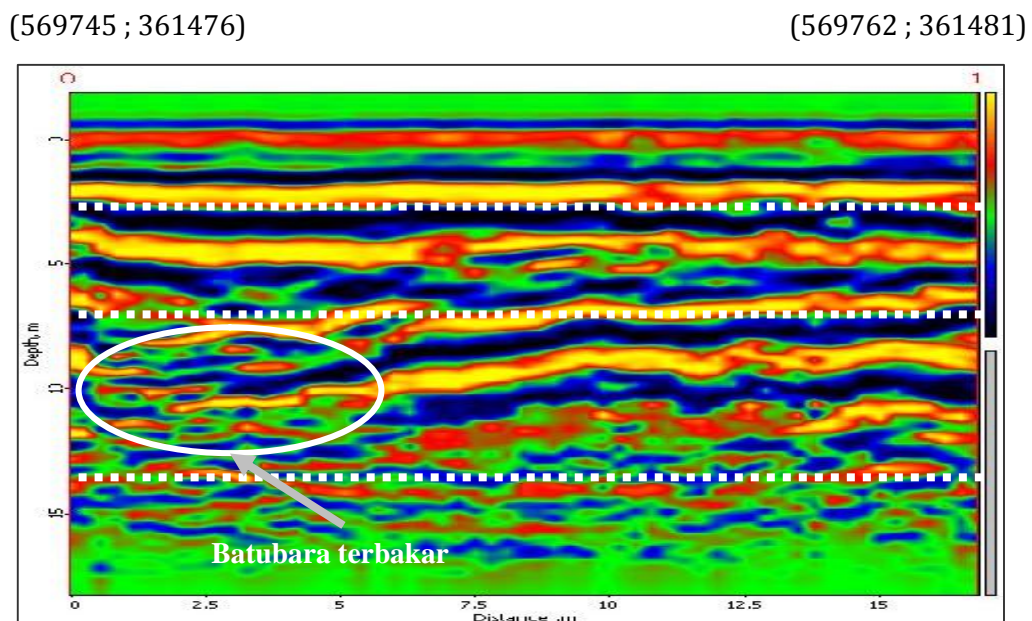
Menurut Heteriawan ((2000) op cit handayani, Gunawan) kecepatan gelombang radar akan lebih kecil jika merambat pada medium yang lebih konduktif. Pada kasus

batubara normal, konduktif atau tidaknya tergantung pada pori yang dimilikinya. Semakin banyak pori terisi air maka batubara tersebut akan bersifat konduktif, akibatnya kecepatannya juga semakin kecil. Sebagaimana diketahui kecepatan berbanding terbalik dengan permitivitas, berarti semakin pori, semakin tidak konduktif, kecepatannya akan semakin besar, dan akhirnya permitivitasnya semakin kecil. Batubara bituminus normal (tidak terbakar) memiliki harga permitivitas 4.03-4.17 dan kecepatan 14.689-14.943 cm/ns.

Pada penelitian ini diperoleh harga permitivitas batubara terbakar 5.939 dan kecepatan 12.30 cm/ns. Ternyata setelah mengalami pembakaran kecepatan batubara menurun dan permitivitasnya naik. Seharusnya secara teori jika batubara terbakar maka pori terisi air akan hilang, maka kecepatannya akan lebih besar dan permitivitasnya turun. Pada kasus penelitian ini, hampir sama dengan ultrasonik, hal ini disebabkan oleh batubara terbakar tingkat tinggi, porinya banyak tetapi kosong (terisi udara) dan banyak retakan-retakan, sehingga gelombang susah menjaral yang mengakibatkan kecepatan menurun dan akhirnya permitivitasnya naik.

Berikut ini contoh display data GPR yang diperoleh dari beberapa lintasan, yaitu:

**Lintasan 1**

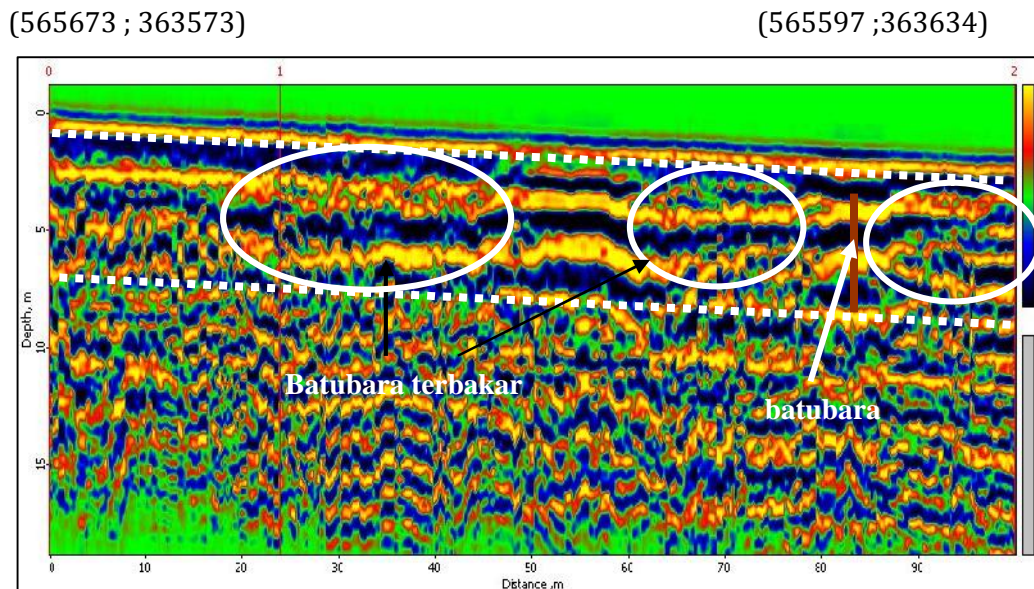


Gambar IV.6. Displai GPR hasil pengukuran lapangan pada lintasan 1

Display georadar di atas menunjukkan batubara terbakar dan tidak. Lapisan kedua merupakan batubara tidak terbakar. Hal ini ditunjukkan dengan pola kemenerusan reflektor yang relatif tetap. Pola ini memperlihatkan bentuk atau pola yang mirip dengan model batubara pada skala laboratorium. Lapisan ketiga merupakan lapisan batubara terbakar. Pola refleksinya mirip dengan lapisan kedua, tetapi sebagian reflektornya menunjukkan pola

yang tidak menerus (gambar IV.31: tanda lingkaran). Bagian ini diprediksi sebagai batubara terbakar. Hal ini juga sesuai dengan informasi dari lapangan yang melaporkan bahwa daerah ini mengalami kebakaran.

### **Lintasan 2**



Gambar IV.7. Displai GPR hasil pengukuran lapangan pada lintasan 2

Lintasan ini diinterpretasikan mengalami kebakaran batubara, tetapi tidak di sepanjang lintasan. Terlihat pola reflektor batubara yang kontinu, diinterpretasikan belum terbakar, kemudian batubara terbakar ditunjukkan dengan pola reflektor yang tidak menerus (bagian yang dilingkari pada gambar IV.7).

Secara keseluruhan pola reflektor batubara terbakar yang menggunakan image radar memiliki pola yang mirip dengan pola refleksi yang diperoleh dengan ultrasonik. Perbedaannya hanya dari sumber energi yang diperoleh dan gelombang yang digunakan sebagai input, dimana ultrasonik menggunakan input gelombang sonik yang tinggi, sementara radar menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai inputnya. Kecepatan yang diperoleh juga berbeda untuk masing-masingnya, karena ultrasonik dipengaruhi densitas, sementara radar dipengaruhi oleh permitivitas dan porinya.

### **V. KESIMPULAN**

1. Pembakaran batubara menyebabkan terjadi perubahan pada kecepatan dan densitas. Jika batubara terbakar dengan tingkat pembakaran sedang kecepatan dan densitasnya akan mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan oleh pori-pori yang ada menjadi mampat sehingga batubara menjadi lebih padat dan kompak

2. Batubara terbakar dengan tingkat pembakaran lanjut akan mengalami penurunan kecepatan dan densitas. Hal ini disebabkan oleh tingkat pembakaran batubara yang tinggi, sehingga pori-porinya banyak dan kosong.
3. Akibat perubahan pada prositas, densitas dan kecepatan menyebabkan perubahan pada kontras akustik impedan sehingga display kontak batubara normal dan terbakar berbeda dimana pada batubara terbakar menjadi lebih coutic.

## **VI. DAFTAR PUSTAKA**

- Al-Sadi, Hamid, 1982, *Seismic Exploration*, Birkhauser AG, Graphisches Unternehmen, Basel
- Handayani, Gunawan, dkk, ..., *Survai Seismik Pantul Dangkal untuk Eksplorasi Batubara*,  
Prosiding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia
- Reynold, M, 1997, *An Introduction to Applied Environmental Geophysics*, Jhon Wlley & son;  
England
- Richardson, Sarah, E, -----, *Seismic Method in Coalbed Methane Development, Red Deer, Alberta, Canada*, Department Geology and geophysics and CREWES, University of Calgary
- Strange, Andrew and Ralston, jonathan and Chandran, Vinod, 2005, *Near Surface Interface Detection for Coal Mining Application Using Bispectral Feature and GPR*, Subsurface Sensing Technologies and Applications 6(2):pp. 125-149
- Telford W. M., 1990, *Applied Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press.