Rp 8.100

LAPORAN
PENELITIAN UNGGULAN

Judul :

STUDI PENGGUNAAN ALAT GEORADAR OKO-2 FREKUENSI 250 MHz DAN 400 MHz UNTUK KARAKTERISASI GEOMETRI , *CLEAT ORIENTATION* DAN KADAR AIR PADA LAPISAN BATUBARA

Oleh :

Ketua : Ir. Ubaidillah Anwar Prabu, MS

Anggota :
1. **Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS**
2. **Ir. Maulana Yusup, MS, MT**
3. **Ir. Abuamat HAK, MsiE**
4. **Ir. Djuki Sudharmono, DESS**
5. **Ir. M. Amin, MS**
6. **Ir. A. Rahman, MS**
7. **Ir. Makmur Asyik, MS**
8. **RR. Harminuke E H, ST., MT**

Dibiayai dari Dana DIPA Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Nomor : 013/UPPM/IX/FT/2011
Tanggal 01 September 2011

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2011

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN UNGGULAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
TAHUN ANGGARAN 2011

1. Judul penelitian	:	Studi Penggunaan AlatGeoradar OKO-2 Frekuensi 250 MHz dan 400 MHz Untuk Karakterisasi Geometri ,*Cleat Orientation* dan kadar air pada lapisan Batubara
2. Bidang ilmu Penelitian	:	Geofisika Tambang
3. Ketua Peneliti		
a. Nama lengkap	:	Ir. Ubaidillah Anwar Prabu, MS
b. Jenis Kelamin	:	Laki-laki
c. NIP	:	19551018198031001
d. Jabatan Struktural	:	Kepala Lab. Perminyakan, Jur. T. Pertambangan
e. Jabatan Fungsional	:	Asisten Ahli
f. Bidang keahlian	:	Geofisika dan Perminyakan
g. Fakultas/Jurusan	:	Teknik/Teknik Pertambangan
g. Perguruan Tinggi	:	Universitas Sriwijaya
h. Alamat	:	Jl. Palembang Inderalaya, KM 32 Ogan Ilir
i. Telpon/Faks	:	0711-580137 / 0711-580137
4. Jumlah Tim Peneliti	:	9 Orang
5. Lokasi Penelitian	:	Tanjung Enim dan Indralaya
6. Jangka Waktu Penelitian	:	7 Bulan
7. Biaya	:	Rp. 15.000.000 ,-

Indralaya, 5 Desember 2011

Menyetujui,
Ketua Unit PPM Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Dr. Ir. Riman Sipahutar, MSc
NIP 195606041986021001

Ketua Peneliti,

Ir. Ubaidillah Anwar Prabu, MS
NIP 19551018198031001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA
NIP 195308141985031002

ABSTRAK

Tulisan ini menggambarkan pengembangan teknik GPR untuk pengukuran kandungan air total pada batubara baik secara spasial maupun temporal. Teknik pengukuran yang ada adalah terbatas, dan umumnya memerlukan waktu untuk mendapatkan hasilnya, serta destruktif. Pengukuran dengan GPR adalah tidak destruktif dan cepat. Tulisan ini menyelidiki hubungan antara sejumlah sifat- sifat pada sinyal GPR dan variasi kandungan air total (VKAT) di lapisan batubara. Percobaan dilakukan pada model fisik batubara di alam baik pada peringkat yang sama maupun peringkat yang bervariasi pada satu lapisan dan dapat terkontrol berdasarkan hasil pemboran maupun analisa laboratorium ('proximate analysis') dimana analisa kuantitatif digunakan dua metoda pendekatan yaitu Spektrum amplitude dan spectrum fase. Hubungan yang berarti didapat antara sinyal amplitudo dan kandungan air total baik pada peringkat batubara yang sama maupun bervariasi sedangkan sinyal fase dapat digunakan untuk menentukan batas dari pada peringkat batubara satu dengan batubara yang lain secara lateral. Hubungan kuantitatif antara metoda GPR dan metoda yang lain (channel sampling) untuk pengukuran kandungan air kurang sinkron disebabkan perbedaan dalam lokasi pencuplikan, kedalaman penyelidikan dan kemungkinan pengaruh keberadaan mineral- mineral diantara bidang- bidang perlapisan batubara atas hubungan antara kandungan air bebas di permukaan batubara ('free moisture content') dan kandungan air total batubara (" total moisture content"). Disamping itu kurangnya akurasi dalam pengukuran ini disebabkan pengaruh akuisisi data seperti offset dan posisi antenna yang tidak stabil, kondisi permukaan singkapan batubara yang tidak solid sehingga berdampak pada variabilitas profil pada sinyal yang teramati.

Kata- kata kunci: GPR, kandungan air, amplitudo, model alam

ABSTRACT

This article depict development of technique of GPR for the measurement of total moisture at seam coal either through spatial and temporal. Existing measurement technique is, and generally need time to get result of it, destructive and also. Measurement with GPR is not destructive and quickly. This article of investigate relation between a number of nature of GPR response and distribution variation of total moisture in seam coal. Attempt conducted at seam coal physical model in good nature at rank the sameness and of rank which vary at one seam and can be controlled pursuant to drilling result and laboratory analysis (analysis proximate) where used by quantitative analysis two approach method that is amplitude spectrum and phase spectrum. Relation meaning to be got by between amplitude response and good total moisture content at rank of same coal and vary while phase response can be used to delimitate from rank of coal one with other seam coal by lateral. Quantitative relation between GPR method and other method (channel of sampling) for the measurement of content irrigate less is caused by difference in location isn't it, deepness of investigation and possibility of influence of existence of mineral- mineral among fracture plane in seam coal to the relation between free water content on the surface of coal (free total moisture content) and total moisture content of coal. Beside that the lack of accuration in this measurement is caused by influence of data acquisition like position and offset of antenna the unstableness, condition of surface outcrop coal which do not solid so that affect at profile variability at signal return.

KATA PENGANTAR

Puji syukur di panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan ridhonya, tim pelaksana dapat menyelesaikan kegiatan penelitian sesuai rencana. Kegiatan ini dapat terselenggara atas bantuan berbagai pihak, untuk itu tim menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta Jajarannya.
2. Fakultas Teknik yang telah mendanai pelaksanaan kegiatan penelitian ini berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksana Penelitian Unggulan DIPA FT UNSRI tahun Anggaran 2011- 2012 Nomor : 013 /UPPM/IX/FT/2011.
3. Direksi PTBA beserta Jajarannya yang telah memfasilitasi kegiatan Penelitian ini.
4. Semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu perstu

Akhirnya, tim peneliti mengharapkan kegiatan penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya geofisika eksplorasi.

Inderalaya, Desember 2011

Tim Peneliti,

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Persoalan Penelitian	2
1.3. Hipotesa Yang Hendak Diuji	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II. STUDI PUSTAKA	5
2.1. Proses Pembentukan Batubara	5
2.2. Tipe Endapan Batubara dan Kondisi Geologi	6
2.3. Tingkatan Batubara (*Rank of Coal*)	9
2.4. Analisa Batubara	9
2.5. Penelitian Terdahulu	18
2.6. Penelitian Awal	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Variabel Penelitian	22
3.2. Tahapan Proses Penelitian	22
3.3. Lokasi Penelitian dan Singkapan Batubara Yang Diteliti	24
3.4. Alat-Alat Yang Digunakan	25
3.5. Pengujian Sampel	26
3.6. Prosedur Penelitian dan Percobaan	26

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 28
4.1. Model Lapangan dengan Panjang Lintasan 6. 05 M
(Frekuensi 250 MHz) 29
4.2. Model Lapangan dengan Panjang Lintasan 3.12 M
(Frekuensi 400 MHz) 33

BAB V. KESIMPULAN 45

DAFTAR PUSTAKA 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

3.1. Diagram Alir Penelitian 23

3.2. Lokasi Penelitian 24

3.3. Singkapan Batubara Yang Diteliti Mneggunakan Frek. Ant. 250 MHz 24

3.4. Singkapan Batubara Yang Diteliti Mneggunakan Frek. Ant. 400 MHz 25

3.5. Peralatan GPR 26

3.6. Diagram Kerja Metode Georadar (GPR) 27

4.1. Cara Akuisisi Reflection Profiling..... 29

4.2. Skematik Akuisisi Channel Sampling..... 30

4.3. Profil Hasil Analisa Proksimat dari Channel Sampling..... 30

4.4. Profil Hasil Akuisisi data (Raw) Panjang Lintasan 6.05 M 31

4.5. Profil Hasil Pemrosesan data , Panjang Lintasan 6.05 M 31

4.6. Grafik Nilai- nilai Amplitudo Rata- rata 32

4.7. Grafik Nilai- nilai Sudut Fase Rata- rata 33

4.8. Data Informasi Litologi Tambang Air Laya 35

4.9. Profil Hasil Akuisisi data (Raw) Panjang Lintasan 3.12 M 35

4.10. Profil Hasil Akuisisi data (Raw) Panjang Lintasan 3.12 M (Fre. 50 MHz)..... 37

4.11. Profil Hasil Pemrosesan data Panjang Lintasan 3.12 M (Frek. 400 MHz) 37

BAB I.
PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Salah satu persoalan dalam eksplorasi batubara adalah bagaimana menentukan orientasi dan kontinuitas 'seam" batubara apabila telah diketahui singkapan dari "seam" tersebut dari permukaan bumi. Selama ini untuk menentukan kedua kondisi tersebut dilakukan dengan melakukan korelasi antar lubang bor, dimana makin rapat jarak antar lubang bor maka makin baik dan teliti. Tetapi penggunaan metoda tersebut sangat tidak ekonomis. Untuk hal tersebut perlu dicari metoda yang paling tepat baik ditinjau dari aspek teknik maupun ekonomis

Metoda yang diusulkan adalah metoda GPR (Ground penetrating radar). Keunggulan metoda ini dibandingkan metoda geofisika lain adalah penyelidikan dengan metoda ini tidak merusak (non-destructive test), dapat menggambarkan (delineation) bawah permukaan secara kontinyu dan cepat, mempunyai resolusi tinggi (orde meter sampai dengan centimeter) dan mobilitas tinggi serta biaya operasional murah.

Metoda GPR diterapkan dalam usulan penelitian ini karena :

(1). Metoda GPR belum berhasil diterapkan dalam skala lapangan untuk eksplorasi batubara (Chufo, 1995; Noon D.A, 1996).

(2). Sifat fisis batubara yaitu konstanta dielektrik batubara tidak sama dengan konstanta dielektrik lingkungannya (Noon D.A, 1996).

(3). Geometri "seam" batubara umumnya tersingkap, tetapi orientasi dan kontinyuitasnya tidak menentu disebabkan efek fenomena geologi yang bervariasi.

Beberapa pengujian yang telah dilakukan baik dalam skala laboratorium maupun lapangan terbatas antara lain memperlihatkan hasil yang cukup berarti terutama dalam akuisisi data dimana pengukuran ini dimungkinkan untuk mengklasifikasikan sinyal yang terekam karena lingkungannya terkontrol. Pengukuran dalam skala lapangan kurang menghasilkan resolusi yang diinginkan dikarenakan lingkungan secara nyata sangat kompleks dan belum dilakukannya modifikasi- modifikasi akuisisi pengukuran baik dari alat ukur maupun karakterisasi sifat dan geometri target.

Berdasarkan hasil penelitian awal tersebut penentuan geometri seam, orientasi *cleat* dan kadar air batubara dalam skala lapangan kemungkinan dapat dilakukan dengan perancangan teknik akuisisi data yang baru pada Alat Georadar Merk OKO-2 Buatan Rusia, milik Laboratorium Eksplorasi dan Hidrologi, Jurusan Teknik Pertambangan FT. Unsri

Keluaran hasil analisa terhadap pelaksanaan teknik akuisisi tersebut diatas diharapkan *performance optimal* dalam penggunaan Alat Georadar Merk OKO-2 untuk eksplorasi dalam skala lapangan serta perencanaan penggalian batubara menggunakan alat berat.

1.2. PERSOALAN PENELITIAN

Permasalahannya adalah bagaimana merancang teknik akuisisi agar keluarannya berupa "radargram" dapat secara jelas membedakan antara seam

batubara dengan lingkungannya serta orientasi cleat yang bervariasi dalam skala lapangan.

Fenomena- fenomena tersebut secara lapangan dan ilmiah dapat dideterminasi dengan melakukan korelasi antara hasil teknik akuisisi dan pemrosesan data GPR yang baru tersebut dengan informasi sampling (coring), model alam yang tersingkap (terdefinisi) atau dengan bantuan metoda geofisika lain. Perlunya determinasi fenomena- fenomena tersebut untuk merancang teknik akusisi dilapangan yang baru agar didapat resolusi data mentah ("raw data") yang akurat dan jelas. Sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang dan mengembangkan atau memodifikasi teknik pemrosesan data baru agar dapat memenuhi kriteria-kriteria sesuai dengan "performance" GPR. Oleh karena itu perlu kajian yang mendalam baik secara analitik maupun empirik agar metode GPR dapat dipakai dalam eksplorasi batubara khususnya untuk memetakan "seam" batubara dan orientasi- orientasi cleat dalam batubara dalam lingkungan yang bervariasi dalam skala lapangan.

1.3. HIPOTESA YANG HENDAK DIUJI ATAU FAKTA EMPIRIK YANG AKAN DIUNGKAPKAN

Hipotesa yang hendak diverifikasi adalah polarisasi dan hamburan dari radiasi perambatan gelombang radar dipengaruhi oleh orientasi dan konfigurasi antenna serta geometri dan sifat-sifat target beserta medium disekitarnya ('host rock'), oleh karena itu dengan memanfaatkan kedua sifat tersebut, maka dapat ditentukan konfigurasi dan orientasi antenna yang paling tepat sehingga dapat mereduksi

hamburan dan dispersi serta efek-efek lainnya yang ditimbulkan oleh target yang bersifat anisotropik yang dapat menimbulkan kesalahan interpretasi.

Berdasarkan penelitian pendahuluan bahwa pengukuran yang searah dengan 'crack' sample resolusinya secara visual (radargram) lebih jelas dibandingkan yang tegak lurus. Oleh sebab itu fenomena tersebut perlu diverifikasi dan dikuantifikasi dalam skala lapangan.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan yang dapat dicapai melalui penelitian ini adalah : perancangan teknik akuisisi data GPR yang baru dalam skala lapangan menggunakan Alat Georadar Merk OKO-2 Buatan Rusia, milik Laboratorium Eksplorasi dan Hidrologi, Jurusan Teknik Pertambangan FT. Unsri untuk dapat menggambarkan ('delineate') secara jelas antara 'seam' batubara dengan lingkungannya ('host rock') serta kadar air dan arah dari *cleat* dalam batubara.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat hasil penelitian adalah didapatkan teknik akuisisi baru dengan menggunakan Alat Georadar Merk OKO-2 Buatan Rusia, milik Laboratorium Eksplorasi dan Hidrologi, Jurusan Teknik Pertambangan FT. Unsri untuk menentukan 'seam' batubara dan orientasi cleat serta kadar air dalam batubara dengan sekitarnya ('host rock') yang berdampak pada optimalisasi eksplorasi batubara dan secara ekonomis akan mengurangi biaya eksplorasi.

BAB II.
STUDI PUSTAKA

2.1. PROSES PEMBENTUKAN BATUBARA

Proses awalnya pembentukan batubara yaitu endapan tumbuhan berubah menjadi gambut (*peat*), yang selanjutnya berubah menjadi batubara muda (*lignite*) atau disebut pula batubara coklat (*brown coal*). Setelah mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus selama jutaan tahun, maka batubara muda akan mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan mengubah batubara muda menjadi batubara subbituminus (*sub-bituminous*). Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam sehingga membentuk bituminus (*bituminous*) atau antrasit (*anthracite*). Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk antrasit. R*ank of coal* atau tingkatan kualitas batubara yang terdiri dari :

1. Gambut (*peat*)
2. Lignit (*brown coal*)
3. Bituminus
4. Antrasit

Proses pembentukan batubara dari gambut hingga antrasit, tentu saja dipengaruhi oleh terdapat beberapa faktor seperti adanya perkembangan dan jenis tumbuh-tumbuhan, keadaan lingkungan pengendapan, dan adanya proses geologi.

Perkembangan dan jenis tumbuh-tumbuhan sangat berpengaruh sekali terhadap jenis dan akumulasi batubara yang terjadi. Berbagai macam jenis tumbuhan dan bagian-bagian dari akar sampai bunga, antara lain : *vitrain* yang terbentuk dari batang kayu yang keras dan merupakan batubara yang porous.

Sementara itu, keadaan lingkungan pengendapan batubara akan mempengaruhi jenis, kilap dan peringkat dari batubara. Keadaan lingkungan pengendapan ini meliputi : cuaca, iklim dan keadaan tanah maupun rawa-rawa tersebut. Batubara yang terendapkan pada daerah tropis dan beriklim hangat akan membentuk batubara yang mengkilap, sedangkan pada daerah dingin akan membentuk batubara yang kusam.

Sedangkan proses geologi yang dapat mempengaruhi pembentukan atau peningkatan derajat kualitas batubara, antara lain :

1. Intrusi yang menyebabkan batubara mengalami metamorfosa kontak sehingga derajat batubara akan meningkat seperti di Tambang Air Laya dan Balong Hijau.
2. Perlipatan yang terjadi pada zona perlipatan yang kuat, batubara akan mengalami kenaikan derajat.
3. Patahan atau zona patahan, batubara akan mengalami metamorfosis akibat adanya dislokasi, misalnya : di Ombilin Sumatera Barat.

2.2. TIPE ENDAPAN BATUBARA DAN KONDISI GEOLOGI

2.2.1. Tipe Endapan Batu Bara

Secara umum endapan batubara utama di Indonesia terdapat dalam endapan batubara Ombilin, Sumatera Selatan, Kalimantan Timur dan Bengkulu. Tipe endapan batubara tersebut masing-masing memiliki karakteristik tersendiri yang mencerminkan sejarah sedimentasinya. Selain itu, proses pasca pengendapan seperti tektonik, metamorfosis, vulkanik dan proses sedimentasi lainnya turut mempengaruhi kondisi geologi atau tingkat kompleksitas pada saat pembentukan batubara.

2.2.2. Kondisi Geologi/Kompleksitas

Berdasarkan proses sedimentasi dan pengaruh tektonik, karakteristik geologi tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu : kelompok geologi sederhana, kelompok geologi moderat, dan kelompok geologi kompleks. Uraian tentang batasan umum untuk masing-masing kelompok, antara lain :

2.2.2.1. Kondisi Geologi Sederhana

Endapan batubara pada kelompok ini umumnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas tektonik, seperti : sesar, lipatan, dan intrusi. Lapisan batubara pada umumnya landai, menerus secara lateral sampai ribuan meter, dan hampir tidak mempunyai percabangan. Ketebalan lapisan batubara secara lateral serta kualitasnya tidak memperlihatkan variasi yang berarti. Contoh endapan batubara seperti ini terdapat di Lapangan Banko Selatan dan Muara Tiga Besar (Sumatera Selatan), Senakin Barat (Kalimantan Selatan) dan Cerenti (Riau).

2.2.2.2. Kondisi Geologi Moderat

Endapan batubara dalam kelompok ini diendapkan dalam kondisi sedimentasi yang lebih bervariasi dan sampai tingkat tertentu telah mengalami perubahan pasca pengendapan dan tektonik. Sesar dan lipatan tidak begitu banyak, begitu pula dengan pergeseran dan perlipatan yang diakibatkannya relatif sedang.

Kelompok ini dicirikan dengan kemiringan lapisan dan variasi ketebalan lateral yang sedang serta berkembangnya percabangan lapisan batubara, namun sebarannya masih dapat diikuti sampai ratusan meter. Kualitas batubara secara langsung berkaitan dengan tingkat perubahan yang terjadi baik pada saat proses sedimentasi berlangsung maupun pada pasca pengendapan. Pada beberapa tempat, intrusi batuan beku mempengaruhi struktur lapisan dan kualitas batubara. Endapan batubara seperti ini terdapat di daerah Senakin, Formasi Tanjung (Kalimantan Selatan), Loa Janan-Loa Kulu, Petanggis (Kalimantan Timur), Suban dan Air Laya (Sumatera Selatan) serta Gunung Batu Besar (Kalimantan Selatan).

2.2.2.3. Kondisi Geologi Kompleks

Endapan batubara pada kelompok ini umumnya diendapkan dalam sistem sedimentasi yang komplek atau telah mengalami deformasi tektonik yang ekstensif sehingga terbentuknya lapisan batubara dengan ketebalan yang beragam. Kualitas batubara banyak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan yang terjadi saat proses sedimentasi berlangsung atau pada pasca pengendapan, seperti : pembelahan atau kerusakan lapisan (*wash out*), pergeseran, perlipatan, dan pembalikan (*overturned*) yang ditimbulkan oleh aktivitas tektonik, umum

dijumpai dan sifatnya rapat sehingga menjadikan lapisan batubara sukar dikorelasikan.

Perlipatan yang kuat juga mengakibatkan kemiringan lapisan yang terjal. Secara lateral, sebaran lapisan batubara terbatas dan hanya dapat diikuti sampai puluhan meter. Endapan batubara dari kelompok ini, banyak ditemukan pada daerah Ambakiang, Formasi Warukin, Ninian, Belahing, dan Upau (Kalimantan Selatan), Sawahluwung (Sawahlunto, Sumatera Barat), daerah Air Kotok (Bengkulu), Bojongmanik (Jawa Barat) serta daerah batubara yang mengalami ubahan intrusi batuan beku di Bunian Utara (Sumatera Selatan).

2.3. TINGKATAN BATUBARA (*RANK OF COAL*)

Merupakan suatu penggolongan batubara sesuai dengan derajat penguraian bakteri dalam suasana *anaerobic*, pelapukan (*coalification)* secara alami dari *Brown Coal* (*low rank*) menjadi Antrasit (*high rank*), yang ditunjukan oleh sifat fisika dan kimiawi yang dimilikinya.

2.4. ANALISA BATUBARA

Proses pembakaran batubara merupakan proses yang kompleks, oleh karena itu dibutuhkan perlakuan khusus untuk mempermudah penentuan kualitas yang terkait dengan nilai *thermal* dan perkiraan adanya komponen yang memberikan nilai negatif baik pada efisiensi pembakaran maupun pada lingkungan.

"Untuk industri yang berkaitan dengan proses pembakaran, sangat penting sekali diketahui komposisi kimia, CV, dan nilai muai bebas (FSI) melalui penentuan AFT batubara" (Williams, A., Pourkashanian, ., and Jones, J. M, 2000).

Oleh karena itu analisa karakteristik batubara sebelum dilakukan pembakaran sangat penting dilakukan. Analisa untuk mengukur kualitas batubara adalah analisa proksimat dan ultimat. Secara umum, analisa proksimat dan ultimat dilakukan di laboratorium. Dimana tes-tes dalam analisa ini telah banyak diuraikan dalam buku-buku dan jurnal-jurnal (Frost et.al, 1978, Van Krevelen, 1993, Carpenter, 1988, Carpenter dan Skorupska, 1993)[13]. Analisa proksimat dan ultimat dilakukan dalam berbagai metode yaitu *American Society for Testing Materials* (ASTM), *International Standards Organization* (ISO), dan *British Standards* (BS)

Dalam analisa dan pengujian batubara, pada umumnya dibagi atas tiga kelompok, yaitu :

2.4.1. Analisa Proksimat (Analisa Pendekatan)

Analisa ini digunakan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas batubara dalam kaitannya dengan penggunaan batubara tersebut, yaitu untuk mengetahui jumlah relatif air lembab (*moisture content*), zat terbang (*VM*), abu (*ash*), dan karbon tertambat (*FC*) yang terkandung didalam batubara. Analisa proksimat ini merupakan pengujian yang paling mendasar dalam penentuan kualitas batubara.

2.4.1.1. Kandungan Air (*Moisture content*)

Dalam batubara, *moisture content* paling sedikitnya terdiri atas satu senyawa kimia tunggal. Wujudnya dapat berbentuk air yang dapat mengalir dengan cepat dari dalam sampel batubara, senyawa teradsorpsi, atau sebagai senyawa yang terikat secara kimia. Sebagian *moisture* merupakan komponen zat mineral yang tidak terikat pada batubara.

Dalam ilmu perbatuan, dikenal istilah *moisture* dan air. *Moisture* didefinisikan sebagai air yang dapat dihilangkan bila batubara dipanaskan sampai suhu 105°C. Sementara itu, air dalam batubara ialah air yang terikat secara kimia pada lempung.

Semua batubara mempunyai pori-pori berupa pipa-pipa kapiler, dalam keadaan alami pori-pori ini dipenuhi oleh air. Didalam standar ASTM, air ini disebut *moisture* bawaan *(inherent moisture).* Ketika batubara ditambang dan diproses, air dapat teradsorpsi pada permukaan kepingan batubara, menurut standar ASTM air ini disebut *moisture* permukaan (*surface moisture*). Air yang terbentuk dari penguraian fraksi organik batubara atau zat mineral secara termis bukan merupakan bagian dari *moisture* dalam batubara.

Moisture yang datang dari luar saat batubara itu ditambang dan diangkut atau terkena hujan selama penyimpanan disebut *free moisture* (standar ISO) atau *air-dry loss* (standar ASTM). *Moisture* jenis ini dapat dihilangkan dari batubara dengan cara dianginkan atau dikering-udarakan. *Moisture in air-dried sample* (ISO) atau *residual moisture* (ASTM) ialah *moisture* yang hanya dapat dihilangkan bila sampel batubara kering-udara yang berukuran lebih kecil dari 3 mm (-3 mm) dipanaskan hingga 105°C. Penjumlahan antara free *moisture* dan *residual moisture* disebut total *moisture*. Data *moisture* dalam batubara kering-udara ini digunakan untuk menghitung besaran lainnya dari basis kering-udara (adb), bebas- *ash* (daf) dan basis kering, bebas-mineral *matter* (dmmf).

Kandungan air total merupakan dasar penilaian yang sangat penting. Secara umum, tinggi rendahnya kandungan air berpengaruh pada beberapa aspek

teknologi penggunaan batubara terutama dalam penggunaan untuk tenaga uap. Dalam penggerusan, kelebihan kandungan air akan berakibat pada komponen mesin penggerus karena abrasi. Parameter lain yang terpengaruh oleh kandungan air adalah nilai kalor. Semakin besar kadar air yang terkandung oleh batubara maka akan semakin besar pula nilai kalor dalam pembakaran.

Penentuan kandungan air didalam batubara bisa dilakukan melalui proses satu tahap atau proses dua tahap. Proses dilakukan dengan cara pemanasan sampel sampai terjadi kesetimbangan kandungan air didalam batubara dan udara. Penentuan kandungan air dengan cara tersebut dilakukan pada temperatur diatas titik didih air (ASTM 104-110° C).

2.4.1.2. Kandungan Abu (*Ash content*)

Coal ash didefinisikan sebagai zat organik yang tertinggal setelah sampel batubara dibakar *(incineration)* dalam kondisi standar sampai diperoleh berat yang tetap. Selama pembakaran batubara, zat mineral mengalami perubahan, karena itu banyak *ash* umumnya lebih kecil dibandingkan dengan banyaknya zat mineral yang semula ada didalam batubara. Hal ini disebabkan antara lain karena menguapnya air konstitusi (*hidratasi*) dan lempung, karbon dioksida serta karbonat, teroksidasinya pirit menjadi besi oksida, dan juga terjadinya fiksasi belerang oksida.

Ash batubara, disamping ditentukan kandungannya *(ash content),* ditentukan pula susunan (komposisi) kimianya dalam analisa *ash* dan suhu leleh dalam penentuan suhu leleh *ash.*

Abu merupakan komponen *non-combustible organic yang* tersisa pada saat

pula sedikit presentase nitrogen, belerang, hidrogen, dan mungkin pula oksigen sebagai zat terabsorbsi atau bergabung secara kimia.

Fixed Carbon merupakan ukuran dan padatan yang dapat terbakar yang masih berada dalam peralatan pembakaran setelah zat-zat mudah menguap yang ada dalam batubara keluar. Ini adalah salah satu nilai yang digunakan didalam perhitungan efesiensi peralatan pembakaran.

2.4.1.4. *Volatile Matter*

Definisi *volatile matter* (VM) ialah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*). Suhunya adalah 900°C, dengan waktu pemanasan tujuh menit tepat.

Volatile yang menguap terdiri atas sebagian besar gas-gas yang mudah terbakar, seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metan, serta sebagian kecil uap yang dapat mengembun seperti tar, hasil pemecahan termis seperti karbon dioksida dari karbonat, sulfur dari pirit, dan air dari lempung.

Moisture berpengaruh pada hasil penentuan VM sehingga sampel yang dikeringkan dengan oven akan memberikan hasil yang berbeda dengan sampel yang dikering-udarakan. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil penentuan VM ini adalah suhu, waktu, kecepatan pemanasan, penyebaran butir, dan ukuran partikel.

VM yang ditentukan dapat digunakan untuk menentukan *rank* suatu batubara, klasifikasi, dan proporsinya dalam *blending. Volatile matter* juga penting dalam pemilihan peralatan pembakaran dan kondisi efisiensi pembakaran.

2.4.2. Analisa Ultimat (Analisa Elementer)

Analisa Ultimat (analisa elementer) adalah analisa dalam penentuan jumlah unsur Karbon (*Carbon* atau C), Hidrogen (*Hydrogen* atau H), Oksigen (*Oxygen* atau O), Nitrogen (*Nytrogen* atau N) dan Sulfur (*Sulphur* atau S).

Komponen organik batubara terdiri atas senyawa kimia yang terbentuk dari hasil ikatan antara karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan sulfur. Analisa ultimat merupakan analisa kimia untuk mengetahui presentase dari masing-masing senyawa. Dari hasil analisa tersebut, penggunaan batubara khususnya PLTU dapat memperkirakan secara stoikiometri udara yang akan dibutuhkan dalam pembakaran batubara nanti. Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah udara yang dibutuhkan dalam pembakaran secara teoritis adalah sebagai berikut :

$$A/F = \frac{2{,}66C + 7{,}94H + 0{,}998S - O}{0{,}232} \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana :

A/F adalah perbandingan udara-bahan bakar teoritis, satuan kg udara/kg bahan bakar

C, H, S dan O adalah kandungan C, H, S dan O dalam batubara basis begitu terbakar atau diterima (*as fired* atau *as received*)

Nilai 0,232 adalah jumlah oksigen dalam udara.

2.4.2.1. Karbon dan Hidrogen

Karbon dan hidrogen dalam batubara merupakan senyawa kompleks hidrokarbon yang dalam proses pembakaran akan membentuk CO2 dan H2O. Selain dari karbon, mineral karbonat juga akan membebaskan CO2 selama proses pembakaran batubara berlangsung, sedangkan H2O diperoleh dari air yang terikat pada tanah liat. Analisa ini sangat penting untuk menentukan proses pembakaran, terutama untuk penyediaan jumlah udara yang dibutuhkan.

Untuk penentuan karbon dan hidrogen dalam batubara yang mempunyai *rank* rendah digunakan cara *Liebig,* karena batubara yang banyak mengandung *volatile matter* tinggi dapat meledak bila dipanaskan sampai suhu tinggi. Namun, penetapan kadar karbon dan hidrogen sesuai metode ASTM D 5373-02 adalah dengan menggunakan Teknik *Infra Red* (IR).

Pada metode ASTM D 5373-02, contoh batubara dibakar pada temperatur tinggi dalam aliran oksigen sehingga seluruh hidrogen diubah menjadi uap air dan karbon menjadi karbondioksida. Uap air dan karbondioksida ditangkap oleh detektor *infra red.* Melalui detektor inilah kandungan karbon dan hidrogen dapat dibaca.

2.4.2.2. Nitrogen

Nitrogen dalam batubara hanya terdapat sebagai senyawa organik. Tidak dikenal adanya mineral pembawa nitrogen dalam batubara, hanya ada beberapa senyawa nitrogen dalam air kapiler, terutama dalam batubara muda. Pada pembakaran batubara, nitrogen akan berubah menjadi nitrogen oksida yang bersama gas buangan akan bercampur dengan udara. Senyawa ini merupakan pencemar udara sehingga batubara dengan kadar nitrogen rendah lebih disukai.

Prinsip penentuan nitrogen dalam batubara semuanya dengan cara mengubah nitrogen menjadi amonium sulfat melalui destruksi terhadap zat organik pembawa nitrogen dalam batubara. Dalam metode ini, digunakan asam sulfat dan katalisator. Banyaknya amonium sulfat yang terbentuk ditentukan dengan cara titrimetri.

Selain itu, seperti juga pada penentuan kadar karbon dan hidrogen, dalam metode ASTM D 5373-02 kadar nitrogen dapat diketahui dengan menggunakan *Thermal Conductivity* (TC) pada alat yang sama dengan penentuan kadar karbon dan hidrogen di atas. TC inilah yang akan menangkap kadar nitrogen dalam nitrogen oksida.

Data nitrogen digunakan untuk membandingkan batubara dalam penelitian. Jika oksigen diperoleh dari perhitungan, maka nitrogen diperoleh dari sampel yang ditentukan. Dalam pembakaran pada suhu tinggi, nitrogen akan diubah menjadi NOx yang merupakan salah satu senyawa pencemar udara.

2.4.2.3. Sulfur

Dalam proses pembakaran, sulfur dalam batubara akan membentuk oksida yang kemudian terlepas ke atmosfir sebagai emisi. Ada tiga jenis sulfur yang terikat dalam batubara, yaitu :

1. Sulfur organik, dimana satu sama lain terikat ke dalam senyawa hidrogen sebagai substansi dari batubara.
2. Mineral sulfida, seperti pirit dalam fraksi *organic* (*pyritic sulfur*).
3. Mineral sulfat, seperti kalsium sulfat atau *hidrous iron.*

Sulfur kemungkinan merupakan pengotor utama nomor dua (setelah *ash*)

dalam batubara, karena :

1. Dalam batubara bahan bakar, hasil pembakarannya mempunyai daya korosif dan sumber polusi udara.
2. *Moisture* dan sulfur (terutama sebagai pirit) dapat menunjang terjadinya pembakaran spontan.
3. Semua bentuk sulfur tidak dapat dihilangkan dalam proses pencucian.

Batubara dengan kadar sulfur yang tinggi menimbulkan banyak masalah dalam pemanfaatannya. Bila batubara itu dibakar, sulfur akan menyebabkan korosi dalam ketel dan membentuk endapan isolasi pada tabung ketel uap (yang disebut *slagging*). Disamping itu juga menimbulkan pencemaran udara. Sebagian sulfur akan terbawa dalam hasil pencairan batubara, gasifikasi, dan pembuatan kokas. Jadi harus dihilangkan dulu sebelum dilakukan proses-proses tersebut.

2.4.2.4. Oksigen

Oksigen merupakan komponen pada beberapa senyawa organik dalam batubara. Oksigen ini didapatkan pula dalam *moisture,* lempung, karbonat, dan sebagainya. Oksigen juga memiliki peranan penting sebagai penunjuk sifat-sifat kimia dengan derajat pembentukan batubara.

Unsur oksigen dapat ditemukan hampir pada semua senyawa organik dalam batubara. Dalam batubara kering unsur oksigen akan ditemukan pada besi oksida, hidroksida dan beberapa mineral sulfat. Oksigen juga sebagai indikator dalam menentukan peringkat batubara.

2.5. PENELITIAN TERDAHULU

Batubara relatif mempunyai konduktivitas yang rendah, sehingga sesuai untuk penetrasi sinyal radar. Negi J.G and Saraf P.D, 1989 mengatakan bahwa anisotropik listrik pada batubara ditimbulkan oleh "celah yang kecil" diantara belahan- belahannya ('small crack"). *Balanis .et.al, 1980* mengatakan "Seam" batubara bersifat anisotropik listrik sehingga menyebabkan sinyal terpolarisasi kuat sehingga dapat membedakan antara batubara dengan batuan sekitarnya, berdasarkan sinyal tersebut. Wooster W.A and Wosster W, 1944 membuktikan bahwa batubara bersifat diamagnetik sedangkan untuk yang bersifat paramagnetik karena dipermukaannya melekat mineral-mineral (impuritis) dan dari hasil pengujian tersebut juga ditemukan hanya "anthracite" yang menunjukkan efek anisotropik. Cook, 1970, mempelajari sifat-sifat listrik pada batubara dengan "rank" bituminous dan menyimpulkan bahwa kecepatan dan atenuasi adalah tergantung pada sudut diantara orientasi gelombang elektromagnetik dan orientasi pada 'vein" clay dan pyrite didalam batubara. Coon et.al (skala lab). (1981) telah mempelajari penggunaan "pulsed radar system" dalam "seam"batubara dan menyimpulkan bahwa medan listrik terpolarisasi secara vertical antara lain tegak lurus pada bidang perlapisan, menunjukkan penetrasi yang dalam dan atenuasi yang kurang daripada medan listrik terpolarisasi secara horizontal, antara lain paralel terhadap bidang perlapisan.

Di Australia dilaporkan bahwa pengukuran ketebalan "seam" batubara dalam skala terbatas menggunakan GPR dapat memperbaiki produksi dalam pertambangan batubara "open-pit" dan bawah tanah .(Turner, Yelf & Hartherly, 1989; Yelf & Turner, 1990; Yelf et.al, 1990; Yelf, 1995.

2.6. PENELITIAN AWAL

Beberapa pengujian yang telah dilakukan baik dalam skala laboratorium maupun lapangan antara lain memperlihatkan hasil yang cukup berarti terutama dalam akuisisi data dengan orientasi "crack" dari sample 'seam" diketahui dan ini juga dilakukan pada model beton dengan hasil yang sama yaitu dengan orientasi dari sekat- sekat yang diketahui yaitu akuisisi pengukuran parallel dengan sekat-sekat tersebut (eddy I, 2000)

Pengukuran dalam skala lapangan terbatas juga dilakukan dilokasi tambang Air Laya batubara Bukit Asam, Tg. Enim, Sum-sel. Dilokasi pengukuran ini dimungkinkan untuk mengklasifikasikan sinyal yang terekam karena lingkungannya terkontrol. Pengukuran dalam skala ini kurang menghasilkan resolusi yang diinginkan dikarenakan lingkungan secara nyata sangat kompleks dan belum dilakukannya modifikasi- modifikasi akuisisi pengukuran baik dari alat ukur maupun karakterisasi sifat dan geometri target.

Berdasarkan hasil penelitian awal tersebut penentuan geometri seam dan orientasi *cleat* batubara dalam skala lapangan kemungkinan dapat dilakukan dengan perancangan teknik akuisisi data yang baru pada GPR.

Keluaran hasil analisa terhadap pelaksanaan teknik tersebut diatas diharapkan antara lain dapat menentukan faktor geometri seam dan arah *cleat* yang optimal sehingga keluarannya dapat memberikan kontribusi dalam penggunaan GPR untuk eksplorasi batubara terutama dalam hal membedakan

antara lapisan batubara dengan bukan batubara dengan jelas dalam skala lapangan serta perencanaan penggalian batubara menggunakan alat berat.

Harapan tersebut diatas memungkinkan karena kecepatan gelombang radar(m/ns) untuk batubara adalah lebih besar daripada kecepatan gelombang radar (m/ns) bukan batubara dan berarti nilai attenuasi (dB/m) untuk batubara (seam) batubara akan sebanding dengan kecepatan gelombang radar (m/ns) pada medium batubara dikali nilai konstanta $188{,}5^{1/2}$ (Church, Webb & Salsman, 1988) dan berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa (m/ns) dan resistivitas medium bukan batubara (Ωm). Sebagaimana diketahui attenuasi sangat tergantung pada struktur atom (dissipasi energi karena perambatan gelombang EM) berarti dimensi dan orientasi serta karakter fisik target dapat diketahui (Ibrahim, E, 2000).

Beberapa fenomena dari hasil penelitian awal tersebut diatas merupakan hipotesis yang dapat digunakan sebagai salah satu metode penyelidikan untuk penentuan penentuan batas "seam" batubara dengan bukan batubara dan orientasi *cleat* batubara dalam skala lapangan dalam hal untuk merancang teknik akusisi di lapangan dan pemrosesan sinyal .

BAB III.
METODOLOGI PENELITIAN

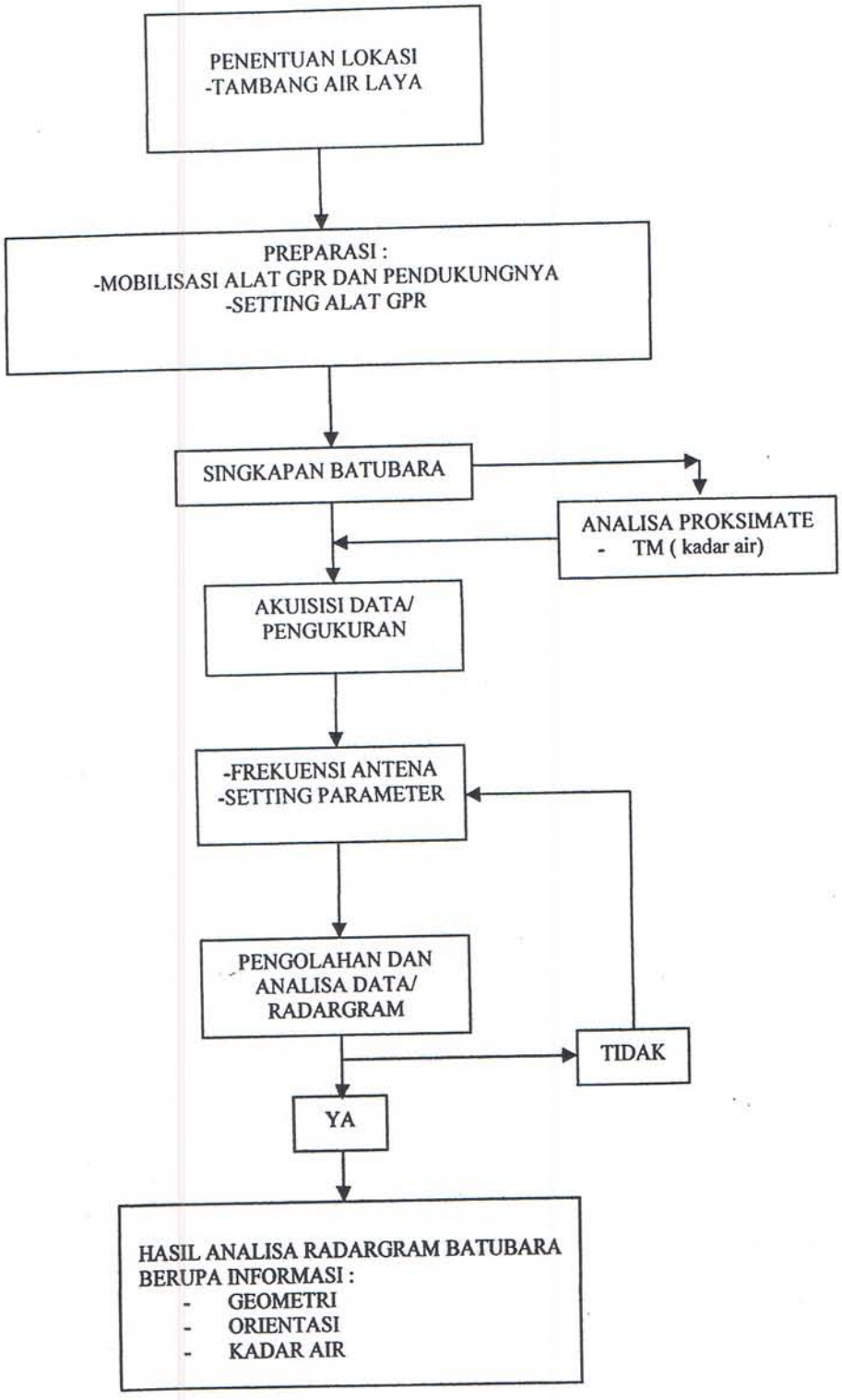
Dalam pelaksanaan penelitian ini, metodologi penelitian disusun secara logis dan sistematis. Hal ini dilakukan supaya penelitian dapat berjalan dengan baik dan lancar sehingga memberikan hasil yang bermanfaat bagi ilmu pengetahuan terutama tentang pemanfaatan alat GPR untuk mendeterminasi geometri , orientasi dan kadar air batubara dalam skala lapangan terbatas di tambang Air Laya.

3.1. Variabel Penelitian

Dalam penelitian akan dilakukan analisa terhadap perilaku gelombang radar (radargram) pada batubara dari hasil pengukuran GPR di tambang Air Laya yang meliputi intensitas dan amplitudo gelombang elektromagnetik.

3.2. Tahapan Proses Penelitian

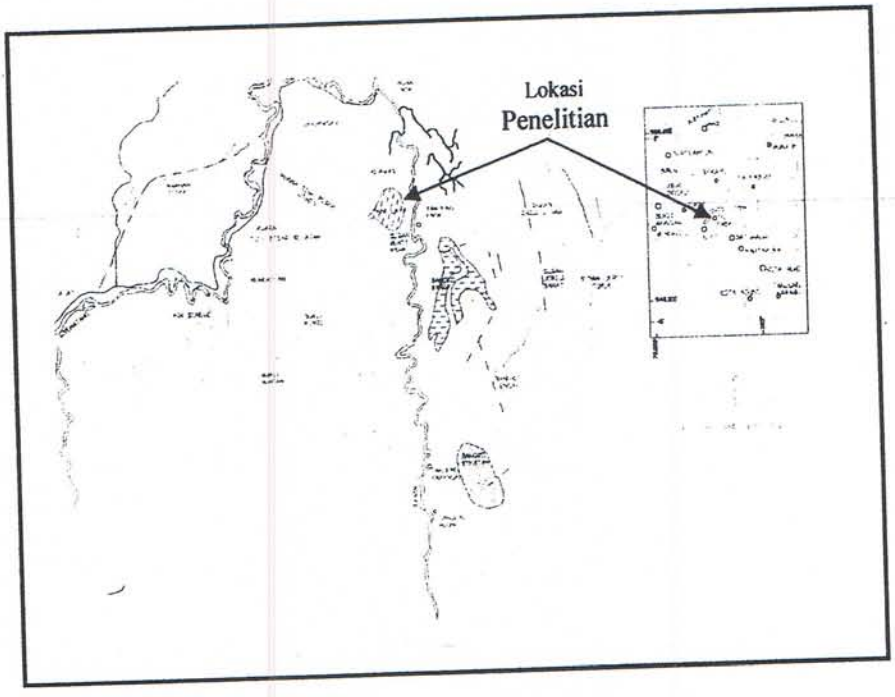
Dalam penelitian ini, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian seperti yang diperlihatkan pada diagram alir penelitian dalam gambar 3.1.



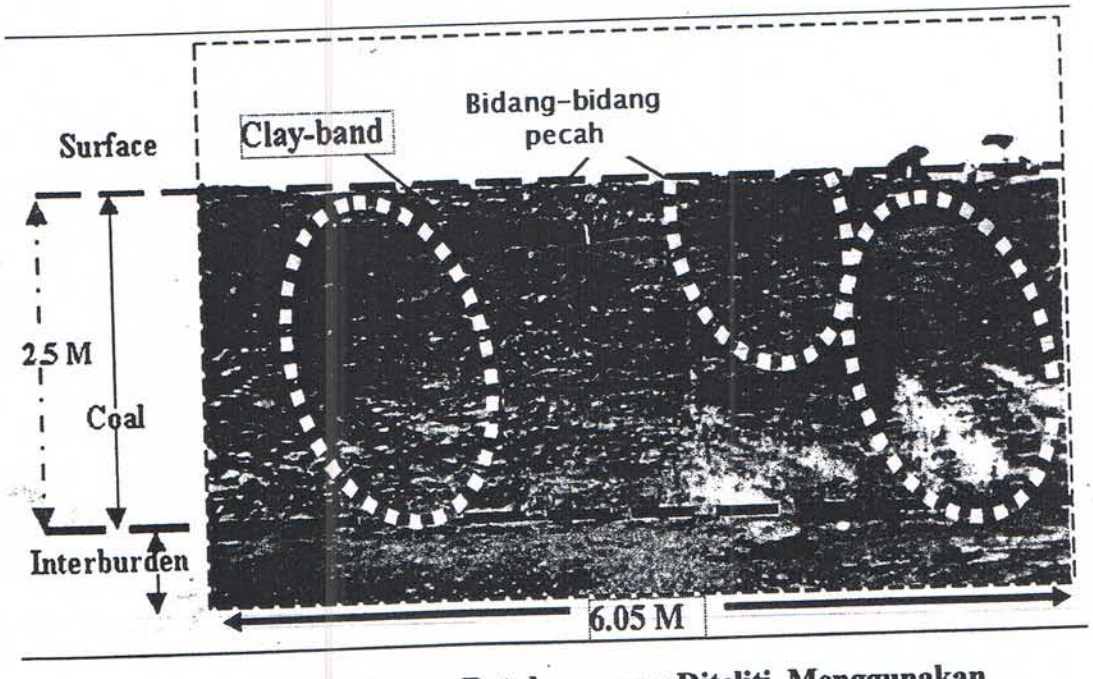
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3. lokasi Penelitian dan Singkapan Batubara Yang Diteliti

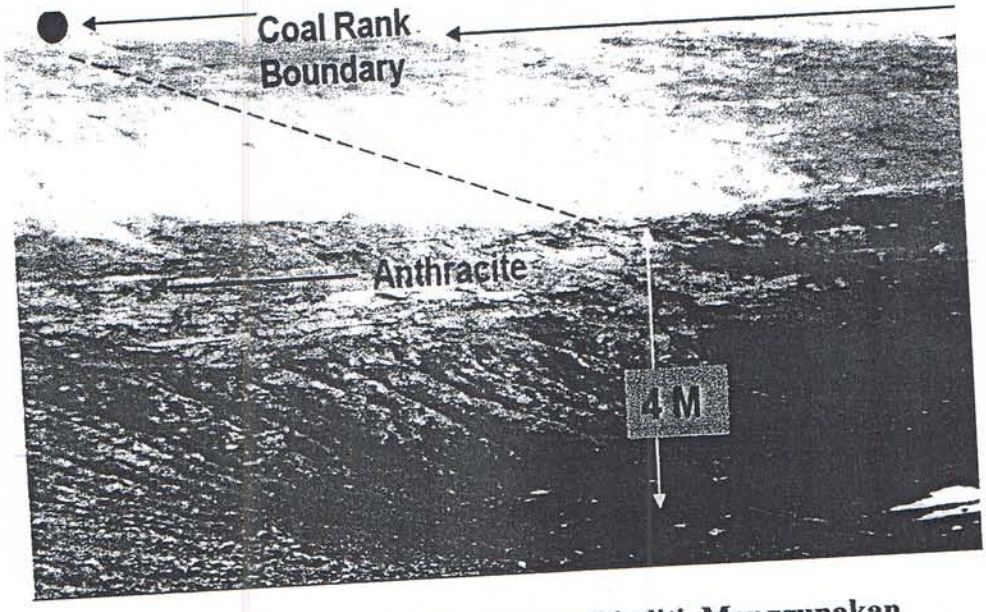
Penelitian dilakukan pada singkapan batubara yang lokasinya terletak di tambang Air Laya, Tanjung Enim, Sumatera Selatan (Gambar 3.2 dan 3.3, 3.4)



Gambar 3.2. Lokasi Penelitian



Gambar 3.3. Singkapan Batubara yang Diteliti Menggunakan Antena 250 MHz



Gambar 3.4. Singkapan Batubara yang Diteliti Menggunakan Antena 400 MHz

3.4. Alat-alat Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini (Gambar 3.5) adalah :

1. Peralatan Georadar meliputi :
   a. Control Unit
   b. Antena Unit
   c. Optical Converter
   d. Recording Device : Komputer Notebook, Processing Unit atau control & processing Unit
   e. Power supply dengan Charger
   f. Odometer
   g. Cable

Gambar 3.5. Peralatan GPR

2. Peralatan penunjang penelitian, meliputi :

   Pita Ukur, Peta Geologi, Peta Topografi dan Camera serta Peta Lokasi

3.5. Pengujian Sampel

Pengujian sampel batubara dalam penelitian ini menggunakan metode ASTM sebagai berikut :

1. Preparasi dan Penentuan Kadar Air Bebas (metode ASTM D.2013).
2. Analisa Proksimat, meliputi :

   Penetapan kadar air lembab (metode ASTM D.3173 ISO 1172).

3.6. Prosedur Penelitian dan Percobaan

Langkah-langkah dalam penelitian dilakukan dalam empat tahap utama, yaitu :

1. Persiapan

   - Penentuan lokasi pengukuran

- Identifikasi 'noise' dan 'signal' di lokasi pengukuran

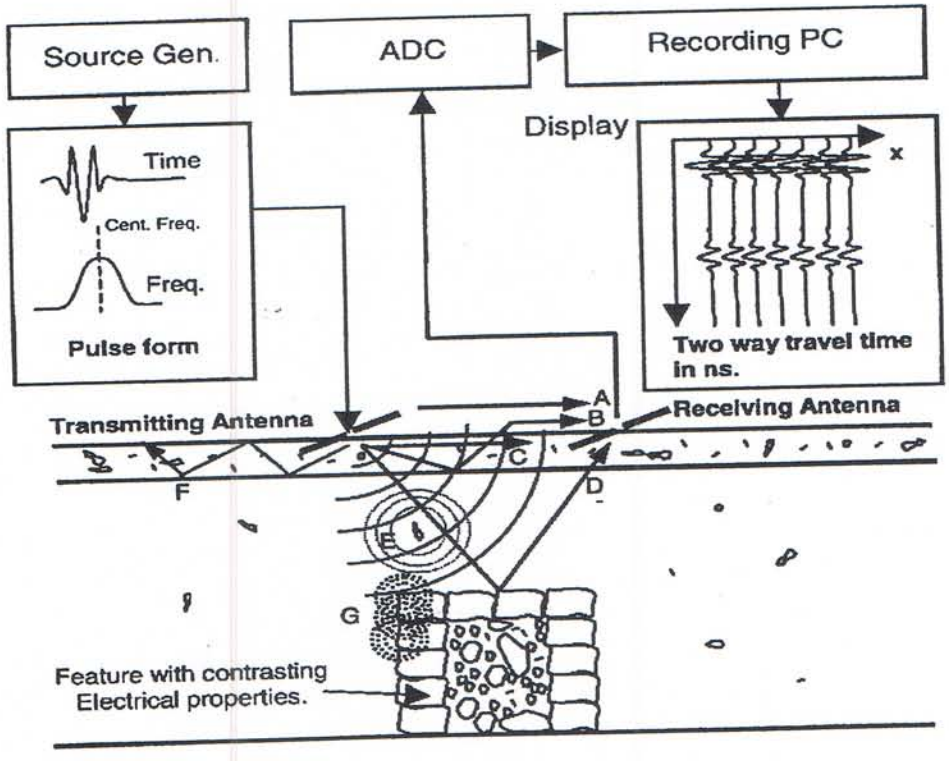
2. Pelaksanaan akuisisi data

- Pengukuran menggunakan antenna dengan frekuensi 250 MHz dan 400MHz
- Penentuan frekuensi antenna yang optimum
- Rancangan dan modifikasi konfigurasi antenna dan offset alat ukur GPR

3. Evaluasi dan analisa hasil akuisisi data

- Data geometri (dimensi, orientasi dan posisi)dan karakteristik fisik target.
- Radargram.

4. Implementasi Teknik Akuisisi data Optimal



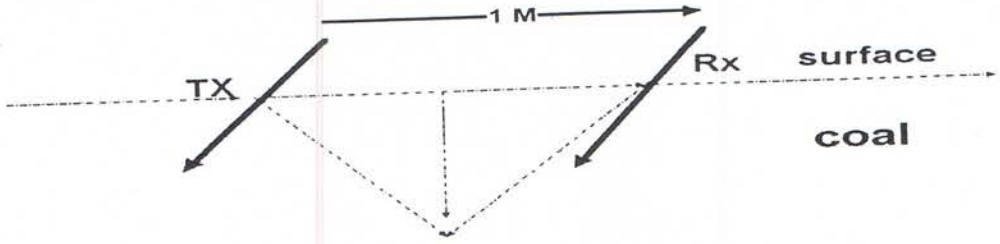
Gambar 3.6. Diagram kerja metoda georadar (GPR)

BAB IV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan menggunakan dua model fisik singkapan batubara yang berbeda, yaitu: studi model fisik dengan panjang lintasan 6.05 meter dengan frekuensi antenna 250 MHz dan model yang lain dengan panjang lintasan 3.12 meter dengan frekuensi antenna 400 Mhz. Model fisik dalam skala lapangan ini adalah dimungkinkan untuk melakukan percobaan terhadap respons radar pada komposisi dan geometri dan orientasi perlapisan (singkapan batubara) yang terkontrol, sehingga lebih mudah mengotrol respon radar terhadap model tersebut. Karakterisasi percobaan yang tepat pada respons radar dapat hanya dilakukan dibawah kondisi terkontrol dimana kompleksitas bawah permukaan pada respons radar diperiksa secara rinci. Model fisik singkapan dengan panjang lintasan 6.05 meter digunakan untuk mengkarakterisasi kandungan air batubara (gambar 3. 3) dalam peringkat yang sama dimana pada model ini dilakukan pengujian juga secara langsung dengan pengambilan percontoh secara representatip ('channel sampling') dan dianalisa kandungan air, karbon tetap, dan lain-lain ('proximate analysis') , sedangkan model fisik yang lain dengan panjang lintasan 3.12 meter digunakan untuk mengkarakterisasi peringkat batubara secara lateral (Gambar 3.4).

Pelaksanaan akuisisi dilakukan dengan "reflection profiling mode" dengan cara diskrit (posisi kedua antenna langsung diatas singkapan) (gambar 4.1).

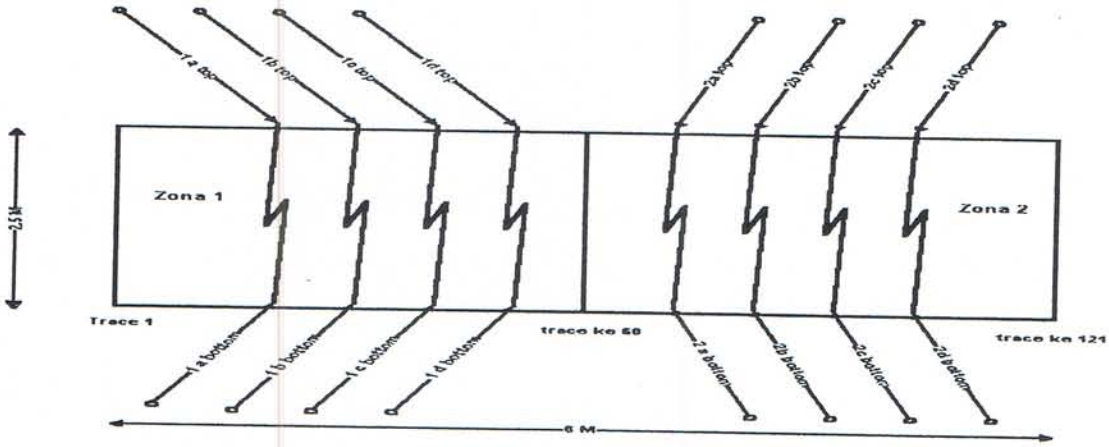


Gambar 4.1. Cara akuisisi "reflection profiling'untuk frekuensi 250 MHz dan 400 MHz langsung diatas singkapan (diskrit)

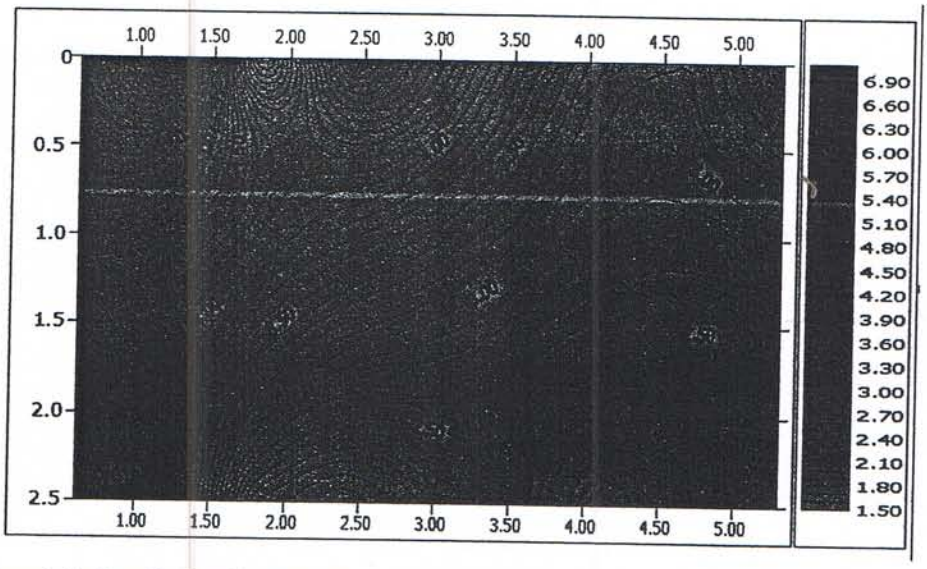
4.1. Model Lapangan dengan Panjang Lintasan 6.05 m (Frekuensi 250 MHz)

Profil radar untuk model fisik dengan panjang lintasan 6.05 meter diperoleh dengan menggunakan frekuensi antena 250 MHz dengan resolusi temporal 0.36 ns dan time window pada 175.076 ns menggunakan 512 stacks (untuk memastikan bahwa lapisan batubara secara lateral maupun vertical digambarkan) dimana ketebalan lapisan batubara tersebut adalah 2.5 meter. Berdasarkan frekuensi antenna yang digunakan maka dapat ditentukan resolusi spasial yang optimum. Model dengan panjang lintasan 6.05 meter dengan jumlah trace 121 dengan interval trace 0.05 m, sedangkan area bawah permukaan yang diamati dibagi dua zone secara lateral dengan masing- masing zone dengan jumlah 50 trace dimana sifat- sifat fisik kedua zone lapisan batubara (baik batas atas maupun bawah seam batubara) tersebut telah disampling sebanyak 4 sampling / zona (gambar 4.2) dan masing- masing percontoh hasil 'channel sampling' tersebut diuji secara laboratorium dengan analisa proksimat sehingga bila kedua zone tersebut dikuantifikasi berdasarkan nilai amplitudo dan fase secara lateral dengan menggunakan GPR maka dapat dikalibrasi dengan hasil analisa tersebut. Sedangkan hasil analisa kedua zona tersebut (top dan bottom) dapat dilihat pada kurva (gambar 4.3). Teknik akuisisi data menggunakan cara 'reflection

profiling', dan memposisikan geometri antenna langsung diatas singkapan (diskrit) dalam usaha mereduksi kehilangan energi radiasi dan gangguan lingkungan disekitar lokasi pengukuran serta untuk menghindari variabilitas 'offset' dan geometri yang mengganggu response sinyal (gambar 4.1). Konfigurasi antenna yang digunakan adalah cara YY (perpendicular broadside) dimana posisi kedua antenna bergerak tegak lurus terhadap lintasan.

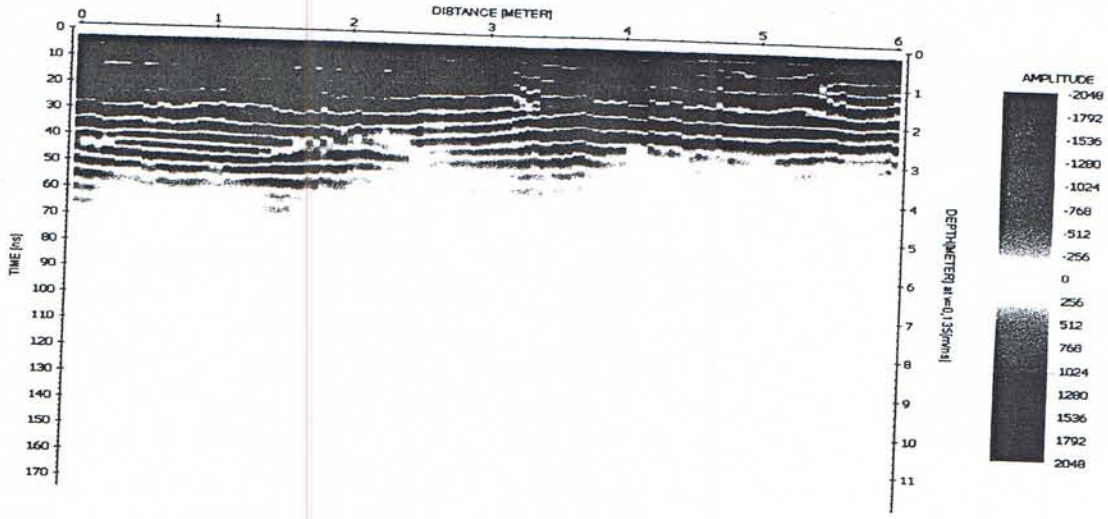


Gambar 4.2. Skematik akuisisi 'channel sampling'

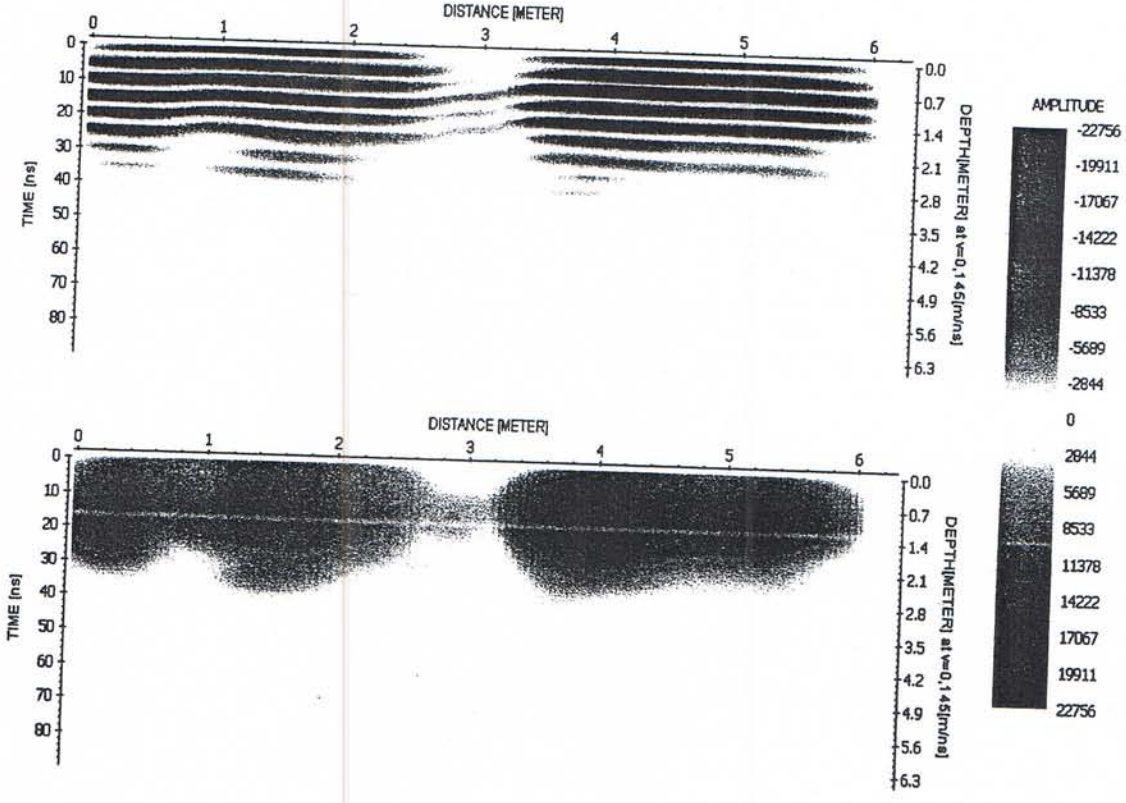


Gambar 4.3. Profil hasil analisa proksimat dari 'channel sampling ' dimana arah horizontal mencerminkan titik- titik pengambilan 'channel sampling' dan arah vertical adalah ketebalan lapisan batubara . 'scale bar' mencerminkan gradasi kandungan air total di lapisan batubara

Adapun hasil akuisisi dan pemrosesan data pada model lapangan dengan panjang lintasan 6.05 m dalam bentuk radargram adalah seperti gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4. Profil hasil akuisisi data (raw) model singkapan batubara dengan panjang lintasan 6.05 M

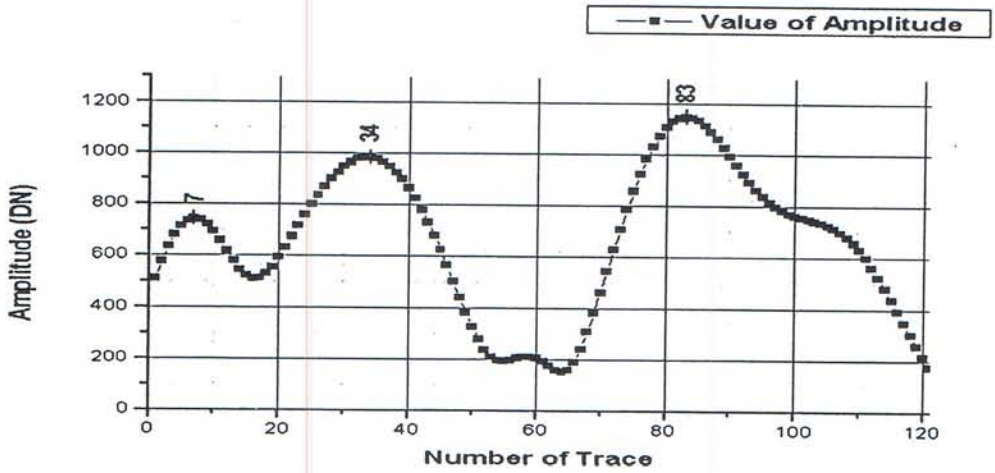


Gambar 4.5. Profil hasil pemrosesan data model singkapan batubara dengan panjang lintasan 6.05 M

Jelas secara kuantitatif bahwa kandungan air total pada model fisik singkapan batubara pada lapisan batubara yang sama secara lateral bervariasi dan berbeda dimana kandungan air total pada zona sebelah kiri lebih tinggi dari sebelah kanan terutama pada bagian- bagian tertentu berdasarkan hasil analisa proksimat. Dan secara

visual dilapangan jelas sekali bahwa sebelah kiri kilapnya lebih gelap ('dull') dari sebelah kanan. Profil radar yang telah diproses dapat memperjelas berdasarkan perbedaan tinggi rendahnya nilai- nilai amplitude secara local dimana pengelompokkan dan kuantitatif total nilai- nilai tersebut mencerminkan tinggi-rendahnya kandungan air total di lapisan batubara secara lateral.

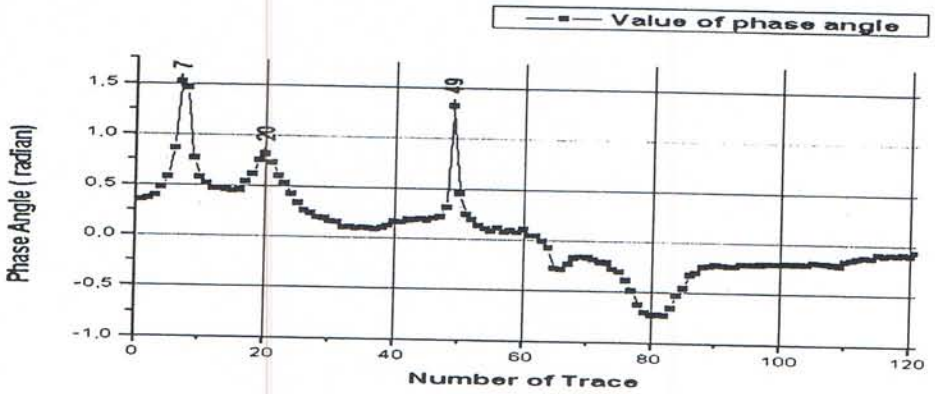
Untuk memperjelas analisa terhadap variasi lateral tersebut penggunaan spectrum amplitude dapat digunakan seperti pada gambar 4.6 .



Gambar 4.6. Grafik nilai-nilai amplitude rata- rata secara vertical untuk seluruh trace pada data model singkapan batubara dengan panjang lintasan 6.05 m

Dari grafik nilai- nilai amplitude yang dirata- ratakan secara vertical 10a untuk seluruh trace yang difokuskan pada jendela waktu lapisan batubara (4.2 ns – 22.5 ns) maka dapat jelas terlihat variabilitas lateral kandungan air total batubara dimana kandungan air sebelah kiri lebih tinggi terlihat dari kecendrungan nilai- nilai puncak amplitude dan hasilnya akurat setelah divalidasi dengan hasil analisa proksimat dan kenampakkan visual singkapan model fisik dilapangan.

Untuk memperjelas batas lateral perbedaan fisik tersebut penggunaan analisa spektrum fase dapat digunakan seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik nilai-nilai sudut fase rata- rata secara vertical untuk seluruh trace pada data model singkapan batubara dengan panjang lintasan 6.05 m

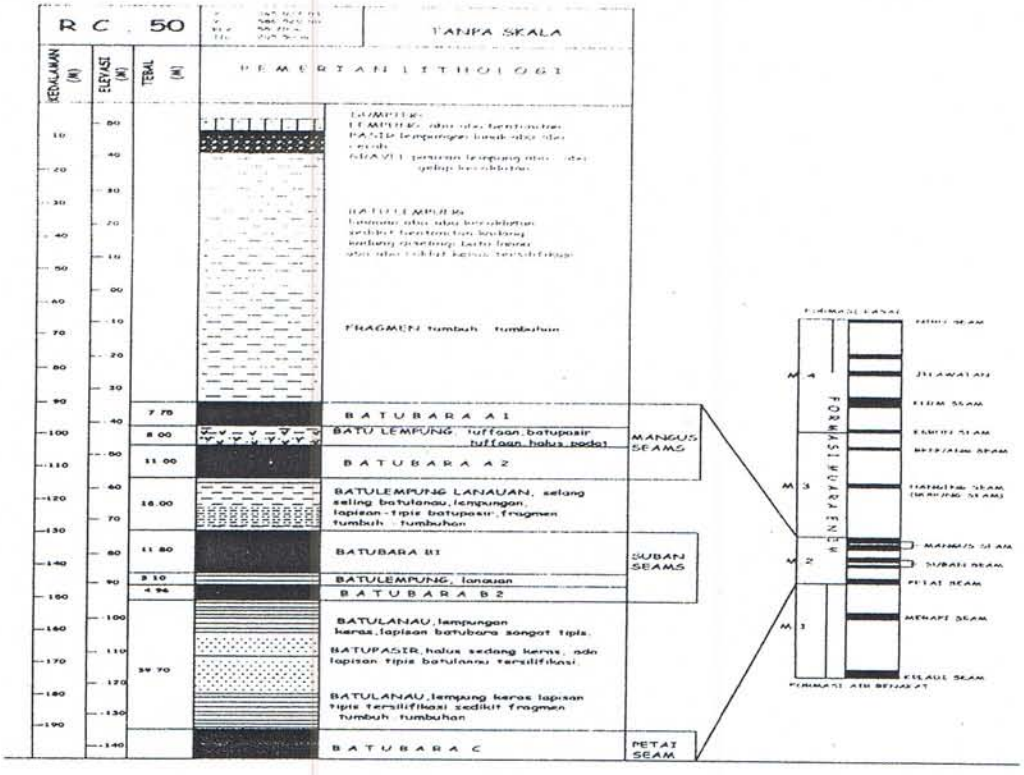
Dari grafik nilai- nilai sudut fase yang dirata- ratakan secara vertical 4.7 untuk seluruh trace yang difokuskan pada jendela waktu lapisan batubara (4.2 ns – 22.5 ns) maka dapat jelas terlihat bidang batas lateral antara batubara dengan kandungan air total tinggi dengan batubara dengan kandungan air total rendah dimana sebelah kanan lebih rendah nilai sudut fasenya yang mencerminkan nilai amplitude tinggi sedangkan bidang batasnya dicerminkan oleh terjadinya pembalikan fase yang menunjukkan adanya beda sifat fisik secara lateral dan itu terlihat dari kecendrungan nilai- nilai sudut- sudut fase.

4.2. Model Lapangan Dengan Panjang Lintasan 3.12 M (Frekuensi 400 MHz)

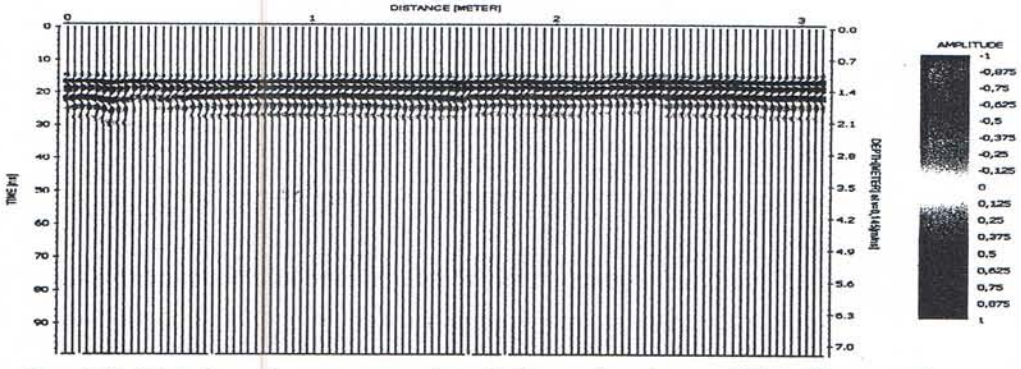
Penggunaan model lapangan dengan panjang lintasan 3.12 meter, dengan teknik akuisisi menggunakan "reflection profiling " pada frekuensi antena 400 MHz pada resolusi temporal 0.47 ns dan time window 227.59 ns dengan menggunakan 64 stacks (pemilihan nilai- nilai tersebut didasarkan untuk memastikan peringkat batubara beserta lingkungannya secara lateral maupun vertikal dapat digambarkan). Diharapkan dengan jumlah trace 104 dengan interval trace 0.03 m area bawah permukaan dapat ter-amati .Dari panjang lintasan tersebut maka dibagi dua zone

secara lateral berdasarkan informasi dari PTBA dimana zone Anthracite dengan jumlah 50 trace terletak disebelah kiri dan zona Dry coal 54 trace terletak dibelah kanan dimana penggukuran GPR melintasi kedua zona tersebut (gambar 3.4). Geometri dan orientasi perlapisan batubara diketahui yaitu ketebalannya 4 m dan orientasi perlapisan batubara tegak lurus terhadap lintasan. Penggunaan cara YY (perpendicular broadside configuration) dilakukan pada pengukuran ini. Geometri dan offset antara antenna pemancar dan penerima menggunakan perumusan 0.1 λ (Annan, A.P., 1999) untuk ketinggian antenna dan offset standar 0.6 m (Ramac/GPR., 1987). Penggunaan antenna dengan ketinggian terukur diatas singkapan dikarenakan kondisi singkapan yang tidak rata sudah digali sekaligus untuk pengujian pengaruh ketinggian tersebut terhadap amplitude terukur dan mereduksi gelombang perbatasan antara antenna dan singkapan ('evanescent waves') seperti dikutip dari disertasi Roberts. R.L, 1994. Dikarenakan tidak dilakukan 'analisa proximate' pada pelaksanaan pengukuran maka informasi lapisan batubara yang diukur bersumber dari data bor (gambar 4.8) dimana lapisan batubara yang diukur adalah lapisan batubara C. Untuk penentuan batas lateral peringkat diperoleh dari sumber PTBA berdasarkan titik – titik batas yang dikorelasikan secara linear (gambar 3.4).

Adapun hasil akuisisi GPR berdasarkan penggunaan parameter- parameter diatas dalam bentuk radargram dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.8 . Data informasi litologi tambang Air Laya dimana model singkapan batubara dengan panjang lintasan 3.12m dan terletak pada lapisan C

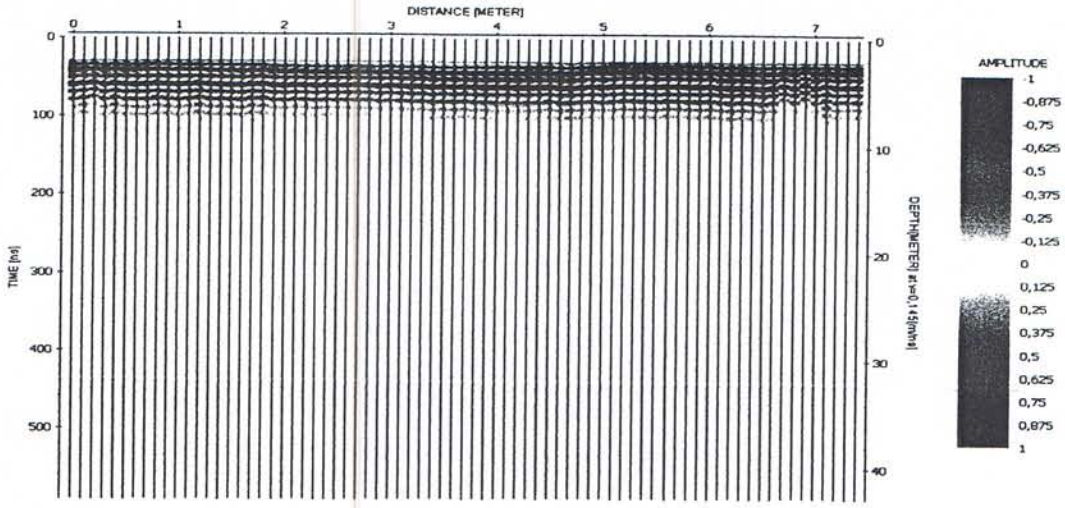


Gambar 4.9. Data 'raw ' menggunakan frekuensi antenna 400 MHz model singkapan batubara dengan panjang lintasan 3.12m dan terletak pada lapisan C

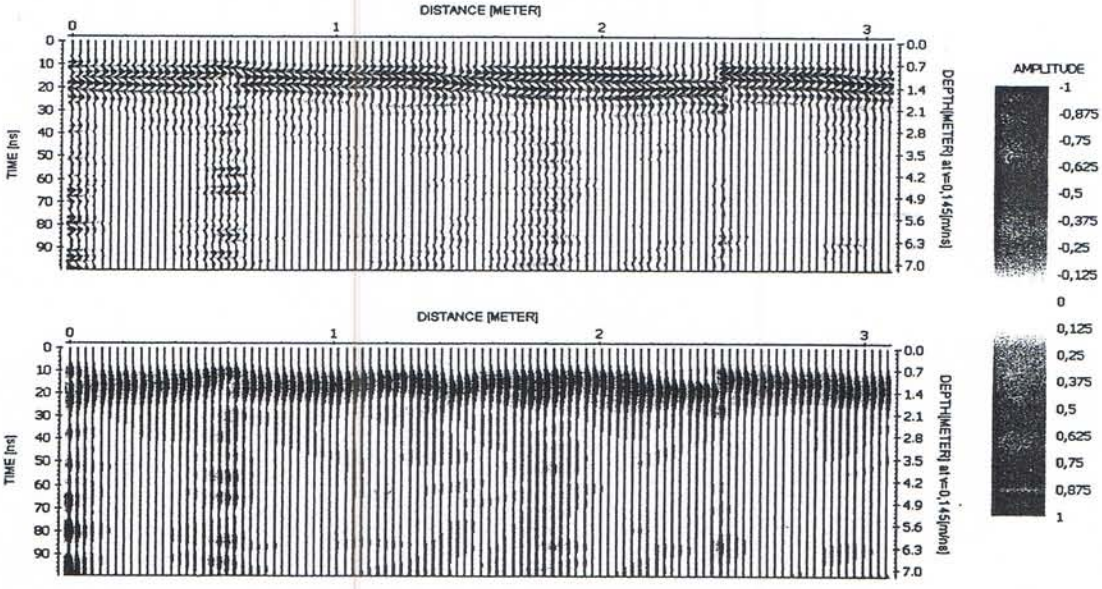
Secara langsung jelas berdasarkan data 'raw' bahwa radiasi gelombang radar maksimum hanya menembus kedalaman lebih kurang 2 m dengan menggunakan kecepatan konstan 0.145 m/ns sedangkan ketebalan lapisan batubara adalah 4 m. Jebakan dalam interpretasi bisa terjadi seperti 'multiple effect' dimana kecepatannya lebih rendah dari reflector. Banyak hal penyebabnya disamping geometri dan offset

antenna yang digunakan cenderung tidak konstan dikarenakan factor manusia-nya juga permukaan singkapan yang diukur karena sudah tergali menjadi salah satu factor yang cukup berarti dalam penetrasi gelombang radar dibawah permukaan karena propagasi gelombang yang diinginkan yaitu tegak lurus terhadap perlapisan menjadi sulit didefinisikan akibat banyaknya hamburan- hamburan amplitude gelombang dari pecahan batubara yang tidak beraturan pada singkapan batubara yang paling atas yang mempunyai volume pecahan yang sama dengan panjang gelombang yang digunakan disamping juga terjadinya interferensi baik destruktif maupun konstruktif yang juga memperlemah response sinyal yang diterima. Dan itu semua diperburuk dengan frekuensi antenna yang digunakan yaitu 400 MHz serta efek ketinggian antenna diatas singkapan. Untuk kondisi diatas maka penggunaan 'raw' data untuk interpretasi awal agak sulit dilakukan. Sebagai perbandingan adalah akuisisi data menggunakan frekuensi antenna yang lebih rendah yaitu 50 MHz dengan teknik akuisisi yang sama dapat menampakkan geometri lapisan batubara pada ketebalan 4m (gambar 4.10).

Berdasarkan hasil data 'raw' menggunakan frekuensi antenna 400 MHz tidak dapat diinterpretasi maka pemrosesan terhadap data tersebut harus dapat menghilangkan pengganggu seperti 'efek multiple', gelombang langsung dan 'ringing' diakibatkan oleh alat. Juga perlunya dikoreksi perubahan variabilitas geometri dimana gelombang datang maupun pantul per trace tidak sama. Adapun tahapan proses yang dilakukan adalah spiking dekonvolusi, dewow, dc-shift, set time zero, remove background, de-clip, de-spike, fk-filter, frekuensi filtering dan time to depth conversion. Adapun hasil pemrosesan dengan tahap- tahapan diatas seperti gambar 4.11.



Gambar 4.10. Data 'raw ' menggunakan frekuensi antenna 50 MHz model singkapan batubara dengan panjang lintasan 3.12m dan terletak pada lapisan C

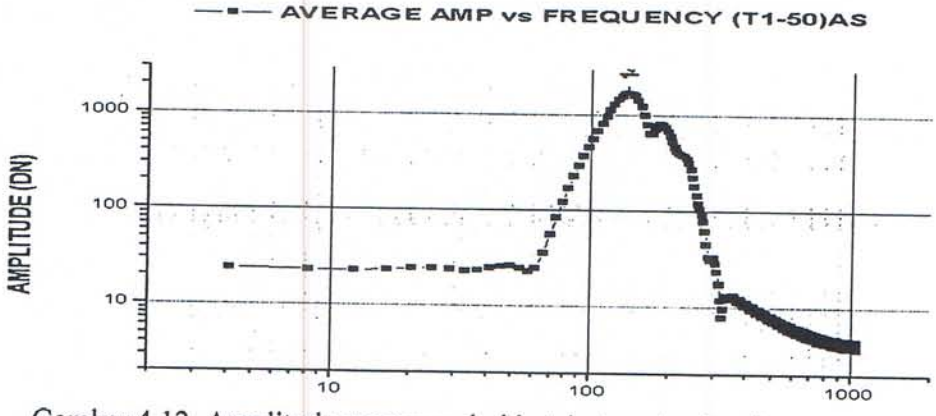


Gambar 4.11 Profil hasil pemrosesan menggunakan frekuensi antenna 400 MHz pada model singkapan batubara dengan panjang lintasan 3.12 M

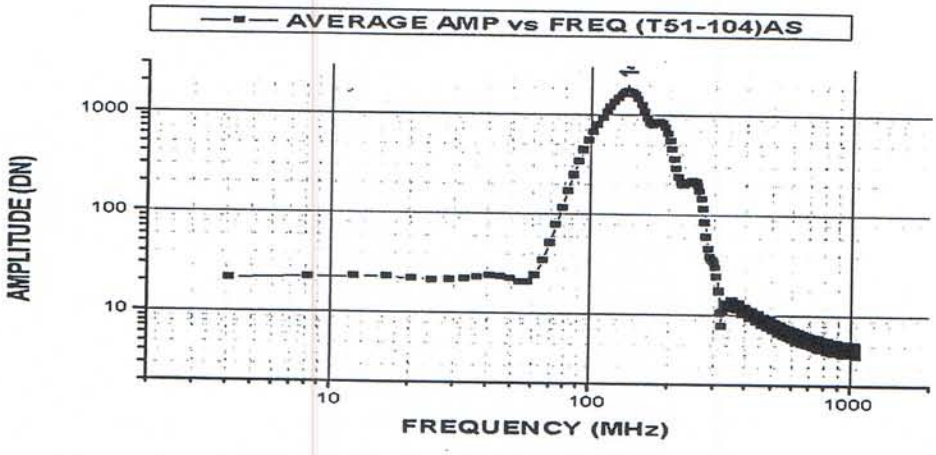
Secara visual berdasarkan radargram masih sulit membedakan antara batubara anthracite (sebelah kiri) dari trace 1- 50 dan batubara Dry coal (sebelah kanan) dari trace 51 - 104. Karena pola dan intensitas amplitude baik secara lateral maupun vertical tidak dapat dikuantifikasi secara langsung secara visual, apalagi sudut fase yang dapat digunakan untuk mendeterminasi batas lapisan secara lateral. Dilapangan pun berdasarkan pengamatan langsung terhadap singkapan sulit terbedakan. Indikasi

lapangan yang rasional adalah apabila singkapan tersebut dekat dengan intrusi batuan andesit khususnya di Air Laya, bukit Asam, maka peringkatnya baik. Jarang sekali ditemui singkapan seperti pada gambar 3.4.

Untuk mengatasi kesulitan dalam membedakan peringkat batubara tersebut analisa spectrum amplitude dan fase secara kuantitatif sangat diperlukan. Adapun kurva spectrum amplitude masing- masing peringkat dapat dilihat pada gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.12. Amplitude spectrum dari batubara antracite dengan antenna 400 MHz pada trace 1 - 50



Gambar 4.13. Amplitude spectrum dari batubara dry-coal dengan antenna 400 MHz pada trace 51 - 104

Dari amplitude spectrum berdasarkan nilai puncak frekuensi yang diterima antenna penerima maka dapat dianalisa dan ditabelkan seperti dibawah :

Tabel 4.1

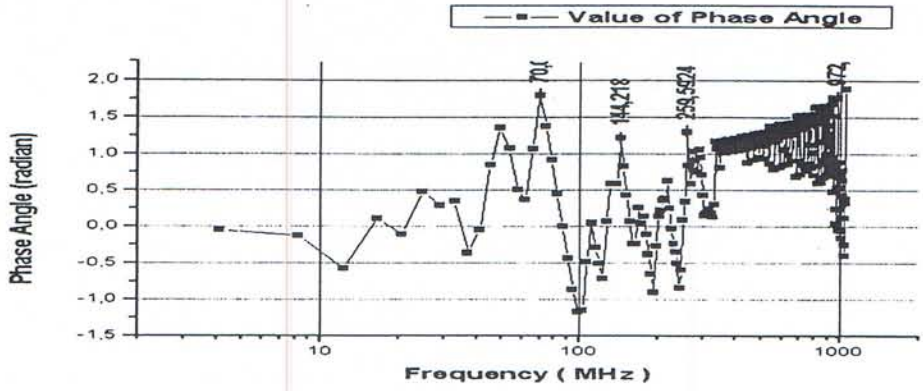
No	Peringkat Batubara	Nomor sample	Frekuensi Puncak (MHz)	Nilai Amplitudo (DN)
1	Antracite	36	140.0975	1694.973
2	Dry coal	35	140.0975	1717.08973

Berdasarkan cara penentuan panjang gelombang (λ) dihitung menggunakan persamaan :

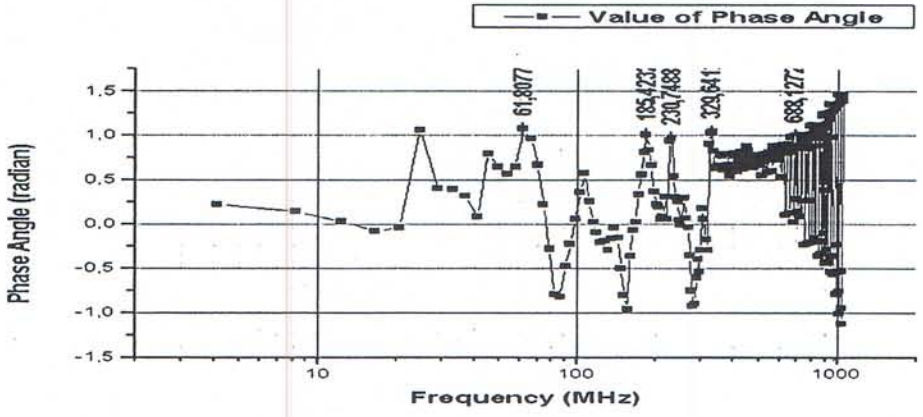
$$\lambda = v / f$$

dimana λ adalah panjang gelombang dan v adalah kecepatan sedangkan f adalah frekuensi (response frekuensi puncak dari antenna penerima), maka jelas secara lateral tidak ada perbedaan resolusi antara panjang gelombang di lapisan batubara anthracite dengan lapisan batubara dry coal. Sedangkan dari nilai amplitude yang dihasilkan berdasarkan perataan- perataan amplitude secara lateral untuk seluruh trace untuk masing- masing peringkat batubara maka nilai amplitude di dry coal lebih tinggi, diduga karena perbedaan areal pengamatan dimana batubara dry coal lebih tiga trace dibandingkan antracite.

Untuk memperkuat analisa secara lateral antara batubara anthracite dan batubara dry coal maka analisa fase spectrum dilakukan dimana hasilnya seperti pada gambar 4.14 dan 4.15.



Gambar 4.14. Fase spectrum dari batubara Antracite dengan antenna 400 Mhz pada trace 1 - 50



Gambar 4.15. Fase spectrum dari batubara Dry coal dengan antenna 400 MHz pada trace 51 - 104

Adapun nilai response frekuensi puncak dan nilai sudut fase antara batubara anthracite (trace 1-50) dengan batubara dry coal (trace 51-104) spektrum fasenya dengan menggunakan frekuensi antenna 400 MHz dapat dilihat di Tabel 4.2.

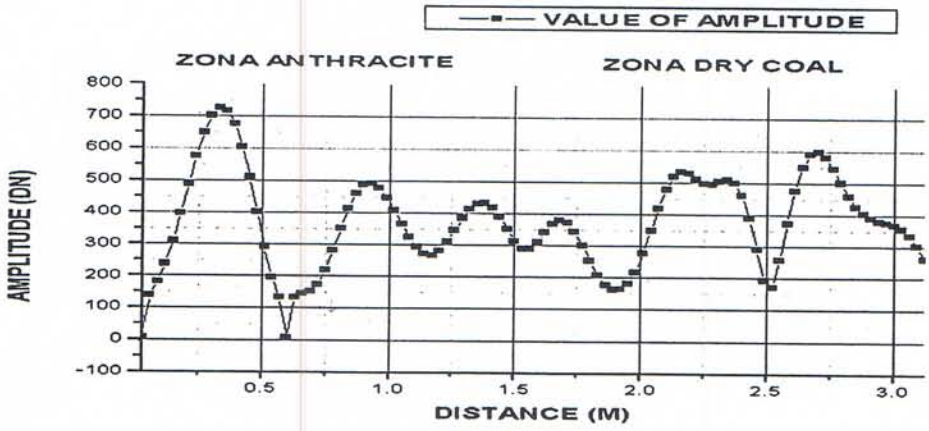
Tabel 4.2

Nomor	Peringkat Batubara	Nomor Sample	Frekuensi Puncak (MHz)	Sudut Fase (radian)
1	Antracite	18	70,04879	1,79411
	(trace 1- 50)	36	144,218	1,21463
		64	259,5924	1,29671

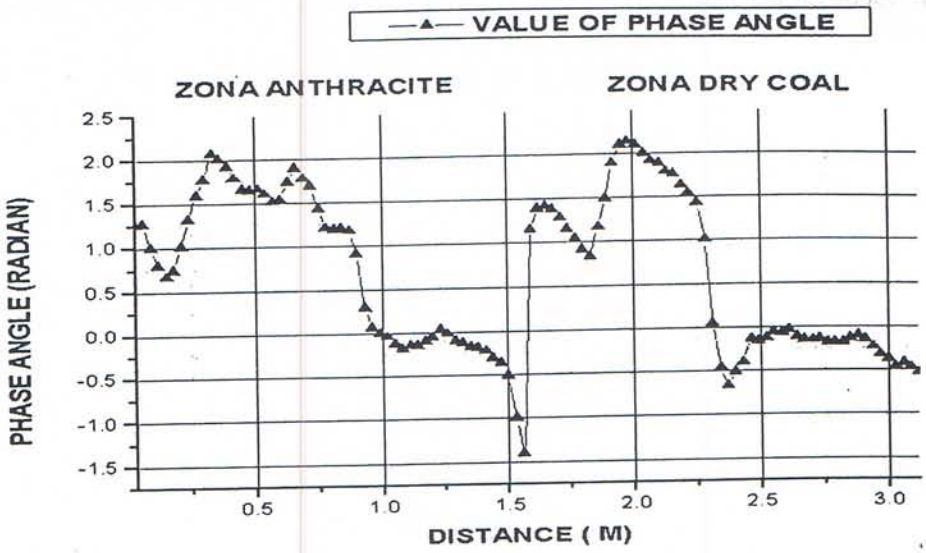
		237	972,4448	1,76622
2	Dry coal	16	61,80776	1,07678
	(trace 51-104)	46	185,4232	1,01222
		57	230,7488	0,97212
		81	329,6412	1,04173
		168	688,1272	0,99874

Berdasarkan analisa spectrum fase maka jelas bahwa untuk batubara anthracite nilai sudut fase cenderung konstan sebaliknya di batubara dry coal terjadi pembalikan fase dimana pencerminan bahwa kandungan air di batubara anthracite lebih konstan dan homogen dibandingkan kandungan air di batubara dry coal.

Untuk memperkuat analisa kedua tahap diatas maka penggunaan amplitude rata- rata secara vertical untuk seluruh trace dan fase rata- rata secara vertical untuk seluruh trace dilakukan. Adapun hasilnya seperti gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar. 4.16 . Nilai amplitude rata- rata secara vertical untuk seluruh trace (trace 1 – 104) pada zona lapisan batubara dengan pnjang lintasan 3.12 m dengan menggunakan antenna 400 MHz



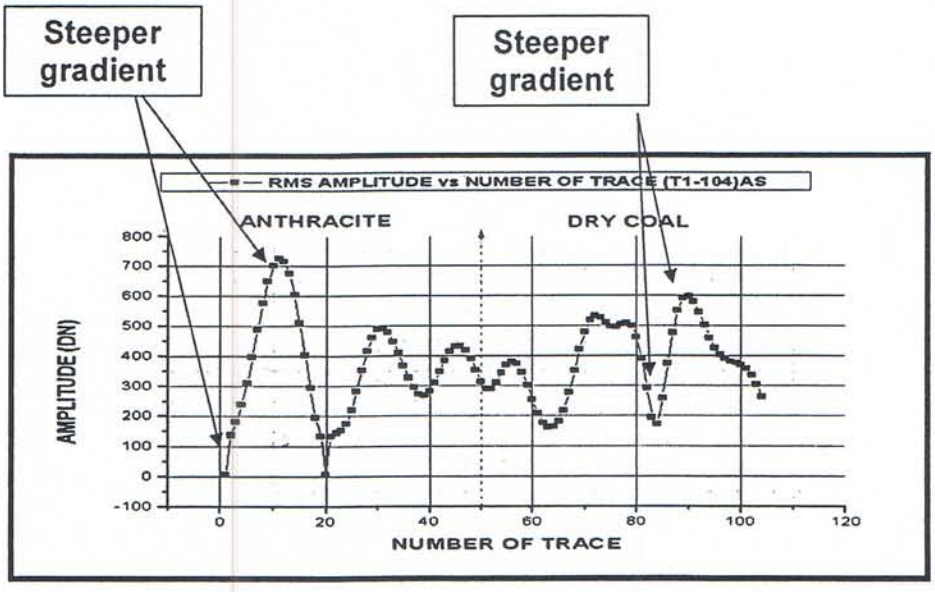
Gambar. 4.17 . Nilai sudut fase rata- rata secara vertical untuk seluruh trace (trace 1 – 104) pada zona lapisan batubara dengan pnjang lintasan 3.12 m dengan menggunakan antenna 400 MHz

Berdasarkan pengukuran nilai puncak amplitude pada batubara anthracite (trace 1 – 50) adalah 726,53602 DN terjadi pada trace 11 sedangkan pada batubara dry coal (trace 51 – 104) nilai puncaknya adalah 380,74705 DN pada trace 56 dan 598,15242 DN pada trace 90. Jadi dapat disimpulkan bahwa karena nilai puncak amplitude yang dihasilkan merupakan hasil dari perata-rataan nilai per-trace dan per-sample maka dapat memperjelas bahwa kandungan air untuk batubara anthracite jauh lebih rendah dari pada batubara dry-coal. Sedangkan nilai fase yang dihasilkan pada gambar 21 mencerminkan adanya bidang batas lateral antara batubara anthracite dan batubara dry-coal yang ditunjukkan oleh nilai pembalikan sudut fase-nya dari -1.4012 radian pada trace ke 52 dan nilai sudut fase 1.15244 radian pada trace ke. 53. Jadi ada sedikit perbedaan penentuan batas antara hasil ini dengan PTBA dimana penentuannya adalah pada trace 50 dengan trace 51 dimana merupakan rancangan awal pengukuran.

Sejumlah sumber perbedaan penyebab interaksi kedua zona tersebut terhadap hasil proksimat oleh PTBA adalah :

1. Pengembangan bidang perlapisan (cleat system) akibat berkurangnya kadar air tidak terbaca oleh data bor atau cara analisa data yang ada. Hasil analisa akhir dari PTBA dengan analisa proksimat menunjukkan batas anthracite dan drycoal berdasarkan analisa hasil pengambilan data secara 'partial'. Akibatnya adalah nilai-nilai puncak amplitude dengan batas peringkat yang ditentukan oleh PTBA maupun arealnya secara lateral terjadi sedikit perbedaan
2. Seperti 'footprint' adalah ditempati oleh air maka terjadi atenuasi sinyal besar dan keduanya menjadikan homogenisasi dan reduksi dalam kontras dielektrik. Nilai amplitudo menurun secara cepat karena kandungan air total efektif terukur oleh GPR secara cepat meningkat (trace 20 pada Anthracite dan trace 84 pada Dry Coal), dalam fase ini GPR tidak hanya mengukur kandungan air total, tetapi juga geometri yang mempengaruhi amplitude.
3. Permasalahan mendasar dengan hasil- hasil ini adalah kekurangan pengertian pada geometri kandungan air total batubara terhadap 'GPR footprint', dan ini menjadi lebih buruk dengan peningkatan kedalaman terhadap kandungan air total dimana meningkat 'footprint area', meningkatnya potensi untuk sinyal ter-atenuasi dan menurunkan pengaruhnya atas sinyal yang dapat dianalisis.
4. Dalam fase penurunan amplitudo, tingkatan penurunan amplitudo adalah cukup besar (untuk Anthracite adalah 726.53602 DN (trace 11) menjadi 6.7867 DN (trace 20). 'Footprint' GPR adalah secara penuh ditempati oleh kadar air dan penurunan ini dihubungkan dengan perubahan dalam kandungan air total.

5. Nilai amplitudo yang disebabkan oleh 'Geometri kandungan air total' meningkat dengan banyaknya 'cleat system' karena lebih heterogen yang menyebabkan rentan terhadap terjadinya interferensi 'destruktif'dampaknya dapat menurunkan makna variabilitas nilai- nilai amplitude dimana sekali lagi ini merupakan pernyataan tentang makna dari 'geometri kandungan air total' dibatubara adalah sangat penting dipelajari. Sebagai contoh Untuk Anthracite dengan nilai dari 6.40289 DN sampai 726.53602 DN (dari trace 1 s/d 11) sedangkan untuk Dry coal dari 171.69199 DN sampai 598.15242 DN (dari trace 84 s/d 90), maka ungkapan secara tidak langsung bahwa sebagian besar perubahan dalam nilai amplitudo disebabkan oleh suatu perubahan terbatas didalam kandungan air total (gambar 4.18).



Gambar. 4.18 . Nilai-nilai amplitude ekstrim pada zona anthracite dan zona dry-coal

BAB V.

KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa:

- GPR dapat mendeterminasi geometri (ketebalan dan posisi) lapisan batubara secara tepat, tetapi kurang tegas menentukan orientasi dari cleat pada lapisan batubara
- GPR telah terbukti dapat mendeteksi keberadaan kandungan air total pada peringkat batubara yang berbeda dengan menaksir secara kuantitatif nilai amplitudo dan spektrum-nya pada kedalaman yang berbeda dan menentukan batas peringkat batubara secara tegas.
- Keberhasilan kompilasi kedua metode yaitu analisa lateral (variabilitas amplitudo secara lateral) dan vertikal (variabilitas amplitudo dan fase secara vertikal) dengan kandungan air total (Total Moisture) tidak sederhana tetapi memerlukan sejumlah tahapan dimana tergantung atas kondisi bawah permukaan, konfigurasi antenna, geometri target dan orientasi perlapisan (cleat system), kedalaman pengukuran serta gradien hidrolik kandungan air total di lapisan batubara.

DAFTAR PUSTAKA

Annan A.P., Waller W.M., Strangway D.W., Rossiter J.R.,Redman J.P. and Watts R.D. 1975. The electromagnetic Response of a low-loss, 2-layer dielectric earth for horizontal electric dipole excitation, Geophysics 40, 286-298.

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

Balnis C.A, 1982. Antenna Theory Analysis and Design. Harper & Row, Philadelphia.

David C.N. 1999. The directional dependence of the ground penetrating radar response on the accumulation zones of temperate Alpine glacier, First Break 17, 249-259.

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

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

Gestel J.V. and Stoffa P.L., 1999. Multi-configuration ground penetrating radar data. 69th SEG meeting, Houston, USA, Expanded Abstracts, 540-543.

J. van der Kruk., 2001 Three-Dimensional Imaging of Multi-component ground penetrating radar data, Ph.D diss. T U Delft University.

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.

Lehman F., Boerner D.E., Holliger K. and Green A.G. 2000. Multicomponent georadar data : some important implications for data acquisition and processing. Geophysics 65, 1542-1552.

Miwa T., Sato M, and Niitsuma H. 1999. Subsurface fracture measurement with polarimetric borehole radar. IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing 37, 828-837.

Noon D.A., 1996. Stepped-frequency radar design and signal processing enhances ground penetrating radar performance, Ph.D. diss, University of Queensland.

Roberts R.L., 1994. Analysis and theoretical modeling of GPR polarization data, Ph.D.diss, Ohio State Univ.

Roberts R.L. and Daniels J.J. 1996. Analysis of GPR Polarization phenomena. Journal of Environmental and Enginering Geophysics 1, 139 – 157.

Sheriff, R.E., 1984. Encyclopedia Dictionary of Exploration Geophysics, Soc. Explor. Geophys., Tulsa, OK., 2nd ed., 323 pp.

Soon Jee Seol, Jung-Ho Kim, Yoonho Song and Seung-Hwan Chung, 2001. Finding the strike direction of fractures using GPR,Geophysical Prospecting 49, 300 – 308.

Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content : measurements in coaxial transmission lines, Water Resour. Res 16, 574 – 582.

Van Overmeeren, R.A., Sariowan, S.V. and Gehrels, J.C, 1997. Ground penetrating radar for determining volumetric water content; results of comparative measurements at two test sites, Journal of Hydrology 197, 316-338.