



DETERMINASI VARIASI KANDUNGAN AIR PADA LAPISAN BATUBARA BERDASARKAN NILAI SPEKTRUM AMPLITUDO MENGGUNAKAN METODE COMPOSITE TRAPEZOIDAL

Eddy Ibrahim ^{a,*}, Suharno ^b dan Ratna ^c

^aJurusan Teknik Pertambangan dan Geologi, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Palembang-Prabumulih Km-32 Indralaya Sumatera Selatan 30662

^{b, c} Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima 02 Juli 2022

Direvisi

Diterbitkan

Kata kunci:

Lapisan Batubara

Variasi kandungan air

GPR

Metode "composite Trapezoidal"

Karakteristik batubara karena tidak berpori maka kandungan air sebagian besar menempati bidang-bidang perlapisan didalam lapisan batubara, sehingga jelas dalam proses pemboran atau pengambilan sampel akan mengganggu keutuhan sifat- sifat batubara secara menyeluruh, sehingga proses kehilangan sifat 'insitu' akan terjadi tentu akan mengurangi makna analisa terhadap sifat- sifat batubara setempat dengan cara tersebut. Disamping itu teknik tersebut hanya akan memberikan informasi secara setempat sehingga untuk memperoleh validitas informasi secara menyeluruh akan sangat dibutuhkan jumlah bor maupun sampel yang banyak. Untuk itu diperlukan teknik pengukuran yang tidak destruktif dalam skala terbatas yang diperoleh secara langsung terhadap batubara tersebut dengan resolusi tinggi. Dan teknik tersebut diharapkan dapat mendeterminasi kandungan air dilapisan batubara secara 'insitu' dan 'non-invasive'. GPR karena sifatnya 'non-invasive' dengan resolusi tinggi diharapkan dapat mengatasi keterbatasan dari teknik yang ada. Adapun teknik analisa menggunakan nilai- nilai spektrum amplitudo berdasarkan pendekatan metoda 'composite trapezoidal'. Dari penggunaan analisa ini dapat ditentukan secara lateral variasi kandungan air di batubara.

E-mail: eddyibrahim838@yahoo.com

1. Pendahuluan

Lapisan batubara merupakan campuran substansi/ material kimia organik yang kompleks mengandung karbon, hydrogen dan oksigen dalam kombinasi kimianya bersama dengan sejumlah kecil nitrogen dan sulfur. Bagian batubara organik ini berasosiasi dengan sejumlah kandungan air dan mineral- mineral yang bervariasi. (Eddy Ibrahim, et.al, 2003a)

Kandungan air didalam eksplorasi batubara diistilahkan kandungan air total. Karena kandungan air tersebut mengacu pada hasil analisa laboratorium. Kandungan air dari hasil laboratorium merupakan penjumlahan kandungan air bebas dipermukaan batubara ("free moisture content") dan kandungan air sisa didalam lapisan batubara ("inherent moisture"). Kandungan air total adalah salah satu parameter fisik penting untuk dapat mendeterminasi respons batubara dengan peringkat tertentu, karena kandungan air total merupakan salah satu parameter didalam menentukan derajat pembatubaraan ("the degree of coalification"). Untuk meningkatkan pengertian variabilitas kandungan air pada lapisan batubara diperlukan teknik pengukuran tidak destruktif dalam skala terbatas yang diperoleh secara langsung, terhadap

kandungan air pada lapisan batubara tersebut dengan resolusi tinggi.(Eddy Ibrahim, et.al, 2003b) Karena informasi kandungan air pada lapisan batubara adalah sangat dibutuhkan dalam penentuan wilayah- wilayah lapisan batubara yang mempunyai peringkat baik, padahal kita ketahui kandungan air dilapisan batubara bervariasi dan sulit untuk diukur secara komprehensif dan spasial dikarenakan batubara tidak berpori. Keberadaan teknik yang tersedia untuk menaksir kompleksitas pada proses pem-batubaraan dan parameter- parameternya adalah tidak cukup, sekalipun dengan studi lapangan skala terbatas. (Eddy Ibrahim, et.al, 2003b)

Teknik GPR menggunakan gelombang elektromagnetik (EM) menghasilkan resolusi yang bermanfaat dan mengukur kontras dielektrik dengan tidak merusak pada formasi dan material- material geologi. Refleksi gelombang elektromagnetik (EM) terjadi pada bidang- bidang batas diantara dua media yang mempunyai kecepatan perambatan berbeda. (Annan, AP et.al, 1975) Ketika lapisan yang mengandung air atau bidang- bidang belahan ('cracks') mengandung mineral- mineral magnetit maka itu menjadi reflektor yang kuat pada gelombang elektromagnetik (EM) karena kontras yang tajam dalam kecepatan antara lapisan

bidang- bidang belahan ("crack") (Annan., A.P, 2001), dan lapisan batubara yang mengandung air dengan lingkungan sekitarnya (lapisan batubara). Oleh karena itu GPR adalah alat yang potensial untuk mendeteksi variasi kandungan air di batubara.

Pengukuran yang dilakukan menggunakan metoda akuisisi 'reflection profiling' dimana dari hasil perolehan data berupa TWT ('two way travel time') akan dapat dideterminasi sinyal amplitudo dan fase pada material yang diselidiki. (Engheta N and Papas C.H, 1982).

Secara umum penentuan nilai- nilai amplitudo ini dapat dilakukan dalam dua kawasan yaitu kawasan waktu dan kawasan frekuensi. Dalam kawasan waktu umumnya diperoleh dari hasil pengukuran berupa TWT ('two way travel time') yang merupakan hasil 'inverse fast fourier transform' (IFFT) sedangkan dalam kawasan frekuensi diperoleh melalui hasil 'fast fourier transform' (FFT) berupa spektrum amplitudo. (Jol, H.M, 1995)

Didalam penelitian ini akan digunakan cara kedua dengan menggunakan analisa spectrum amplitude. Adapun data yang diuji untuk menentukan perbedaan kandungan air secara lateral adalah data hasil pengukuran singkapan batubara yang terdefinisi yaitu geometri, orientasi dan sifat fisik batubara telah diuji di laboratorium.

1.1 Teori

Didalam penelitian ini digunakan pendekatan faktor kualitas karena dikaitkan dengan efektivitas penyimpanan daya medium yang menjadi target dan dicerminkan oleh ketajaman response frekuensi yang diterima (M.O Tjia, 1997). Ketajaman response frekuensi akan berkurang diakibatkan banyak hal antara lain disipasi energi dan interferensi dimana kedua yang disebut tersebut merupakan pengganggu ('noise') sedangkan berkurangnya energi (Tjandi, 2022) akibat teredam didalam medium (ter-atenuasi) merupakan factor yang menjadi tujuan untuk diekstrak. Tetapi factor adanya disipasi energi dan interferensi merupakan suatu konsekuensi proses yang alamiah. Oleh sebab itu factor pengganggu maupun factor redaman oleh medium target akan dianalisa (Despa, 2022) dengan menggunakan spectrum amplitude.

Secara teoritik dapat dinyatakan bahwa energi total (sumber) adalah penjumlahan dari energi yang tersimpan (ter-atenuasi dalam medium target) ditambah dengan energi yang hilang karena disipasi (berubah jadi panas dan faktor jarak) serta interferensi . Adapun rumusan umum factor kualitas adalah (M.O Tjia, 1997).

$$Q = \omega_0 \frac{\text{Energi yang tersimpan}}{\text{Energi yang hilang}} \tag{1}$$

Dengan $\omega_0 = 2 \pi / T$, dimana T = perioda satu siklus. Untuk itu ω_0 sama dengan salah satu frekuensi eigen (ω_{mnl}). Secara matematik Q dapat berbentuk :

$$Q = \omega_0 \frac{W}{-dW / dt} \tag{2}$$

Maka dapat ditentukan persamaan seperti dibawah :

$$\frac{dW}{dt} = -\omega_0 W \tag{3}$$

Adapun solusinya berbentuk :

$$W = W_0 e^{-\omega_0 T / Q} \tag{4}$$

Seperti telah dibahas ole M.O. Tjia dalam buku teori elektrodinamika klasik , 1997 bahwa atenuasi daya pada umumnya akan menghasilkan perubahan frekuensi yaitu :

$$\omega_0 \rightarrow (\omega_0 + \Delta\omega) + i \omega'' = \omega' + i \omega'' \tag{5}$$

dimana $\Delta\omega$ adalah pergeseran frekuensi pusat
 ω'' adalah pelebaran spectrum frekuensi

Berdasarkan persamaan 4 dan 5 dapat dikatakan bahwa medan E sangat bergantung pada t sehingga dapat diformulasikan bahwa :

$$E (t) = E_0 \exp (- \omega'' t) \exp [i (\omega_0 + \Delta\omega) t] \tag{6}$$

Mengingat bahwa

$$W (t) \propto | E (t) |^2 \propto E_0^2 \exp (- 2 \omega'' t) \tag{7}$$

Maka

$$\frac{dW}{dW/dt} = \frac{1}{-2 \omega''} \tag{8}$$

Selanjutnya persamaan 8 diperbandingkan dengan persamaan 3 akan menghasilkan persamaan dibawah yaitu :

$$Q = \frac{\omega_0}{2 \omega''} ; \omega'' = \frac{\omega_0}{2 Q} \tag{9}$$

Sebagai akibat adanya atenuasi daya tersebut, E (t) yang semula bersifat monokromatik dengan frekuensi ω_0 (frekuensi antenna), maka akan menghasilkan spectrum yang diperoleh dengan transformasi Fourier dari persamaan 6.

Maka energi dalam kawasan frekuensi atau spectrum amplitude menjadi :

$$E (\omega) = \frac{1}{\sqrt{2 \pi}} \int_0^{\infty} E_0 \exp(-\omega_0 t / 2 Q) \exp [- i (\omega - \omega_0 - \Delta\omega) t] dt$$

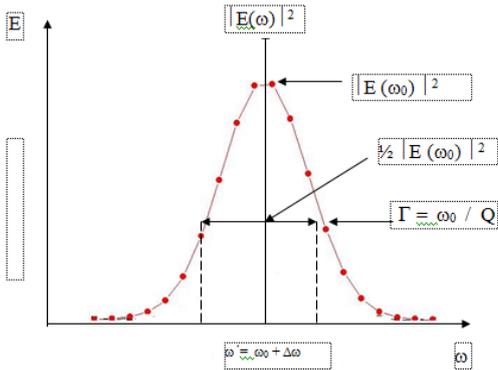
$$= \frac{E_0}{\sqrt{2 \pi}} \frac{1}{i (\omega - \omega_0 - \Delta\omega) + \omega_0 / 2 Q}$$

$$= \frac{E_0 (\omega_0 / 2 Q) - i (\omega - \omega_0 - \Delta\omega)}{\dots}$$

dari persamaan diatas akan diperoleh

$$E |\omega| ^2 = \frac{E_0^2 / 2 \pi}{(\omega - \omega_0 - \Delta\omega)^2 + (\omega_0 / 2 Q)^2} \quad (10)$$

Adapun persamaan diatas dapat dilukiskan dalam bentuk kurva Lorentzian yang merupakan pencerminan energi (amplitude) terhadap frekuensi (gambar 1).



Gambar 1 . Kurva Lorentzian spectrum amplitude(energi) (M.O Tjia, 1997).

Adapun langkah- langkah yang dilakukan dalam penentuan nilai- nilai amplitudo adalah sebagai berikut :

1. Asumsi awal bahwa data mentah ('raw data') adalah penjumlahan dari energi target (' medium yang dianalisis) dengan energi yang terdisipasi dan berinterferensi .
2. Data mentah hasil pengukuran yang belum diproses dan data hasil proses ditampilkan berdasarkan spectrum amplitudonya masing- masing.

Jadi jelas bahwa akan terjadi nilai energi (amplitude) maksimum $E |\omega| ^2$ pada :

$$\omega = \omega' \equiv \omega_0 + \Delta\omega$$

dan setengah maksimum pada :

$$\omega = \omega' \pm \omega_0 / 2 Q$$

Jadi lebar spectrum amplitude (energi) pada kedudukan setengah maksimum akan sama dengan :

$$\Gamma = \frac{\omega_0}{Q} = 2 \omega'' \quad (11)$$

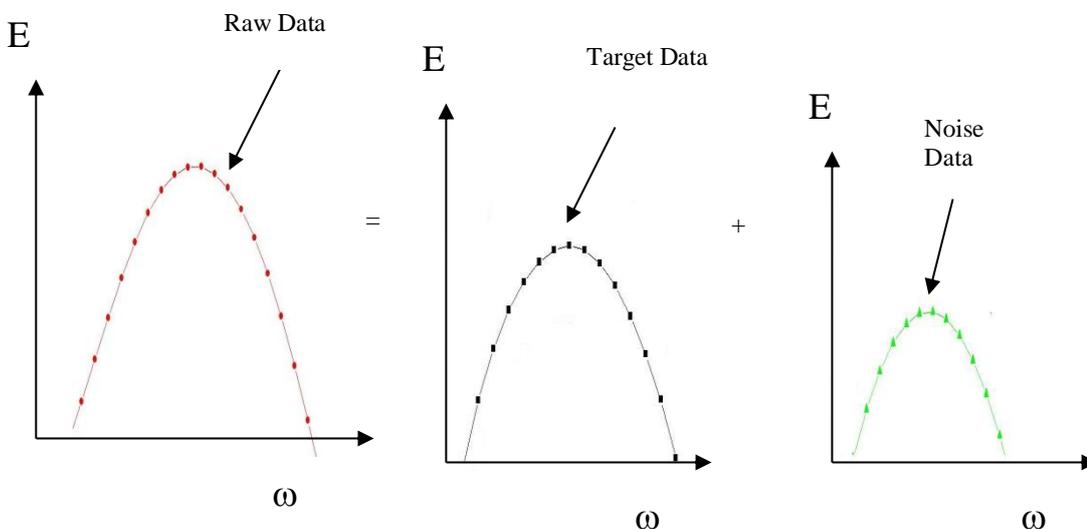
Atau

$$Q = \omega_0 / \Gamma \quad (12)$$

3. Hitung masing- masing spectrum amplitude tersebut menggunakan metoda 'composite trapezoidal'.
4. Korelasikan data hasil perhitungan tahap 3 dengan data hasil pengujian langsung fisik target.

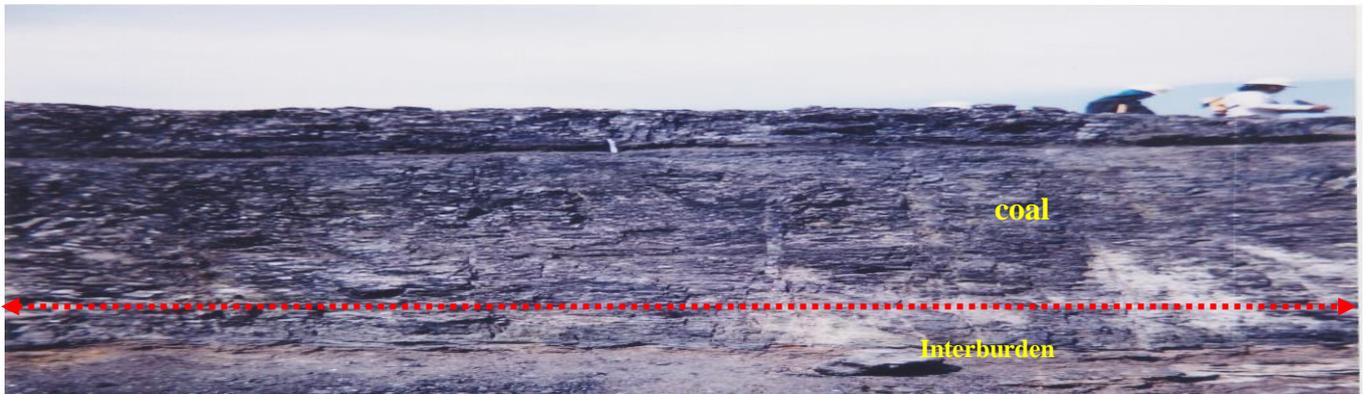
3.Hasil dan Diskusi

Penentuan asumsi didasarkan karena kedua antenna diposisikan langsung diatas singkapan maka dapat ditentukan bahwa response energi total ('raw data') merupakan penjumlahan dari energi target dengan energi yang terdisipasi dan berinterferensi adapun proses tersebut dapat dilihat pada gambar 2.

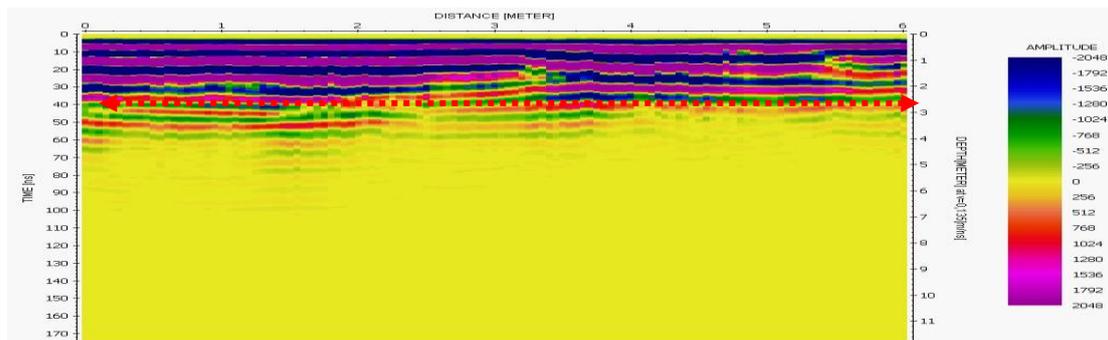


Gambar 2 . Kurva response energi total, energi target dan energi 'clutter'.

Untuk memperjelas penggunaan dari asumsi ini maka ditunjukkan singkapan yang diukur beserta hasil pengukuran ('raw') dan ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.

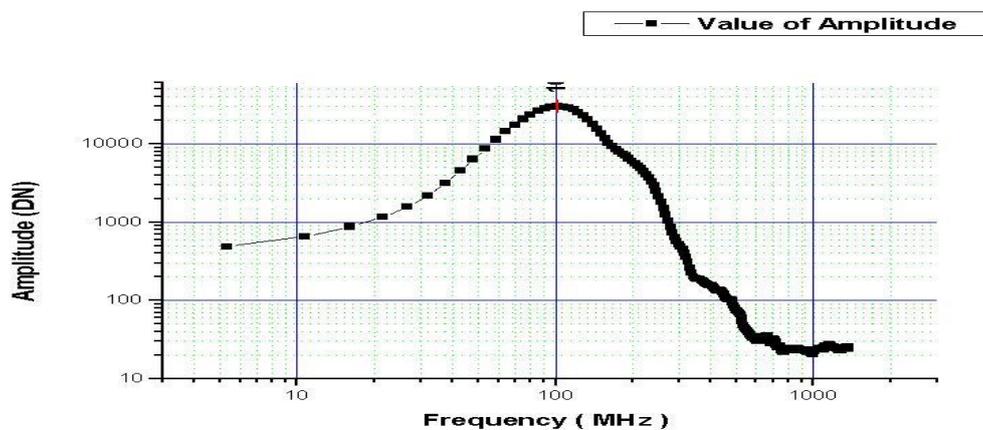


Gambar 3. Model fisik singkapan batubara dengan panjang lintasan 6.05m Lapisan batubara ini secara lateral pada peringkat yang sama Yaitu bituminous (seam B2).



Gambar 4. Radargram ('raw') hasil pengukuran pada singkapan batubara (pada gambar 3).

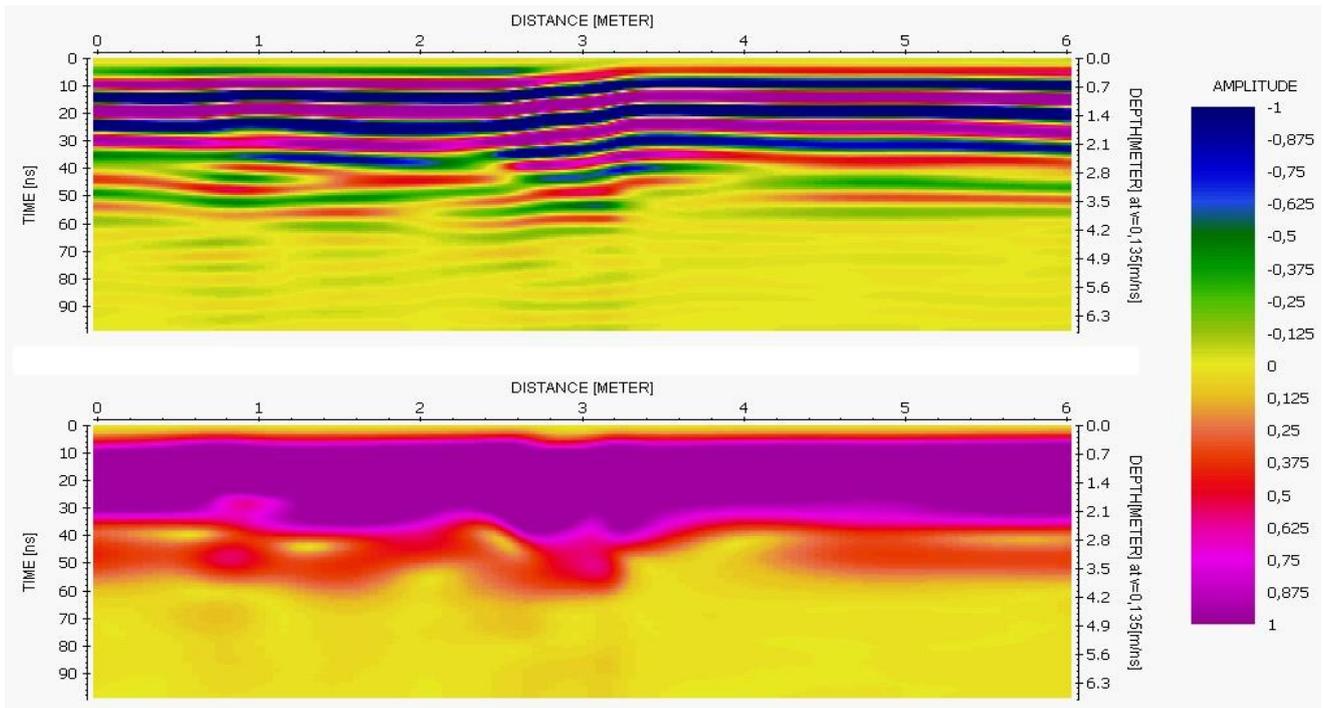
Spektrum amplitude 'raw data' difokuskan pada jendela analisis yaitu pada 4 ns – 36 ns, dan hasilnya seperti gambar 5.



Gambar 5. Spektrum Amplitudo ' Raw ' data pada gambar 3.

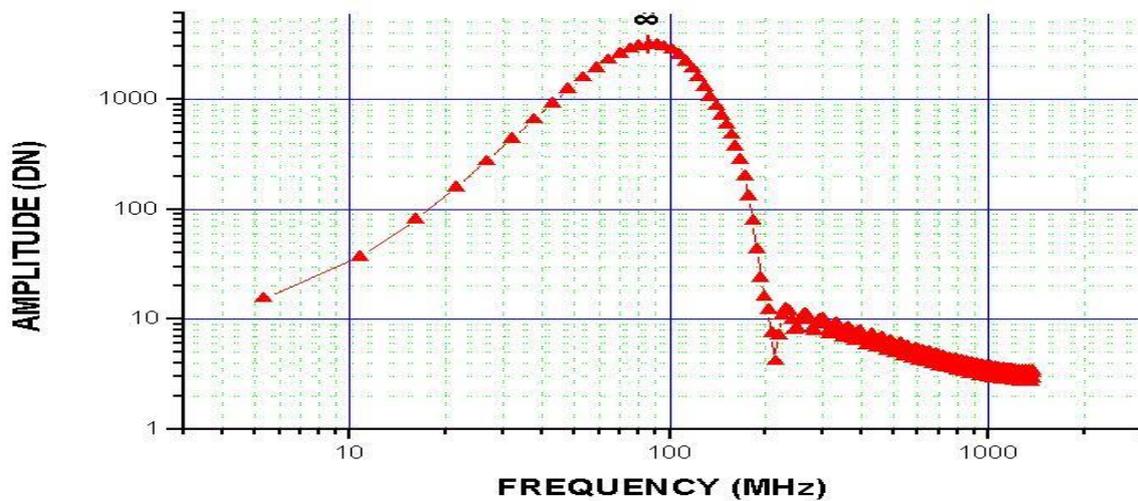
Sedangkan untuk data hasil proses pada pada singkapan tersebut diatas adalah pada gambar 6 dan spectrum amplitudonya juga

difokuskan pada 4 ns – 36 ns pada jendela analisis, hasilnya seperti gambar 7.



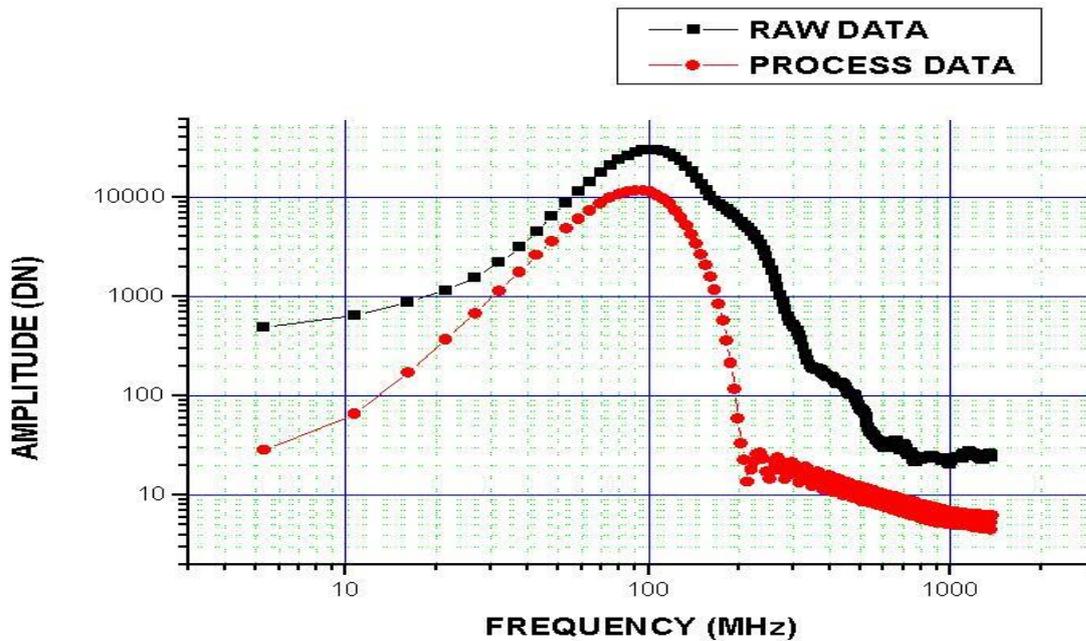
Gambar 6 . Radargram ('proses') hasil pengukuran pada singkapan Batubara (pada gambar 3).

1



Gambar 7. Spektrum Amplitudo ' proses ' data pada gambar 3.

Karena yang akan dianalisa adalah spectrum amplitudonya 'di-superimpose'kan dalam gambar 8. maka untuk melihat perbedaannya secara visual akan



Gambar 8. Superimpose spektrum Amplitudo ‘raw’ dengan ‘proses’ data .

Kedua spectrum amplitudo pada gambar 8 dapat ditentukan nomor sample, frekuensi puncak dan nilai amplitudo dan terkuantifikasi pada table 1.

Tabel 1

Data	Nomor Sampel	Frekuensi puncak (MHz)	Nilai Amplitudo (DN)
Mentah	20	101,6695	30127,67877
Proses	18	90,96748	11594,29145

Jelas bahwa telah terjadi pergeseran puncak frekuensi diakibatkan adanya disipasi energi maupun interferensi sehingga dari frekuensi antenna yang digunakan 100 MHz menjadi 90,96748 MHz maka nilai frekuensi efektif (frekuensi puncak) maupun energi maksimum konsekuensinya berkurang/ penurunan energi yang diterima. Nilai frekuensi puncak 90,96748 MHz adalah nilai frekuensi efektif target. Selisih nilai amplitudo antara data mentah dan proses merupakan nilai amplitudo yang hilang akibat disipasi energi maupun interferensi.

Jadi dapat dikatakan untuk menentukan spektrum amplitudo yang dianalisa maka yang diekstrak adalah spektrum amplitudo hasil proses karena telah bersih dari interferensi maupun ‘clutter’.

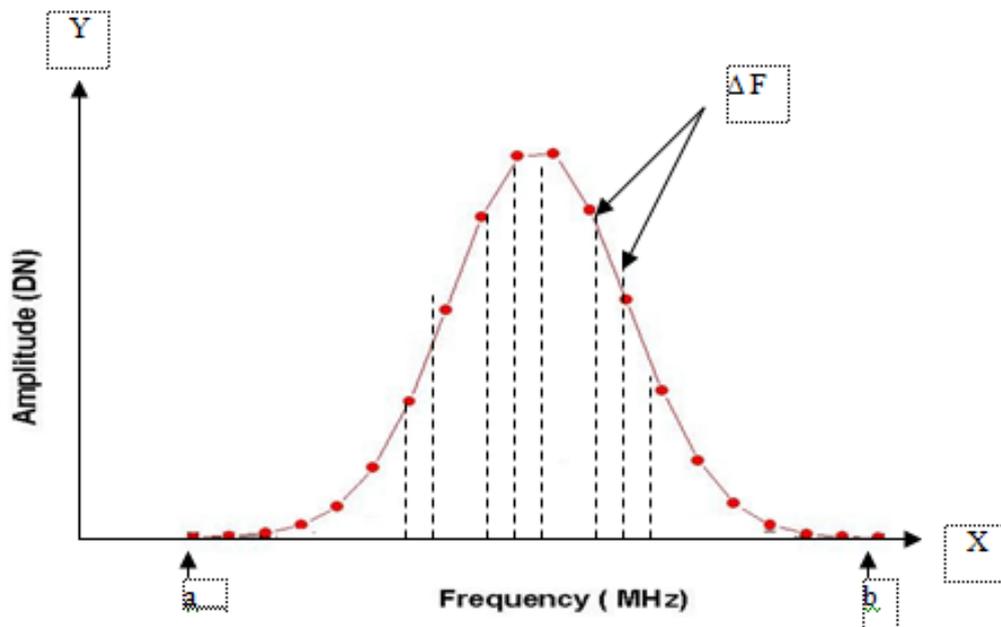
Penggunaan metoda ‘composite trapezoidal’ berdasarkan referensi Jhon.H. Mathews et. al., 1999 adalah untuk menghitung luas efektif dari spectrum amplitudo yang akan dianalisa. Makin rapat sub-interval (frekuensi interval) dan jumlah sample makin banyak maka akan menghasilkan kualitas data yang makin baik. Adapun formulasi dari metoda ini adalah :

$$T(f, h) = \frac{h}{2} (f(a) + f(b)) + h \sum_{k=1}^{M-1} f(x_k) \quad (13)$$

dimana :

- a dan b = batas bawah dan batas atas jendela frekuensi yang akan dianalisa.
- M = sub-interval yaitu jumlah sample wilayah yang akan dianalisa berdasarkan a dan b.
- h = (b-a) / M atau frekuensi interval (Δ f) dimana jarak antara interval adalah sama ($x_k = a + kh$ untuk $k=0,1 \dots M$).

Adapun gambaran cara analisa kurva dengan menggunakan metoda ini seperti gambar 9 dibawah.



Gambar 9. Perkiraan Luas areal dibawah kurva, lebar kurva, tinggi kurva dengan metoda ‘composite trapezoidal’.

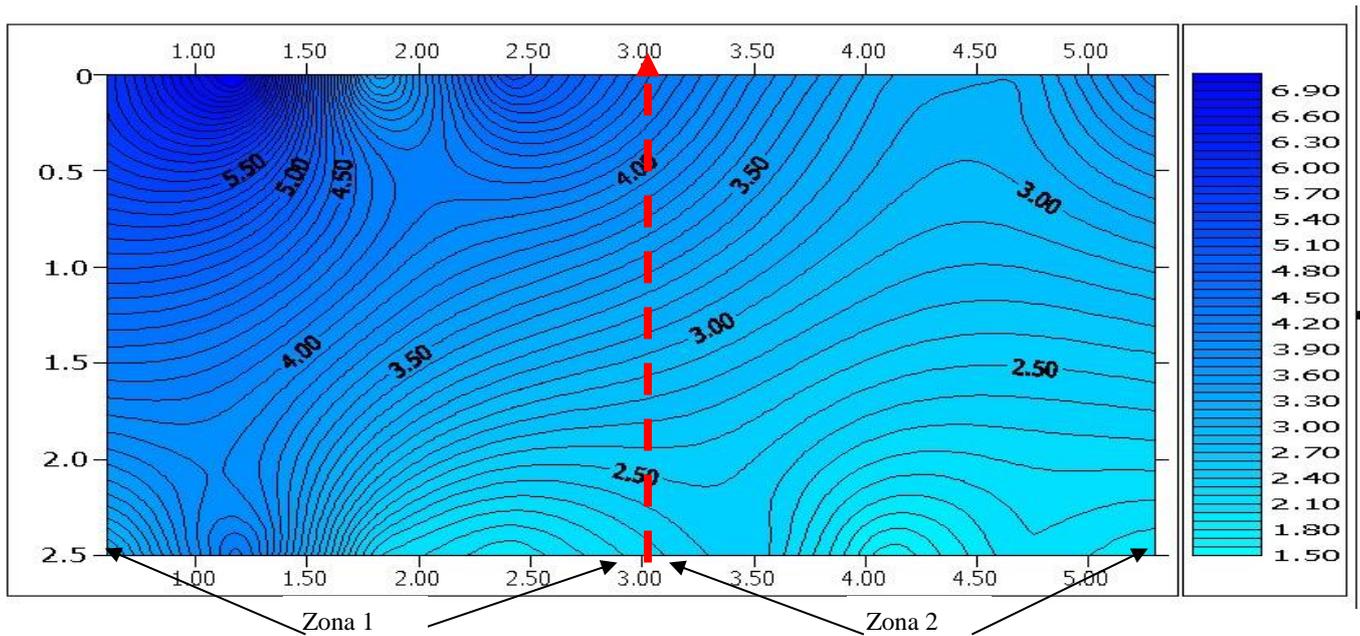
Adapun hasil penerapan metoda ini terhadap spectrum amplitude baik pada data mentah maupun data telah diproses dapat dilihat pada table 2 dengan jumlah sample 257 dan jendela frekuensi yang dianalisa dari 0 sampai 1369, 864 MHz dengan interval frekuensi per- sample (Δf) adalah 5.351027 MHz:

Tabel 2

Data	Areal Yang Dihitung	Frekuensi Puncak (MHz)	Lebar Spektrum (MHz)	Amplitudo Maksimum (DN)
Mentah	3,03415E6	101,6695	80,26544	30127,67877
Proses	907146,29728	90,96748	74,91439	11594,29145

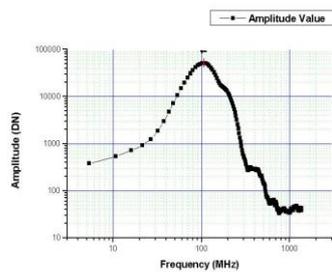
Sebenarnya kurang berarti secara kuantitatif membandingkan antara data mentah dengan hasil proses karena sudah jelas bahwa keduanya punya makna yang berbeda terutama dalam keperluan analisa sifat fisik, tetapi disini mewacanakan kepada kita bahwa data mentah berdasarkan persamaan 12 jelas menunjukkan bahwa semakin kecil pelebaran spectrum maka semakin baik factor kualitas fisik target serta semakin tajam kualitas citra target terhadap sekitarnya .

Untuk mempertegas makna penggunaan metoda ini dalam menentukan nilai- nilai amplitudo maka akan digunakan pada singkapan batubara (gambar 3) baik yang belum diproses (data mentah) maupun telah diproses dimana secara visual maupun fisik (telah diuji laboratorium) dan jelas secara lateral adanya perbedaan sifat fisik yaitu kandungan air. Untuk jelasnya diperlihatkan gambar 10, pengujian sifat fisik berupa hasil analisa proksimat dimana salah satu parameter keluarannya adalah kandungan air total (‘total moisture’).

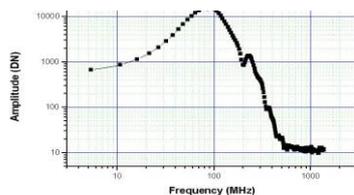


Gambar 10. Profil hasil analisa proksimat dari ‘channel sampling’ dimana arah horizontal mencerminkan titik- titik pengambilan ‘channel sampling’ dan arah vertical adalah ketebalan lapisan batubara. ‘scale bar’ mencerminkan gradasi kandungan air total di lapisan batubara.

Untuk mendeterminasi dan menghitung validitas metoda ‘composite trapezoidal’ maka secara lateral singkapan batubara diatas dibagi dua zona sesuai gambar 10 yaitu zona 1 (sebelah kiri) dimana berdasarkan pengujian laboratorium merupakan zona yang mempunyai kandungan air tinggi dan zona 2 (sebelah kanan) mempunyai kandungan air rendah. Secara visualpun seperti terlihat pada gambar 3, zona sebelah kanan lebih kering dibandingkan sebelah kiri. Adapun spectrum amplitudo masing- masing zona untuk data mentah adalah seperti pada gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Spektrum Amplitudo ‘ raw’ data pada zona 1.



Gambar 12. Spektrum Amplitudo ‘ raw’ data pada zona 2.

Adapun hasil penerapan metoda ‘composite trapezoidal’ terhadap spectrum amplitudo pada jendela analisis 4 – 36 ns (zona geometri batubara) untuk data ‘raw’ pada zona 1 dan zona 2 dapat dilihat pada table 3 dengan jumlah sample 257

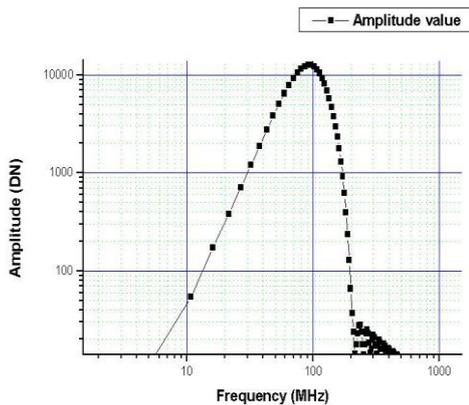
dan jendela frekuensi yang dianalisa dari 0 sampai 1369, 864 MHz dengan interval frekuensi per- sample (Δf) adalah 5.351027 MHz:

Tabel 3

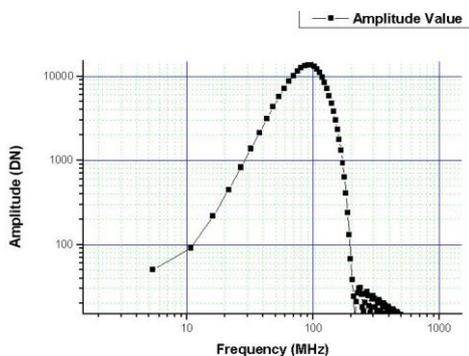
Data	Areal Yang Dihitung	Frekuensi Puncak (MHz)	Lebar Spektrum (MHz)	Amplitudo Maksimum (DN)
Zona 1	5,06861E 6	107,0206	74,91441	51331,0804 2
Zona 2	1,48432E 6	85,61645	74,91442	15918,8018 6

Dari table 3 dapat dianalisa bahwa didalam frekuensi puncak maupun lebar spectrum tidak ada konsistensi pada kedua zona , padahal kedua parameter tersebut sangat menentukan untuk menentukan sifat fisik target yaitu resolusi (frekuensi puncak) maupun factor kualitas (lebar spectrum) sesuai acuan persamaan 12. Dan hasil nilai amplitudo maksimum yang diperoleh tidak sesuai dengan hasil pengujian langsung, dimana seharusnya nilai amplitudo zona 1 lebih rendah daripada zona 2 karena kandungan air zona 1 lebih tinggi.

Sedangkan untuk spectrum amplitudo masing- masing zona untuk data hasil proses seperti pada gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Spektrum Amplitudo hasil proses ‘ data pada zona 1 .



Gambar 14. Spektrum Amplitudo hasil proses ‘ data pada zona 2 .

Adapun hasil penerapan metoda ‘composite trapezoidal’ terhadap spectrum amplitudo pada jendela analisis 4 – 36 ns (zona geometri batubara) untuk data hasil proses zona 1 dan zona 2 dapat dilihat pada table 4 dengan jumlah sample 257 dan jendela frekuensi yang dianalisa dari 0 sampai 1369, 864 MHz dengan interval frekuensi per- sample (Δf) adalah 5.351027 MHz:

Tabel 4

Data	Areal Yang Dihitung	Frekuensi Puncak (MHz)	Lebar Spektrum (MHz)	Amplitudo Maksimum (DN)
Zona 1	984720, 43751	90,96748	74,91439	12548,85
Zona 2	1,05537 E6	90,96748	74,91439	13518,81

Dari table 4 dapat dianalisa bahwa dengan frekuensi puncak dan lebar spectrum sama, zona 2 kurang dalam menyerap energi dan itu dicerminkan dari areal yang dihitung maupun amplitudo maksimum yang dihasilkan. Hasil ini konsisten setelah divalidasi dengan hasil pengujian langsung pada gambar 10.

4.Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditegaskan bahwa :

- Penentuan nilai- nilai amplitudo untuk dapat digunakan dalam mendeterminasi perbedaan kandungan air secara lateral dapat dilakukan apabila nilai- nilai amplitudo tersebut tidak terkontaminasi oleh ‘clutter’ dalam arti sudah diproses dengan tahapan yang benar dan teruji dengan data pengukuran langsung.
- Jumlah data yang diuji menggunakan metoda ‘composite trapezoidal’ harus sama yaitu jumlah trace, jumlah sampel dan pada jendela waktu yang sama.

Ucapan Terimakasih

Kerja yang telah dilakukan ini dibantu oleh Laboratorium Eksplorasi Tambang dan Perusahaan Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA). Saya mengucapkan terimakasih kepada Direksi PTBA, serta kolegea yang tidak bisa disebut satu persatu dalam membantu penyelesaian tulisan ini.

Daftar pustaka

Annan A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors & Software, Ontario, Canada.

Despa, D., Nama, G.F., Muhammad, M.A. and Septiana, T., 2022. Teknologi Internet of Things (IoT) Sistem Kelistrikan 3 Phasa dengan Data Real Time Pengukuran Besaran Listrik (Studi Kasus: Pengaruh Covid-19 pada Konsumsi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Lampung). *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(4), pp.735-742.

Eddy Ibrahim, Lilik Hendrajaya, Gunawan Handayani, Umar Fauzi, Syaiful Islam., 2003a. Determination Study of Coal Seams Thickness by Using GPR Method, JCJ 2003, The 32nd IAGI and the 28th HAGI Annual Convention and Exhibition, Expanded Abstarcts.

Eddy Ibrahim, Lilik Hendrajaya, Umar Fauzi, Gunawan Handayani, Syaiful Islam., 2003b. Estimation Study of Total Moisture Variability in Coal Seams Laterally by Using GPR Method, JCJ 2003, The 32nd IAGI and the 28th HAGI Annual Convention and Exhibition, Expanded Abstarcts.

Engheta N. and Papas C.H. 1982. Radiation patterns of interfacial dipole antenna. *Radio Science* 17, 1557-1566.

Jol. H.M., 1995. Ground penetrating radar antennae frequencies and transmitter powers compared for penetration depth, resolution and reflection continuity, *Geophysical Prospecting* 43, 693-709.

Tjia M.O., 1997. Teori Elektrodinamika Klasik, Departemen Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung.

Tjandi, R., Nama, G.F. and Muhammad, M.A., 2021. Rancang Bangun Aplikasi Lokasi Bus Rapid Transit (BRT) Berbasis Global Positioning System (GPS) dan SMS Gateway. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 9(1).