

**INTERPRETASI POTENSI SEBARAN BATUBARA
MENGUNAKAN METODE GPR (*GROUND PENETRATING
RADAR*)
(STUDI KASUS DI DESA KEBO IRENG KECAMATAN BESUKI
KABUPATEN TULUNGAGUNG PROVINSI JAWA TIMUR)**

SKRIPSI

Oleh:

ROHMATUL WAHIDAH

NIM. 13640068



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

**INTERPRETASI POTENSI SEBARAN BATUBARA MENGGUNAKAN
METODE GPR (*GROUND PENETRATING RADAR*)
(STUDI KASUS DI DESA KEBO IRENG KECAMATAN BESUKI
KABUPATEN TULUNGAGUNG PROVINSI JAWA TIMUR)**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**ROHMATUL WAHIDAH
NIM. 13640068**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**INTERPRETASI POTENSI SEBARAN BATUBARA MENGGUNAKAN
METODE GPR (*GROUND PENETRATING RADAR*)
(STUDI KASUS DI DESA KEBO IRENG KECAMATAN BESUKI
KABUPATEN TULUNGAGUNG PROVINSI JAWA TIMUR)**

SKRIPSI

Oleh:
ROHMATUL WAHIDAH
NIM. 13640068

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 4 Oktober 2017

Pembimbing I


Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II


Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

INTERPRETASI POTENSI SEBARAN BATUBARA MENGGUNAKAN
METODE GPR (*GROUND PENETRATING RADAR*)
(STUDI KASUS DI DESA KEBO IRENG KECAMATAN BESUKI
KABUPATEN TULUNGAGUNG PROVINSI JAWA TIMUR)

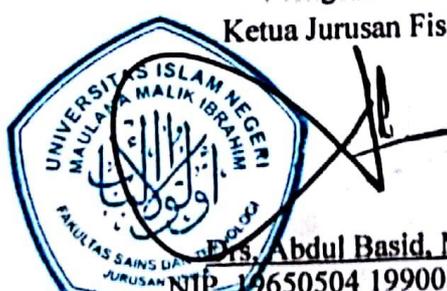
SKRIPSI

Oleh:
ROHMATUL WAHIDAH
NIM. 13640068

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 17 Oktober 2017

Penguji Utama	: <u>Irfan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ROHMATUL WAHIDAH
NIM : 13640068
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Interpretasi Potensi Sebaran Batubara Menggunakan Metode GPR (*Ground Penetrating Radar*)(Studi Kasus Di Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 17 Oktober 2019

Yang Membuat Pernyataan,



ROHMATUL WAHIDAH
NIM. 13640068

MOTTO

“Allah akan memberi apa yang kamu butuhkan bukan apa yang kamu inginkan”

“Life is like riding a bicycle, to keep your balance you must keep moving”
Albert Einstein



HALAMAN PERSEMBAHAN

Sujud syukurku kusembahkan kepada Allah SWT karena atas takdir-Mu telah Engkau jadikan aku manusia yang senantiasa berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal bagiku untuk meraih cita-cita besarku. Sholawat serta salam selalu terlimpahkan keharibaan Nabi Muhammad SAW.

Kupersembahkan sebuah karya kecil ini untuk Ayahanda dan Ibundaku tercinta yang tiada pernah hentinya selama ini memberiku semangat, doa, dorongan, nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan hingga aku selalu kuat menjalani setiap rintangan yang ada di depanku.

Teruntuk adikku Anas, saudara sepupuku Lindha, Mbak Dian, Mbak Ita tak ketinggalan juga my sweet niece Sabiya dan Endis serta Brontoseno's Family terima kasih atas dukungan doa dan dukungan materiil selama ini.

Kepada sahabatku Tim Sukses Mano-Inu, Desita Maharani, Velvin Yusta, Yunita DN, Erin Natika, Nea Reni, Ribka Yunita yang tetap menjadi teman dan saudara meskipun memiliki kesibukan di tempat masing-masing.

Teruntuk Puspaning BP dan Hesti Triana yang selama 4 tahun telah menemani dan hidup bersama dalam satu atap. Serta tak lupa sahabati penghuni Mabna ABA 55 dan kolega kos 141.

Teman seperjuangan dan saudara yang dipaksakan Menwa Angkatan 67 Anisa, Yuli, Latifa, Arina dan Yusri. Serta keluarga Satmenwa 811/WCY UIN Maliki Malang.

Teruntuk genk batubara Vira, Sulfi dan juga Luqman (Alm) yang telah membantu dan menemani mengerjakan tugas akhir ini hingga terselesaikan bersama. Serta teman-teman Geofisika yang telah berbagi ilmu, pengalaman serta bantuan pengambilan data, baik angkatan 2012, 2013 serta adik-adik 2014.

Kepada seluruh sahabat sahabati Fisika Angkatan 2013 yang telah banyak membantu dan mewarnai bangku kuliah dengan penuh keceriaan.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur alhamdulillah kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan sesuai dengan rancangan kerja yang direncanakan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tetap dilimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Skripsi yang berjudul **Interpretasi Potensi Sebaran Batubara Menggunakan Metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) (Studi Kasus Di Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur)** disusun untuk memenuhi tugas akhir sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam menyelesaikan penulisan laporan penelitian ini, penulis menyadari bahwasanya dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, semangat dan pemikiran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan pengarahan serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Erna Hastuti, M.Si selaku pembimbing integrasi yang meluangkan waktu untuk memberikan arahan serta bimbingan pada bidang integrasi al-Quran dan Hadits.
5. Seluruh dosen, laboran, admin serta segenap civitas akademika Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membagikan ilmunya,

- membimbing, memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
6. Kedua orang tua, saudara serta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, doa serta motivasi kepada penulis dalam menuntut ilmu.
 7. Teman-teman serta para sahabat selalu memberikan dukungan, bantuan dan inspirasi serta kebersamaan selama ini.
 8. Serta pihak pihak yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat tidak hanya untuk penulis tapi juga untuk para pembaca. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Malang, September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTACT	xvi
الملخص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian	7
2.2 Batubara	10
2.2.1 Materi Pembentuk Batubara	13
2.2.2 Fasies Batubara	13
2.2.3 Lingkungan Pengendapan	16
2.2.4 Jenis-Jenis Batubara	16
2.3 Proses Pembentukan Batubara	17
2.3.1 Penggambutan	19
2.3.2 Pembatubaraan	21
2.4 Bentuk Lapisan Batubara	22
2.5 Batubara di Indonesia	28
2.6 Gelombang Elektromagnetik	29
2.7 <i>Ground Penetrating Radar</i>	33
2.7.1 Prinsip Kerja GPR	34
2.7.2 Atenuasi Gelombang	39
2.7.3 <i>Skin Depth</i>	41
2.7.4 Parameter Antena GPR	42
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	47
3.2 Data Penelitian	47
3.3 Peralatan Penelitian	48
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	48

3.5 Diagram Penelitian.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Uji Laboratorium Batubara dengan Metode SEM-EDX.....	52
4.2 Data Hasil Pengamatan	55
4.3 Pengukuran Koordinat Posisi.....	59
4.4 Interpretasi Data Hasil Penelitian	61
4.5 Integrasi Al-Quran	71
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Geologi Lembar Tulungagung	8
Gambar 2.2	Cadangan Batu Bara Indonesia	11
Gambar 2.3	Urutan tipe rawa gambut yang berkembang pada lingkaran <i>Lacustrine</i>	15
Gambar 2.4	Skema Pembentukan Batubara	18
Gambar 2.5	Perlapisan Batubara Berbentuk <i>Horse Back</i>	24
Gambar 2.6	Perlapisan Batubara Berbentuk <i>Pinch</i>	25
Gambar 2.7	Perlapisan Batubara Berbentuk <i>Clay Vein</i>	26
Gambar 2.8	Perlapisan Batubara Berbentuk <i>Burried Hill</i>	26
Gambar 2.9	Perlapisan Batubara Berbentuk <i>Fault</i>	27
Gambar 2.10	Perlapisan Batubara Berbentuk <i>Fold</i>	28
Gambar 2.11	<i>Ground Penetrating Radar</i>	35
Gambar 2.12	Mekanisme Kerja GPR.....	35
Gambar 2.13	Sistem Kerja GPR.....	36
Gambar 2.14	Ketebalan Beberapa Medium dalam Tanah	38
Gambar 2.15	<i>Late Time Ringing</i>	45
Gambar 2.16	<i>Cross-Coupling</i>	45
Gambar 2.17	Jarak Antena dengan Tanah.....	46
Gambar 3.1	Lokasi penelitian dan garis lintasan	48
Gambar 4.1	Grafik Unsur pada Batubara Titik Pertama	52
Gambar 4.2	Morfologi Batubara pada Uji SEM-EDX Titik Pertama.....	53
Gambar 4.3	Grafik Unsur pada Batubara Titik Kedua.....	53
Gambar 4.4	Morfologi Batubara pada Uji SEM-EDX Titik Kedua.....	54
Gambar 4.5	Grafik Unsur pada Batubara Titik Kedua.....	54
Gambar 4.6	Morfologi Batubara pada Uji SEM-EDX Titik Ketiga	55
Gambar 4.7	Struktur dan jenis objek digolongkan berdasar variasi warna pada <i>output GPR Future Series 2005</i>	57
Gambar 4.8	Lintasan Pengambilan Data	60
Gambar 4.9	Data Hasil Penelitian pada Google Earth	61
Gambar 4.10	Penampang 3D dan melintang sampel data.....	62
Gambar 4.11	Penampang 3D lintasan 1	63
Gambar 4.12	Penampang 3D lintasan 2	64
Gambar 4.13	Penampang 3D lintasan 3	65
Gambar 4.14	Penampang 3D lintasan 4	66
Gambar 4.15	Penampang 3D lintasan 5	67
Gambar 4.16	Lintasan 6 pada visualizer 3D	68
Gambar 4.17	Lintasan 7 pada visualizer 3D	68
Gambar 4.18	Lintasan 8 pada visualizer 3D	69
Gambar 4.19	Lintasan 9 pada visualizer 3D	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Pembatubaraan	12
Tabel 2.2 Kecepatan dan Konstanta Dielektrik Berbagai Medium.....	33
Tabel 2.3 Resolusi dan Daya Tembus Gelombang Radar	40
Tabel 2.4 Permittivitas Relatif, Konduktivitas, Kecepatan dan atenuasi	42
Tabel 2.5 Data Jarak Antena dengan Tanah dengan Variasi Permittivitas	46



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Penampang Atas Data Visualisasi 2D
- Lampiran 2 Penampang Samping Data Visualisasi 2D
- Lampiran 3 Dokumentasi Pengambilan Data
- Lampiran 4 Aplikasi *Ground Penetratig Radar (GPR) Future Series 2005*



ABSTRAK

Wahidah, Rohmatul. 2017. **Interpretasi Potensi Sebaran Batubara Menggunakan Metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) (Studi Kasus Di Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur)**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Erna Hastuti, M.Si

Kata Kunci: Batubara, gelombang elektromagnetik, *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Singkapan batubara ditemukan di Dusun Klatak Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung tepatnya di sekitar sungai. Kebutuhan energi semakin naik sehingga batubara dapat dijadikan sebagai salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan oleh masyarakat saat ini. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi sebaran batubara serta pemodelan struktur geologi. Identifikasi struktur lapisan batubara menggunakan *Ground Penetrating Radar Future* (GPR) 2005 dilakukan karena metode ini lebih cocok digunakan untuk survei dangkal. Lokasi pengambilan data dilakukan di sekitar sungai yang terlihat singkapannya. Terdapat 9 lintasan pengambilan data dengan panjang lintasan sekitar 50 sampai 100 meter. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan *software Future series* 2005. Data hasil penelitian ditampilkan pada *software* berupa pola warna yang diperoleh berdasarkan konstanta dielektrik dan nilai konduktivitas. Hasil dari interpretasi data menunjukkan adanya lapisan batubara yang terdapat pada keseluruhan lintasan. Hanya pada lintasan 2 yang terdapat sedikit lapisan batubara. Lapisan batubara yang tampak pada hasil pengolahan data memiliki ketebalan sekitar 6 meter dan terletak pada bagian atas. Pada daerah penelitian juga ditemukan adanya daerah rongga (*cavity area*) yang terdapat di beberapa lintasan. Di bagian bawah dari lintasan batubara terdapat pola warna kuning kemerah-merahan yang menunjukkan ada material yang mengandung mineral.

ABSTRACT

Wahidah, Rohmatul. 2017. **Interpretation of Potential Coal Distribution Using GPR (Ground Penetrating Radar) Method (Case Study at Kebo Ireng village in Tulungagung of East Java)**. Thesis. Physics Department, Science and Technology Faculty on State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Erna Hastuti, M.Si

Keywords: Coal, Electromagnetic Waves, Ground Penetrating Radar (GPR)

Coal exposure founded at Klatak Kebo Ireng village in Besuki Tulungagung precisely in the vicinity of the river. Energy needs is increasing so the coal used for one of alternative energy source that can be used by society. This study was conducted to determine of the potential distribution coal modeling on geological structure. Identification of coal structure is using Ground Penetrating Radar (GPR) 2005 it conducted because this method is more suitable for shallow of surveys. The location for taking data is around the river that showed to exposure. There are 9th lines of taken data with length about 50 until 100 meters. Data processing was done using of software Future series 2005. The data displayed with software in the color pattern to obtain based on the constant of dielectric and conductivity. The results of interpretation study are the data indicates that there is a coal on the overall trajectory. Only in 2nd track contain little of coal. The Coal layers are appear in processing the results of data is thickness about 6 at the top. In the area of study also found the cavity (cavity area) which contained of several tracks. On the bottom of the track there is a pattern of coal reddish of yellow color which indicates that material contains of minerals.

الملخص

رحمة الواحدة، 2017، تفسير إمكانية توزيع الفحم باستخدام الطريقة GPR (رادار النظائر الأرضية) دراسة حالة عن قرية كيبو أيرينغ ودون النطقة بيسوكي ووصاية على العرش ومقاطعة جاوي الشرقية. البحث الجامعي. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانق. المشرف الأولى: الدكتورة عبد البسيط، الماجستير. المشرفة الثانية: أيرنا هاسطوتي، الماجستير.

الكلمات الأساسية: الفحم، الوجوهات الكهرومغناطيسية، رادار النظائر الأرضية.

وجدت الفحم تنفجر حول النهر في الريف كلاتاك. ويمكن استخدام المجتمع الفحم كأحد مصادر الطاقة البديلة اليوم بالنظر إلى زيادة متطلبات الطاقة. وهذا البحث يعمل لمعرفة إمكانية توزيع الفحم ونموذج الهياكل الجيولوجية. تم تحديد هيكل التماس الفحم باستخدام طريقة GPR في العام 2005 لأن هذه الطريقة هي أكثر ملاءمة للمسح الضحل. موقع جمع البيانات هذا يتم حول النهر أن التنوع المرئية. وهناك ستة مسارات البيانات مع كول المسار حوالي خمسون إلى مئة مترا. ويتم معالجة البيانات باستخدام برامج سلسلة المستقبل العام 2005. بيان نتائج البحث المعروضة في الريميجيات في شكل نمط اللون التي تم الحصول عليها من قبل ثابت العزل وقيمة التوصيلية. فإن نتائج تفسير البيانات تشير إلى وجود طبقات الفحم الواردة في المسار بأكمله. المسار الثاني لا يوجد سوى طبقة صغيرة من الفحم. طبقات الفحم التي تظهر على نتائج معالجة البيانات لديها سمك حوالي ستة أمتار وتقع في الجزء العلوي. في منطقة الدراسة وجدت أيضا منطقة تجويف الواردة في العديد من المسارات. يوجد في أسفل مسار الفحم نمط لون أصفر محمر يشير إلى وجود مادة تحتوي على المعادن.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan di era modern seperti yang kita rasakan sekarang ini sangat tergantung pada energi. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan energi semakin hari semakin bertambah. Mengingat terbatasnya sumber energi seperti minyak bumi maka perlu adanya energi alternatif lain yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Salah satu sumber energi alternatif yang potensi keberadaannya cukup melimpah di negara kita Indonesia adalah batubara.

Sejak tahun 1985 kegiatan untuk eksplorasi batubara semakin banyak dilakukan, baik dari pemerintah ataupun swasta. Mengingat kebutuhan batubara tidak hanya digunakan di dalam negeri, namun juga diekspor ke luar negeri. Endapan batubara di Indonesia cukup melimpah terutama di Pulau Sumatera dan Kalimantan serta sebagian kecil di Pulau Jawa, Papua dan Sulawesi.

Di Pulau Jawa tepatnya di Desa Keboireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung (koordinat 8°15'59,5" LS-111°45'25,0" BT), Jawa Timur beberapa tahun lalu ditemukan adanya lapisan sedimen batubara. Diperkirakan pada daerah tersebut terdapat adanya lapisan batubara di sepanjang aliran sungai. Namun hingga saat ini belum ada tindak lanjut kegiatan penambangan batubara di daerah tersebut.

Penelitian tentang adanya potensi batubara dapat dilakukan untuk mengetahui perkiraan jumlah batubara yang dapat dieksplorasi. Dari beberapa

metode geofisika, salah satu metode yang dapat digunakan untuk eksplorasi keberadaan batubara yaitu metode GPR (*Ground Penetrating Radar*). Identifikasi batubara dengan menggunakan metode GPR dapat dilakukan untuk mengetahui karakter, struktur dan lainnya. Selain itu juga dapat membantu dalam tahap eksplorasi terutama ketika ada pengembangan, pengecekan kemenerusan *outcrop* dan lainnya.

Survei GPR sendiri sangat cepat dan mudah sehingga tidak membutuhkan waktu lama untuk tahap eksplorasi dan juga biaya yang lebih murah dibandingkan dengan bor yang rapat. Pola yang terlihat pada data bahwa lapisan tersebut merupakan batubara adalah kemenerusan yang jelas, sehingga membedakan antara sedimen di sekitarnya.

Penggunaan metode GPR dilakukan dengan memancarkan gelombang radar atau gelombang elektromagnetik ke dalam tanah yang nantinya akan dipantulkan kembali. Berdasarkan pantulan tersebut dapat dianalisis dan diketahui hal-hal yang berkaitan dengan struktur tanah atau batuan, termasuk mendeteksi adanya batubara. Salah satu kelebihan dari metode GPR ini yaitu dapat dilakukan tanpa harus menyentuh langsung materi yang akan dideteksi.

Dalam al-Quran Surat al-Jaatsiyah ayat 13 dijelaskan:

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

“Dan Dia menundukkan untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir”.

Pada ayat tersebut menjelaskan bahwa segala yang ada di langit dan di bumi tunduk kepada Allah SWT. Tafsir Ibnu Katsir mengatakan bahwa yang tunduk kepada Allah SWT yaitu berupa bintang-bintang, gunung-gunung, lautan, sungai-sungai dan segala hal yang dapat kalian manfaatkan. Artinya semua itu adalah karunia, kebaikan dan anugerah-Nya.

“inna fii dzalika laayatilliqoumi yatafakkaruun” yang artinya “sesungguhnya yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah bagi kaum yang berfikir”, yakni memikirkannya sehingga mereka beriman (al-Imam Jalaluddin as-Suyuthi). Tafsir tersebut memberikan petunjuk bagi manusia untuk berfikir menggunakan akalinya guna menggali lebih dalam ilmu pengetahuan yang dapat diperoleh dari alam sekitar. Segala yang ada di bumi dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai khalifah untuk keberlangsungan hidup.

Proses awal pembentukan batubara yaitu endapan tumbuhan berubah menjadi gambut (*peat*), yang selanjutnya berubah menjadi batubara muda (*lignit*) 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 sub-bituminus (*sub-bituminous*). Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam sehingga membentuk bituminus (*bituminous*) atau antrasit (*anthracite*) (Sutarno, 2013).

Berdasarkan ulasan yang telah diterangkan maka akan dilakukan penelitian ini karena semakin banyaknya kebutuhan energi yang diperlukan oleh masyarakat

saat ini. Batubara merupakan salah satu potensi sumberdaya alam yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi. Selain itu dengan adanya penelitian ini bisa dijadikan informasi tambahan terutama bagi warga untuk tindak lanjut dibangunnya pertambangan.

Resiko dan akibat dari membangun sebuah pertambangan harus diperhatikan, baik terhadap lingkungan maupun kehidupan warga sekitar. Dalam al-Quran Surat ar-Ruum Allah berfirman:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S. ar-Ruum ayat 31).

Kata *“alfadzadu”* yang berarti kerusakan, menurut Ibnu Abbas RA maksud dari kata tersebut tersebut mengarah pada kurangnya berkah pada pekerjaan hamba, agar mereka bertobat. *“liyudzii qohum”* makna kata tersebut adalah Kami menimpakan kepada mereka sebagian (akibat) apa yang telah mereka lakukan.

Keseimbangan dan kelestarian sumber daya alam harus tetap terjaga dalam melakukan eksplorasi. Pencegahan pencemaran dan kerusakan lingkungan dapat dilakukan dengan membuat rencana eksplorasi yang sistematis serta memperhatikan dampak yang ditimbulkan. Karena kerusakan alam oleh kegiatan manusia akan dipertanggungjawabkan di dunia dan akhirat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pemodelan struktur geologi pada daerah studi menggunakan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*)?
2. Bagaimana pemetaan potensi batubara pada daerah studi berdasarkan data GPR (*Ground Penetrating Radar*)?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pemodelan struktur geologi pada daerah studi menggunakan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*)
2. Untuk mengetahui pemetaan potensi keberadaan batubara pada daerah studi berdasarkan data GPR (*Ground Penetrating Radar*)

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang pemodelan struktur geologi dan adanya potensi batubara pada daerah studi agar dapat dijadikan informasi tambahan untuk melakukan penambangan batubara guna mencukupi kebutuhan energi.

1.5 Batasan Masalah

1. Lintasan yang akan diteliti terbatas pada wilayah di sekitar sungai yang sudah terlihat singkapannya dengan jumlah lintasan sebanyak 9 dan panjang lintasan 50 sampai 100 meter.
2. Metode geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005* dengan

memanfaatkan sifat elektromagnetik berupa *travel time* dari gelombang radio yang memiliki rentang frekuensi 25-1000 MHz.

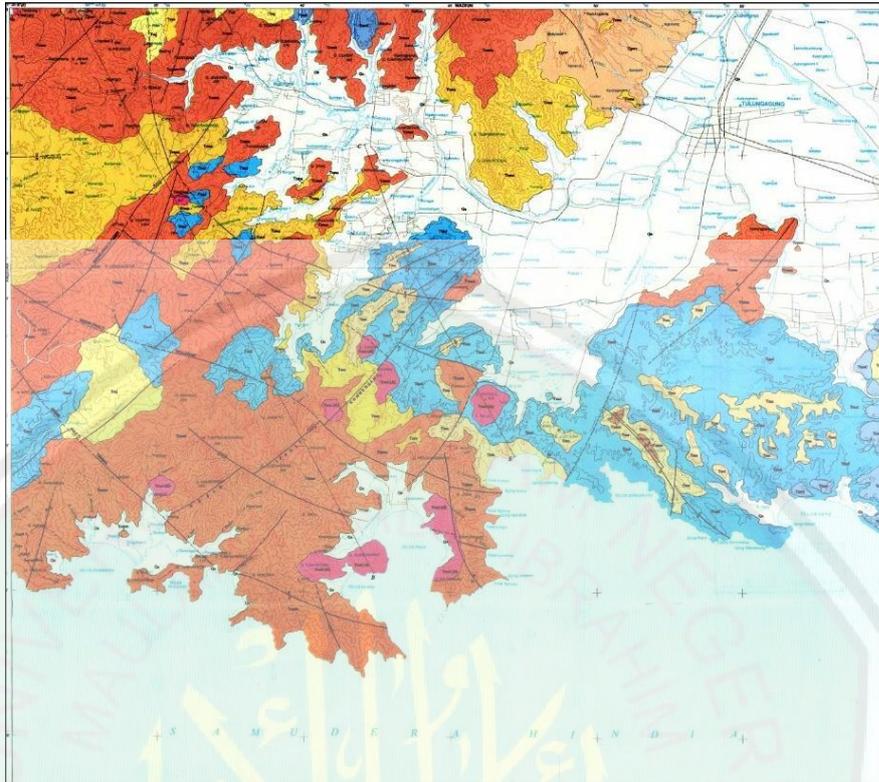


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara struktur lembar Tulungagung ditempati oleh sesar-sesar miring yang berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Gerakan mendatar dari sesar-sesar tersebut lebih banyak dibandingkan dengan gerakan turunnya, sehingga ditafsirkan sebagai sesar geser-jurus. Sesar yang berarah timur laut-barat daya adalah sesar geser-jurus mengiri (sinistral), seperti misalnya Sesar Puger dan Sesar Kambengan. Sedangkan yang arahnya barat laut-tenggara mempunyai gerakan mendatar menganan (dekstral), diantaranya Sesar Ngajaran. Beberapa sesar yang diduga cerminan dari kelurusan yang arahnya barat-timur atau hampir utara-selatan adalah sesar turun. Beberapa sesar di daerah ini menerus ke Lembar Pacitan dan lembar Madiun (Samodra dkk., 1992).

Berdasarkan tataan fisiografi van Bemmelen (1949) daerah Tulungagung termasuk dalam Lajur Pegunungan Selatan Jawa Timur yang bagian utaranya berbatasan dengan Lajur Depresi yang ditempati oleh Gunung Wilis (Nahrowi, 1978).



Gambar 2.1 Geologi Lembar Tulungagung (Sumber: Samodra dkk., 1992)

Formasi Mandalika: breksi gunungapi berwarna kelabu kecoklatan hingga kelabu kehijauan, kompak, pejal; terdiri dari komponen andesit, dasit, diorit dan basal berukuran 3-30 cm, menyudut membundar tanggung, kemas tertutup, terpilah sangat buruk dan bermassa dasar batu pasir tufan kasar. Sebagian besar batuan terubah dan terkarsikan sehingga berwarna kehijauan. Tebalnya beragam dari 5 sampai lebih dari 10 meter. Setempat batuan ini banyak mengandung urat kuarsa yang arahnya tak teratur (Samodra dkk., 1992).

Lava berwarna kehitaman atau hitam kehijauan, kompak, bersusunan andesit basal, bertekstur halus, porfiritik tersusun oleh plagioklas dan piroksin, bermassa dasar mikrolit plagioklas. Umumnya terpropilitkan dan terkarsikan. Di beberapa tempat lava ini terkekar meniang dan melembat yang beberapa bidang kekarnya

terisi oleh pirit. Tebalnya berkisar antara 50-100 cm setempat bahkan lebih dari 3 m; membentuk perulangan dengan breksi gunungapi (Samodra dkk., 1992).

Tuf berwarna coklat kekuningan, berukuran halus-sedang, sebagian terkersikkan. Tebalnya berkisar antara 1 dan 2 m. Bersama-sama dengan breksi gunungapi dan lava, umumnya menempati bagian tengah dan atas satuan (Samodra dkk., 1992).

Batu pasir dan batu lanau yang bersifat tufan merupakan sisipan di bagian bawah satuan. Tebalnya berkisar antara 20 dan 50 cm dan sebagian besar juga mengalami perubahan sehingga berwarna kehijauan, kedua batuan ini saling berselang-seling (Samodra dkk., 1992).

Satuan ini diterobos oleh diorit, dasit dan retas-retas andesit, seperti yang dijumpai di sekitar Munjungan. Fosil tidak ditemukan dalam satuan ini, tetapi berdasarkan kesebandingannya dengan satuan sejenis di lembar Pacitan satuan ini berumur Oligo Miosen. Batu pasir tufan dan batu lempung yang menyelangi bagian bawah satuan memberikan pendugaan kalau satuan ini ke arah bawah berangsur berubah menjadi Formasi Arjosari. Satuan batuan Gunungapi Oligo-Miosen ini ditindih oleh Formasi Campurdarat atau bersentuhan langsung dengan Formasi Jaten dan Formasi Wuni secara tak selaras. Lavanya yang setempat berstruktur bantal menunjukkan bahwa lingkungannya adalah laut (Samodra dkk., 1992).

Sebaran satuan ini cukup luas, terutama di bagian barat dan utara lembar. Ke barat menerus hingga lembar Pacitan dan ke utara hingga Lembar Madiun. Satuan ini membentuk morfologi perbukitan yang menjulang lebih dari 500 m di atas muka laut, seperti misalnya di daerah Munjungan. Beberapa tebing melingkar di sebelah

barat Kampak dan di Teluk Sambreng diduga merupakan bekas kawah letusan. Tebal seluruh satuan diduga lebih dari 500 m (Samodra dkk., 1992).

Nama Formasi Mandalika pertama kali diusulkan oleh Samodra dan Gafoer (1990) yaitu untuk memberi nama runtunan batuan gunungapi Oligo-Miosen di Lembar Pacitan. Singkapannya yang baik terdapat di Mandalika di bagian hulu S. Grendulu, Pacitan Jawa Timur (Samodra dkk., 1992).

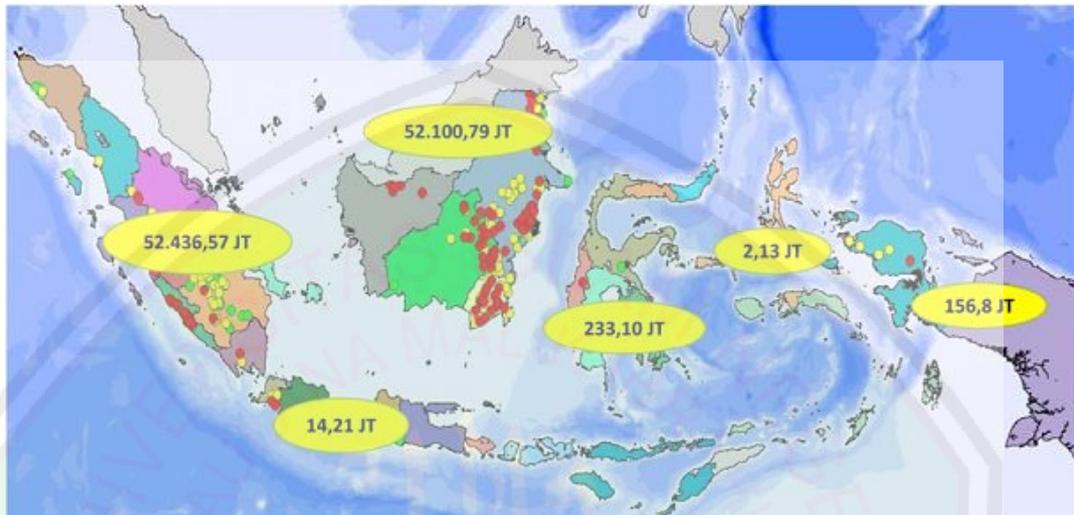
2.2 Batubara

Batubara adalah batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan yang terhumifikasi, berwarna coklat sampai hitam yang selanjutnya terkena proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun sehingga mengakibatkan pengkayaan kandungan karbonnya (Wolf, 1984 dalam Komang 2002).

Batubara merupakan sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan tanah gambut. Pembentukan batubara dimulai sejak *Carboniferous Period* (Periode Pembentukan Karbon atau Batubara) dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu. Mutu dari setiap batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lamanya waktu pembentukan yang disebut sebagai maturitas organik (*World Coal Institute*, 2009).

Batubara merupakan sedimen organik, lebih tepatnya merupakan batuan organik, terdiri dari kandungan bermacam-macam pseudomineral. Batubara terbentuk dari sisa tumbuhan yang membusuk dan terkumpul dalam suatu daerah dengan kondisi banyak air, biasa disebut rawa-rawa. Kondisi tersebut yang

menghambat penguraian menyeluruh dari sisa-sisa tumbuhan yang kemudian mengalami proses perubahan menjadi batubara (Sutarno, 2013).



Gambar 2.2 Cadangan Batubara Indonesia (Sumber: Direktorat Jendral Mineral dan Batubara)

Menurut Fariz Tirasonjaya batubara adalah batuan yang mudah terbakar yang lebih dari 50-70% berat volumenya merupakan bahan organik yang merupakan material karbonan termasuk *inherent moisture*. Bahan organik utamanya yaitu tumbuhan yang dapat berupa jejak kulit pohon, daun, akar, struktur kayu, spora, polen, damar, dan lain-lain. Selanjutnya bahan organik tersebut mengalami berbagai tingkat pembusukan (dekomposisi) sehingga menyebabkan perubahan sifat-sifat fisik maupun kimia baik sebelum ataupun sesudah tertutup oleh endapan lainnya.

Tabel 2.1 Klasifikasi tingkat pembatubaraan (Modifikasi dari M.Teichmüller and R. Teichmüller dalam Erich Stach, 1982)

Coal Rank		Vitrinite Reflectance (Random)	Volatile Matter (wt. % dmmf) ¹	Bed Moisture (wt %)	Calorific Value MJ/kg (Moist, mmf)	Hydro-carbon Generation	Principal Uses	
Class	Group							
Anthracitic ²	Meta-anthracite		2			Early gas-oil and gas-wet gas-dry gas	Space heating Chemical production	
	Anthracite	2.50	8					
	Semianthracite	1.92	14					
Bituminous	Low Volatile Bituminous	1.51	22			Early gas-oil and gas-wet gas-dry gas	Metallurgical coke production Cement production Thermal electric power generation	
	Medium Volatile Bituminous	1.12	31		32.6			
	High Volatile A Bituminous	0.75			30.2			
	High Volatile B Bituminous	0.50-0.75			8-10			26.8
	High Volatile C Bituminous							
	Subbituminous	Subbituminous A ³						24.4
Subbituminous B				25	22.1			
Subbituminous C		0.42			19.3			
Lignitic	Lignite A			35	14.7	Early gas-oil and gas-wet gas-dry gas	Thermal electric power generation Char production Space heating	
	Lignite B			75				
	Peat							

2.2.1 Materi Pembentuk Batubara

Hampir seluruh pembentuk batubara berasal dari tumbuhan. Jenis-jenis tumbuhan pembentuk batubara dan umumnya menurut Diessel (1986) adalah sebagai berikut (Sutarno, 2013):

1. Alga, dari zaman Pre-kambrium hingga Ordovisium dan bersel tunggal. Sangat sedikit endapan batubara dari periode ini.
2. Silofita, dari Zaman Silur hingga Devon Tengah, merupakan turunan dari alga. Sedikit endapan batubara dari periode ini.
3. Pteridofita, umur Devon Atas hingga Karbon Atas. Materi utama pembentuk batubara berumur Karbon di Eropa dan Amerika Utara. Tetumbuhan tanpa bunga dan biji, berkembang biak dengan spora dan tumbuh di iklim hangat.
4. Gimnospermae, kurun waktu mulai dari Zaman Permian hingga Kapur Tengah. Tumbuhan heteroseksual, biji terbungkus dalam buah, semisal pinus, mengandung kadar getah (resin) tinggi. Jenis Pteridospermae seperti ganggamopteris dan glossopteris adalah penyusun utama batubara Permian seperti di Australia, India dan Afrika.
5. Angiospermae, dari Zaman Kapur Atas hingga kini. Jenis tumbuhan modern, buah yang menutupi biji, jantan dan betina dalam satu bunga, kurang bergetah dibanding gimnospermae sehingga secara umum kurang dapat terawetkan.

2.2.2 Fasies Batubara

Fasies batubara dapat diekspresikan melalui komposisi maseral dan kandungan mineral, komposisi kimia (kandungan S, N dan rasio H/C *vitrinite*) serta sifat tekstur (Taylor G.H dan Teichmüller, 1998).

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik fasies batubara antara lain:

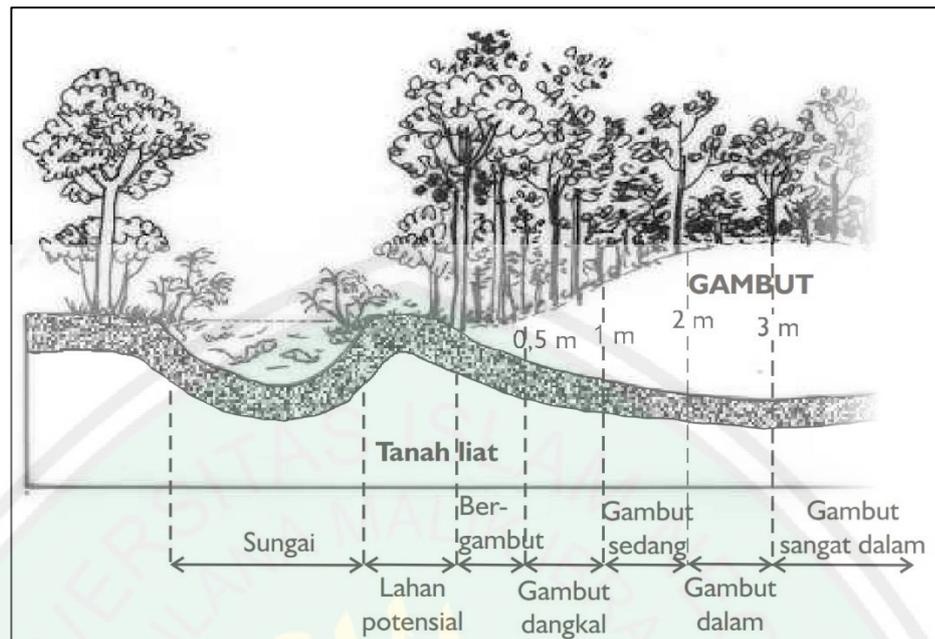
1. Tipe pengendapan

Tipe pengendapan dibedakan atas *autochthonous* dan *allochthonous*. Batubara *autochthonous* berkembang dari tumbuhan yang ketika tumbang akan membentuk gambut di tempat dimana tumbuhan itu pernah hidup tanpa adanya proses transportasi yang berarti. Batubara *allochthonous* terendapkan secara detrital dimana sisa-sisa tumbuhan hancur dan tertransportasi kemudian terendapkan di tempat lain. Batubara *allochthonous* akan lebih banyak mengandung mineral oleh karena penambahan material-material lain selama transportasi.

2. Rumpun tumbuhan pembentuk

Berdasarkan rumpun tumbuhan pembentuk dikenal empat macam tipe rawa yaitu:

- a. Daerah air terbuka dengan tumbuhan air
- b. Rawa ilalang terbuka
- c. Rawa hutan
- d. Rawa lumut



Gambar 2.3 Urutan tipe rawa gambut yang berkembang pada lingkungan *Lacustrine* (Taylor G.H. dkk, 1998)

Urutan tipe rawa di atas terutama terdapat pada gambut di lingkungan *lacustrine* (danau) terutama pada daerah iklim sedang-lembab. Menurut Martini dan Glooschenko (1984) dalam C.F.K Diessel (1992), rawa gambut dapat dibedakan menjadi 4 (empat) jenis berdasarkan jenis tumbuhan pembentuk, yaitu:

- a. *Bog*, yaitu lokasi rawa yang banyak ditumbuhi oleh tanaman lumut atau tanaman merambat yang miskin kandungan makanan.
- b. *Fen*, yaitu lokasi rawa yang kaya akan tumbuhan perdu dan beberapa jenis pohon lainnya. Umumnya terletak pada lingkungan ombrogenik yaitu transisi antara daerah yang melimpah akan kandungan air dengan daerah yang terkadang kering.
- c. *Marsh*, yaitu lokasi rawa yang didominasi oleh tumbuhan perdu atau tanaman merambat yang sering terdapat di sekitar pinggir danau atau laut.

- d. *Swamp*, yaitu daerah basah pada iklim tropis hingga dingin yang didominasi oleh tumbuhan berkayu.

2.2.3 Lingkungan Pengendapan

Pembentukan batubara tidak dapat dipisahkan dengan kondisi lingkungan dan geologi di sekitarnya. Distribusi lateral, ketebalan, komposisi dan kualitas batubara banyak dipengaruhi oleh lingkungan pengendapannya.

Lingkungan pengendapan telmatis (*terrestrial*) akan menghasilkan gambut yang tidak terganggu dan tumbuh secara *insitu*. Batubara yang terendapkan pada lingkungan telmatis dan limnik (*subaquatik*) sulit untuk dibedakan karena pada rawa hutan (*forest swamp*) biasanya ada bagian yang berada di bawah air. Batubara yang terendapkan pada lingkungan payau atau *marine* dicirikan oleh tingginya kandungan abu, sulfur, nitrogen, dan mengandung fosil laut.

Bakteri sulfur mempunyai peran yang khusus dalam gambut dan lumpur organik yaitu mengurangi sulfat menjadi sulfur sehingga memungkinkan terbentuknya pirit atau markasit (Sutarno, 2013).

2.2.4 Jenis-Jenis Batubara

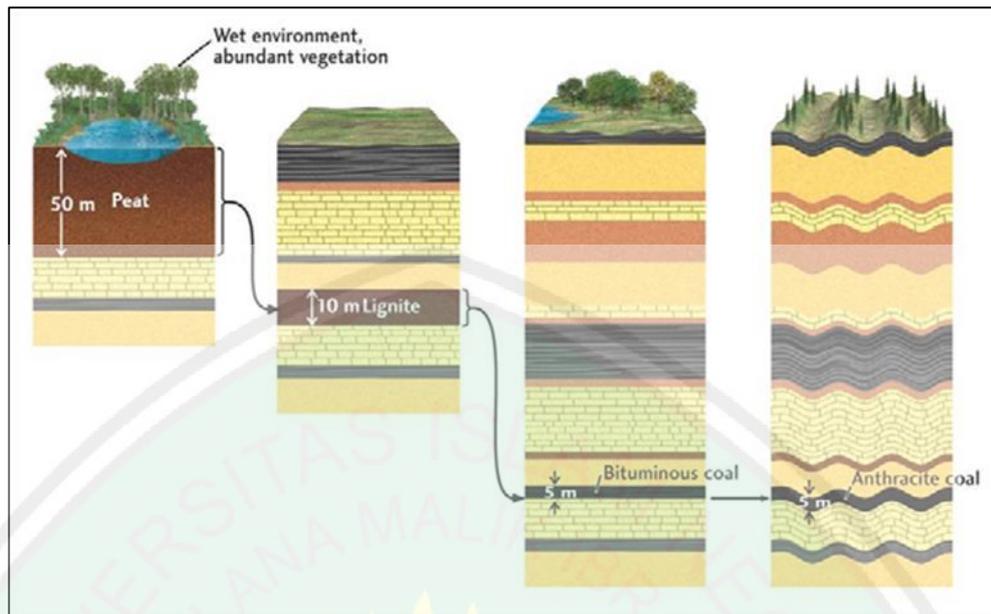
Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu batubara umumnya dibagi menjadi lima kelas: antrasit, bituminous, sub-bituminus, lignit dan gambut (Sutarno, 2013).

1. Antrasit adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86-98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.

2. Bituminus mengandung 68-86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya, kelas batubara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminous.
4. Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak dan mengandung air 35-75 % dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air diatas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

2.3 Proses Pembentukan Batubara

Proses awalnya pembentukan batubara yaitu endapan tumbuhan berubah menjadi gambut (*peat*), yang selanjutnya berubah menjadi batubara muda (*lignit*) 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 sub-bituminus (*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 (Iswati, 2012).



Gambar 2.4 Skema Pembentukan Batubara (Sumber: Iswati, 2012)

Untuk menjadi batubara, ada beberapa tahapan penting yang harus dilewati oleh bahan dasar pembentuknya (tumbuhan). Tahapan penting tersebut yaitu: tahap pertama adalah terbentuknya gambut (*peatification*) yang merupakan proses mikrobial dan perubahan kimia (*biochemical coalification*). Serta tahap berikutnya adalah proses-proses yang terdiri dari perubahan struktur kimia dan fisika pada endapan pembentuk batubara (*geochemical coalification*) karena pengaruh suhu, tekanan dan waktu.

Proses pembentukan batubara secara singkat dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan dari sisa-sisa tumbuhan yang ada, mulai dari pembentukan *peat* (peatifikasi) kemudian lignit dan menjadi berbagai macam tingkat batubara, disebut juga sebagai proses koalifikasi yang kemudian berubah menjadi antrasit (Sutarno, 2013).

Pembentukan batubara ini sangat menentukan kualitas batubara, dimana proses yang berlangsung selain melibatkan metamorfosis dari sisa tumbuhan juga tergantung pada keadaan pada waktu geologi tersebut dan kondisi lokal seperti iklim dan tekanan. Jadi pembentukan batubara berlangsung dengan penimbunan akumulasi dari sisa tumbuhan yang mengakibatkan perubahan seperti pengayaan unsur karbon, alterasi, pengurangan kandungan air, dalam tahap awal pengaruh dari mikroorganisme juga memegang peranan yang sangat penting (Sutarno, 2013).

Proses perubahan sisa-sisa tanaman menjadi gambut hingga batubara disebut dengan istilah pematubaraan (*coalification*). Secara ringkas ada 2 tahap proses yang terjadi, yakni (Sutarno, 2013):

1. Tahap diagenetik atau biokimia, dimulai pada saat material tanaman terdeposisi hingga lignit terbentuk. Agen utama yang berperan dalam proses perubahan ini adalah kadar air, tingkat oksidasi dan gangguan biologis yang dapat menyebabkan proses pembusukan dekomposisi) dan kompaksi material organik serta membentuk gambut.
2. Tahap malihan atau geokimia, meliputi proses perubahan lignit menjadi bituminus dan akhirnya antrasit.

2.3.1 Penggambutan (*Peatification*)

Gambut merupakan batuan sedimen organik (tidak padat) yang dapat terbakar dan berasal dari sisa-sisa hancuran atau bagian tumbuhan yang tumbang dan mati di permukaan tanah, pada umumnya akan mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga setelah beberapa waktu kemudian tidak terlihat lagi bentuk asalnya. Pembusukan dan penghancuran tersebut pada

dasarnya merupakan proses oksidasi yang disebabkan oleh adanya oksigen dan aktivitas bakteri atau jasad renik lainnya. Jika tumbuhan tumbang di suatu rawa, yang dicirikan dengan kandungan oksigen yang sangat rendah sehingga tidak memungkinkan bakteri aerob (bakteri yang memerlukan oksigen) hidup, maka sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga tidak akan terjadi proses oksidasi yang sempurna. Pada kondisi tersebut hanya bakteri-bakteri anaerob saja yang berfungsi melakukan proses dekomposisi yang kemudian membentuk gambut (*peat*). Daerah yang ideal untuk pembentukan gambut misalnya rawa, delta sungai, danau dangkal atau daerah dalam kondisi tertutup udara. Gambut bersifat porous, tidak padat dan umumnya masih memperlihatkan struktur tumbuhan asli, kandungan airnya lebih besar dari 75% (berat) dan komposisi mineralnya kurang dari 50% (dalam keadaan kering) (Diessel, 1986).

Menurut Bend, 1992 dalam C.F.K Diessel (1992), untuk dapat terbentuknya gambut, beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu:

1. Evolusi tumbuhan
2. Iklim
3. Geografi dan tektonik daerah

Syarat untuk terbentuknya formasi batubara antara lain adalah kenaikan mukaair tanah lambat,perlindungan rawa terhadap pantai atau sungai dan energi relief rendah. Jika muka air tanah terlalu cepat naik atau penurunan dasar rawa cepat maka kondisi akan menjadi *limnic* atau bahkan akan terjadi endapan marin. Sebaliknya kalau terlalu lambat, maka sisa tumbuhan yang

terendapkan akan teroksidasi dan tererosi. Terjadinya kesetimbangan antara penurunan cekungan (*land-subsidence*) dan kecepatan penumpukan sisa tumbuhan (kesetimbangan bioteknik) yang stabil akan menghasilkan gambut yang tebal (C.F.K Diessel, 1992).

Lingkungan tempat terbentuknya rawa gambut umumnya merupakan tempat yang mengalami depresi lambat dengan sedikit sekali atau bahkan tidak ada penambahan material dari luar. Pada kondisi tersebut muka air tanah terus mengikuti perkembangan akumulasi gambut dan mempertahankan tingkat kejenuhannya. Kejenuhan tersebut dapat mencapai 90% dan kandungan air menurun drastis hingga 60% pada saat terbentuknya *brown-coal*. Sebagian besar lingkungan yang memenuhi kondisi tersebut merupakan *topogenic low moor*. Hanya pada beberapa tempat yang mempunyai curah hujan sangat tinggi dapat terbentuk rawa gambut ombrogenik (*high moor*) (C.F.K Diessel, 1992).

2.3.2 Pembatubaraan (*Coalification*)

Proses pembatubaraan adalah perkembangan gambut menjadi lignit, sub-bituminus, bituminus, antrasit sampai meta-antrasit. Proses pembentukan gambut dapat berhenti karena beberapa proses alam seperti misalnya karena penurunan dasar cekungan dalam waktu yang singkat. Jika lapisan gambut yang telah terbentuk kemudian ditutupi oleh lapisan sedimen, maka tidak ada lagi bahan anaerob, atau oksigen yang dapat mengoksidasi, maka lapisan gambut akan mengalami tekanan dari lapisan sedimen. Tekanan terhadap lapisan gambut akan meningkat dengan bertambah tebalnya lapisan sedimen. Tekananyang bertambah besar pada proses pembatubaraan akan mengakibatkan

menurunnya porositas dan meningkatnya anisotropi. Porositas dapat dilihat dari kandungan airnya yang menurun secara cepat selama proses perubahan gambut menjadi *brown coal*. Hal ini memberi indikasi bahwa masih terjadi proses kompaksi (Diessel, 1992).

Proses pembatubaraan terutama dikontrol oleh kenaikan temperatur, tekanan dan waktu. Pengaruh temperatur dan tekanan dipercayai sebagai faktor yang sangat dominan, karena sering ditemukan lapisan batubara *high-rank* (antrasit) yang berdekatan dengan intrusi batuan beku sehingga terjadi kontak metamorfisme. Kenaikan peringkat batubara juga dapat disebabkan karena bertambahnya kedalaman. Sementara bila tekanan makin tinggi, maka proses pembatubaraan makin cepat, terutama di daerah lipatan dan patahan (Diessel, 1992).

2.4 Bentuk Lapisan Batubara

Pada kegiatan eksplorasi batubara selalu menginginkan untuk mendapatkan lapisan batubara yang tebal, dalam bentuk lapisan menerus dengan ketebalan yang sama ke semua arah dan kualitas batubaranya baik. Impian ini tidak pernah ditemukan di lapangan (Sukandarrumidi, 2006).

Sebagai catatan, hasil pengamatan pada singkapan batubara yang diperoleh di lapangan, dikombinasikan dengan hasil pemboran eksplorasi, akan dapat diketahui berbagai macam bentuk lapisan batubara yang ada di antara lapisan batuan sedimen. Berdasarkan atas pengalaman tersebut, dianjurkan ahli geologi dalam melakukan interpretasi geologi yang berkaitan dalam usaha memahami bentuk lapisan batubara, dianjurkan memadukan semua data geologi yang diperoleh

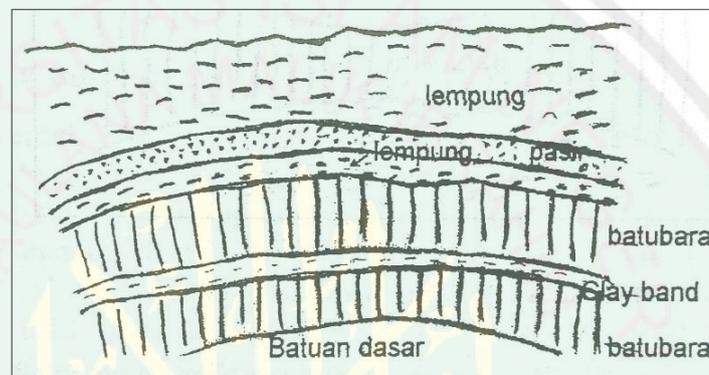
pada saat melakukan pemetaan permukaan (*surface*) dan pemetaan bawah permukaan (*subsurface*). Dalam pembuatan peta bawah permukaan, makin banyak informasi yang diperoleh dari hasil pemboran inti, interpretasi geologi akan mendekati keadaan sebenarnya (walaupun tidak mungkin menjamin 100% betul) (Sukandarrumidi, 2006).

Mencermati berbagai bentuk lapisan batubara dikenal beberapa tipe antara lain bentuk *Horse back*, *Pinch*, *Clay Vein*, *Burried Hill*, *Fault*, dan *Fold*. Uraian berikut memberikan gambaran tentang bentuk-bentuk lapisan batubara (Sukandarrumidi, 2006):

1. Bentuk *Horse Back*

Bentuk ini dicirikan oleh lapisan batubara dan lapisan batuan sedimen yang menutupinya melengkung ke arah atas akibat adanya gaya kompresi. Tingkat pelengkungan sangat ditentukan oleh besaran gaya kompresi. Makin kuat gaya kompresi yang berpengaruh makin besar tingkat pelengkungannya. Ke arah lateral lapisan batubara mungkin akan sama tebalnya atau menjadi lebih tipis. Kenampakan ini dapat terlihat langsung pada singkapan batubara yang tampak atau dijumpai di lapangan (dalam skala kecil) atau dapat diketahui dari hasil rekonstruksi beberapa lubang pemboran eksplorasi pada saat dilakukan coring secara sistematis. Akibat dari pelengkungan ini, lapisan batubara terlihat terpecah-pecah akibatnya batubara menjadi kurang kompak. Pengaruh air hujan yang selanjutnya menjadi air tanah akan mengakibatkan sebagian dari butiran batuan sedimen yang terletak di atasnya bersama air tanah akan masuk di antara rekahan lapisan batubara. Kejadian ini akan mengakibatkan apabila batubara tersebut ditambang, batubara mengalami

pengotoran (kontaminasi) dalam bentuk butiran-butiran batuan sedimen sebagai kontaminan anorganik, sehingga batubara menjadi tidak bersih. Keberadaan pengotor ini tidak diinginkan, apabila batubara tersebut akan dipergunakan sebagai bahan bakar. Pada gambar di bawah ini tampak lapisan batubara berbentuk *Horse Back*.



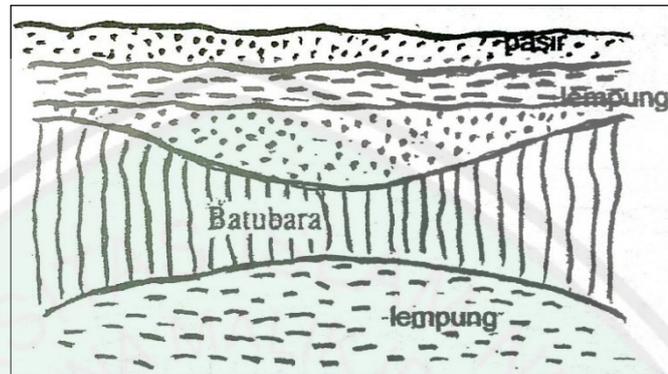
Gambar 2.5 Perlapisan Batubara Bentuk *Horse Back* (Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

2. Bentuk *Pinch*

Bentuk ini dicirikan oleh lapisan batubara yang menipis di bagian tengah. Pada umumnya bagian bawah (dasar) dari lapisan batubara bentuk ini merupakan batuan yang plastis (misal: batu lempung) sedang bagian atas dari lapisan batubara secara setempat-setempat ditutupi oleh batupasir, yang secara lateral merupakan pengisian suatu alur. Sangat dimungkinkan bentuk *pinch* ini bukan merupakan penampakan tunggal melainkan merupakan penampakan yang berulang-ulang.

Ukuran bentuk *pinch* bervariasi dari beberapa meter sampai puluhan meter. Dalam proses penambangan batubara batu pasir yang mengisi pada alur-alur tersebut tak terhindarkan ikut tergali sehingga keberadaan fragmen-fragmen baru

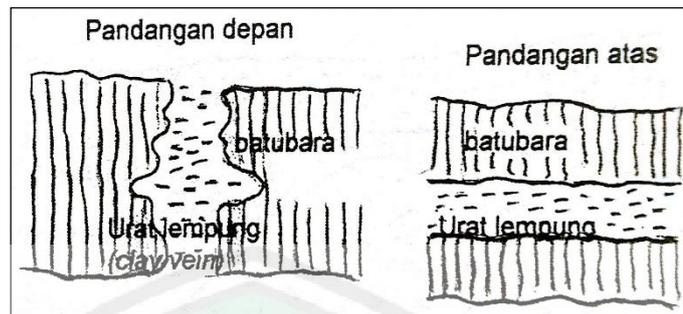
pasir tersebut juga dianggap sebagai pengotor anorganik. Keberadaan pengotor ini tidak diinginkan apabila batubara tersebut akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar.



Gambar 2.6 Perlapisan Batubara Bentuk *Pinch* (Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

3. Bentuk *Clay Vein*

Bentuk ini terjadi apabila di antara 2 bagian (secara lateral) endapan batubara terdapat urat lempung ataupun pasir. Bentuk ini terjadi apabila pada satu seri endapan batubara mengalami patahan dan di antara 2 bidang patahan tersebut yang merupakan rekahan terbuka terisi oleh lempung ataupun pasir. Apabila batubaranya ditambang, bentukan *Clay Vein* ini dipastikan ikut tergali dan merupakan pengotor anorganik yang tidak diinginkan. Pengotor ini harus dihilangkan apabila batubara tersebut akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar.



Gambar 2.7 Perlapisan Batubara Bentuk *Clay Vein* (Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

4. Bentuk *Burried Hill*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah batubara terbentuk, terdapat suatu kulminasi, seolah-olah lapisan batubara seperti “terintrusi”. Sangat dimungkinkan lapisan batubara pada bagian yang terintrusi menjadi menipis atau hampir hilang sama sekali. Bentukan intrusi mempunyai ukuran dari beberapa meter sampai puluhan meter.

Data hasil pemboran inti pada saat eksplorasi akan banyak membantu dalam menentukan dimensi bentukan tersebut. Apabila bentukan intrusi tersebut merupakan batuan beku, pada saat proses penambangan dapat dihindarkan, tetapi apabila bentukan tersebut merupakan tubuh batupasir, dalam proses penambangan akan ikut tergali.



Gambar 2.8 Perlapisan Batubara Bentuk *Burried Hill* (Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

5. Bentuk *Fault*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah endapan batubara mengalami beberapa seri patahan. Apabila hal ini terjadi, akan mempersulit dalam melakukan perhitungan cadangan batubara. Hal ini disebabkan telah terjadi pergeseran perlipisan batubara ke arah vertikal. Dalam melaksanakan eksplorasi batubara di daerah yang memperlihatkan banyak gejala patahan, diperlukan tingkat ketelitian yang tinggi, tidak dibenarkan hanya berpedoman pada hasil pemetaan geologi permukaan saja.

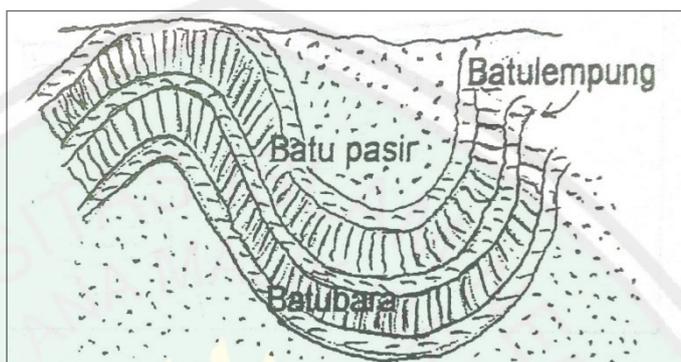


Gambar 2.9 Perlipisan Batubara Bentuk *Fault* (Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

6. Bentuk *Fold*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah endapan batubara didapatkan, mengalami proses tektonik hingga terbentuk perlipatan. Perlipatan tersebut memungkinkan masih dalam bentuk sederhana, misalnya bentuk antiklin atau bentuk siklin atau sudah merupakan kombinasi dari kedua bentuk tersebut. pada lapisan batubara yang sangat luas bentuk-bentuk tersebut dapat berupa siklinorium atau antiklinorium . lapisan batubara berbentuk *fold* memberi petunjuk awal kita bahwa batubara yang terdapat di daerah tersebut telah mengalami proses koalifikasi relatif lebih

sempurna. Akibatnya batubara yang diperoleh kualitasnya relatif lebih baik seringkali terjadi, lapisan batubara berbentuk *fold* berasosiasi dengan lapisan batubara berbentuk *fault*.



Gambar 2.10 Perlapisan Batubara Berbentuk *Fold* (Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

2.5 Batubara Di Indonesia

Di Indonesia, endapan batubara yang bernilai ekonomis terdapat di cekungan tersier, yang terletak di bagian barat paparan Sunda (termasuk pulau Sumatra dan Kalimantan), pada umumnya endapan batubara ekonomis tersebut dapat dikelompokkan sebagai batubara berumur Eosen atau sekitar tersier bawah, kira-kira 45 juta tahun yang lalu dan Miosen atau sekitar tersier atas, kira-kira 20 juta tahun yang lalu menurut skala waktu geologi (Frederich dkk, 1995).

Batubara ini terbentuk dari endapan gambut pada iklim purba sekitar katulistiwa yang mirip dengan kondisi kini, berbeda diantaranya tergolong kubah gambut yang terbentuk diatas muka air tanah rata-rata pada iklim basah sepanjang tahun. Dengan kata lain, kubah gambut ini terbentuk pada kondisi dimana mineral-mineral anorganik terbawa airdapat masuk ke dalam sistem dan membentuk lapisan batubara berkadar air dan sulfur rendah dan menebal secara lokal. Hal ini sangat

umum dijumpai pada batubara Miosen. Sebaliknya endapan batubara Eosen umumnya lebih tipis, berkadar abu dan sulfur tinggi. Kedua endapan batubara ini terbentuk pada lingkungan lakustrin, daratan pantai atau delta, mirip dengan daerah pembentukan gambut yang terjadi saat ini di daerah timur Sumatera dan sebagian besar Kalimantan (Frederich dkk, 1995).

2.6 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang merupakan salah satu hal yang mendasar dalam penelitian ini. Definisi gelombang adalah sebuah getaran yang merambat dalam ruang dan waktu. Gelombang elektromagnetik yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam spektrum gelombang mikro. Sistem kerja radar yaitu dengan memancarkan gelombang mikro secara terus menerus ke segala arah oleh pemancar. Jika ada objek yang terkena gelombang ini, sinyal akan dipantulkan oleh objek dan diterima kembali oleh penerima. Sinyal pantulan ini akan memberikan informasi keberadaan objek yang ada di bawah permukaan tanah yang akan ditampilkan oleh layar radar (Muhyi, 2005 dalam Anggun, 2016).

Allah SWT berfirman dalam penggalan Surat an-Nur ayat 35:

نُورٌ عَلَىٰ نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٣٥﴾

“Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang Dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu”(Q.S. an-Nur: 35)

Menurut Agus Purwanto (2008) kata “*nuurun ‘ala nuuri*” yang berarti cahaya di atas cahaya diumpamakan sebagai tingkatan warna pada gelombang elektromagnetik. Isaac Newton (1666) melakukan eksperimen dengan membiarkan

cahaya matahari masuk menembus celah kecil, melintas ruang gelap dan jatuh miring pada permukaan prisma kaca segitiga. Berkas cahaya yang keluar dari prisma ditangkap pada layar putih. Eksperimen tersebut menghasilkan sebaran pita warna warni dan teratur mulai dari warna merah, jingga, kuning, hijau, biru dan ungu. Berkas cahaya pada eksperimen tersebut membentuk tumpukan cahaya dari sinar ungu ditumpuki sinar biru, hijau hingga merah. Sebaran pita membentuk pola penguraian cahaya serta membentuk sebuah tumpukan warna dan disebut spektrum cahaya.

Sifat elektromagnetik suatu material bergantung pada komposisi dan kandungan air di dalamnya, dimana keduanya merupakan pengaruh utama pada perambatan kecepatan gelombang radar dan atenuasi gelombang elektromagnetik dalam material. Penggunaan gelombang elektromagnetik dalam *ground penetrating radar* didasarkan atas persamaan Maxwell yang merupakan perumusan matematis untuk hukum-hukum alam yang melandasi semua fenomena elektromagnetik (Agung dkk., 2011).

Sejauh ini kita telah menggunakan hukum ini yang merupakan turunan dari hukum listrik dan medan magnet (Griffiths, 1999):

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.4)$$

Keterangan:

ϵ_0 = permitivitas listrik ruang hampa ($8,85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{Nm}^2$)

ρ = tahanan jenis ($\Omega \cdot \text{m}$)

\mathbf{B} = medan magnet (T)

\mathbf{E} = medan listrik (N/C)

μ = permeabilitas magnetik

\mathbf{J} = rapat arus (A/m^2)

Dari persamaan Maxwell di atas dapat diperoleh nilai kecepatan gelombang elektromagnetik pada berbagai medium, kecepatan ini tergantung kepada kecepatan cahaya (c), konstanta relatif dielektrik (ϵ_r) dan permeabilitas magnetik ($\mu_r=1$ untuk material non magnetik). Persamaan kecepatan gelombang elektromagnetik dalam suatu medium adalah (Agung dkk., 2011):

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{(\epsilon_r \mu_r / 2)(1 + P^2) - 1}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

c = kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{m/s}$)

ϵ_r = konstanta dielektrik relatif

μ_r = permeabilitas magnetik relatif

P = *loss factor*, dimana $P = \sigma / \omega \epsilon$, σ adalah konduktifitas

$\Omega = 2\pi f$, f adalah frekuensi

ϵ = permitifitas dielektrik

f = frekuensi gelombang elektromagnetik

ϵ_0 = permitifitas ruang bebas ($8,854 \times 10^{-12} \text{F/m}$)

Untuk material dengan *loss factor* rendah ($P=0$), maka berlaku persamaan berikut:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/ns} \quad (2.6)$$

Loss factor menunjukkan sejumlah energi yang hilang penjaran (propagasi) muatan atau sinyal karena terjadi penyerapan oleh medium yang dilewati. Energi tersebut sebenarnya tidak lenyap tetapi bertransformasi menjadi suatu bentuk yang berbeda, misalnya dari energi elektromagnetik menjadi energi termal (panas) sama halnya seperti yang berlaku pada alat masak *oven microwave* (Agung dkk., 2011).

Radiasi elektromagnetik yang direfleksikan material bergantung pada kontras konstanta dielektrik relatif per lapisan-perlapisan yang berdekatan. Jika kontras tersebut besar, maka jumlah energi gelombang radar yang direfleksikan juga besar. Koefisien refleksi (R) didefinisikan sebagai perbandingan energi yang dipantulkan dan energi yang datang. Besar R ditentukan oleh kontras kecepatan dielektrik relatif dari medium. Dalam semua kasus magnitudo R berada pada rentang ± 1 . Bagian energi yang ditransmisikan sama dengan $1-R$, sedangkan daya koefisiensi refleksi sama dengan R^2 (Sri, 1997).

Suatu gelombang akan mengalami efek snellius. Dari efek snellius itu dapat dicari suatu koefisien refleksi. Koefisien refleksi (R) didefinisikan sebagai perbandingan energi yang dipantulkan dan energi yang datang, persamaan untuk koefisien refleksi adalah sebagai berikut (Agung dkk, 2011):

$$R = \frac{(V_1 - V_2)}{(V_1 + V_2)} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (2.7)$$

dimana V_1 dan V_2 secara berturut-turut adalah kecepatan gelombang pada lapisan 1 dan 2, sedangkan ϵ_1 dan ϵ_2 adalah konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) lapisan 2.

ϵ didefinisikan sebagai kapasitas dari suatu material dalam melewati muatan saat medan elektromagnetik melaluinya.

Tabel 2.2 Kecepatan dan Konstanta Dielektrik Berbagai Medium (Sumber: Sri Astutik, 1997)

Medium	ϵ_r	Kecepatan [m/ μ s]
Air	1	300
Fresh Water	81	33
Limestone	7-16	75-113
Granite	5-7	113-134
Schist	5-15	77-134
Concrete	4-10	95-150
Clay	4-16	74-150
Silt	9-23	63-100
Sand	4-30	55-150
Moraine	9-25	60-100
Ice	3-4	150-173
Permafrost	4-8	106-150

2.7 Ground Penetrating Radar (GPR)

GPR adalah salah satu metode geofisika yang mempelajari kondisi bawah permukaan berdasarkan sifat elektromagnetik yang mempunyai rentang frekuensi antara 1-1000 MHz dan dapat mendeteksi parameter permitivitas listrik (ϵ), konduktivitas (σ) dan permeabilitas magnetik (μ). GPR dapat disebut juga dengan metode refleksi elektromagnetik karena memanfaatkan sifat radiasi elektromagnetik yang memperlihatkan refleksi seperti pada metode gelombang seismik. GPR digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk stratigrafi tanah, studi air tanah, pemetaan *fracture bedrock* dan penentuan kedalaman dari permukaan air tanah (Annan dan Davis, 1989).

Seperti pada sistem radar pada umumnya, sistem GPR terdiri atas pengirim (*transmitter*), antena yang terhubung ke sumber pulsa, dan penerima (*receiver*), antena yang terhubung ke unit pengolahan sinyal dan citra. Adapun

dalam menentukan tipe antena yang digunakan, sinyal yang ditransmisikan dan metode pengolahan sinyal tergantung pada beberapa hal, yaitu (Agung dkk,2011):

1. Jenis objek yang akan dideteksi
2. Kedalaman objek
3. Karakteristik elektrik medium tanah

Dari proses pendeteksian seperti di atas, maka akan didapatkan suatu citra dari letak dan bentuk objek yang terletak di bawah tanah atau di permukaan tanah. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus memenuhi empat persyaratan sebagai berikut (Daniel, 1996 dalam Ayik, 2009):

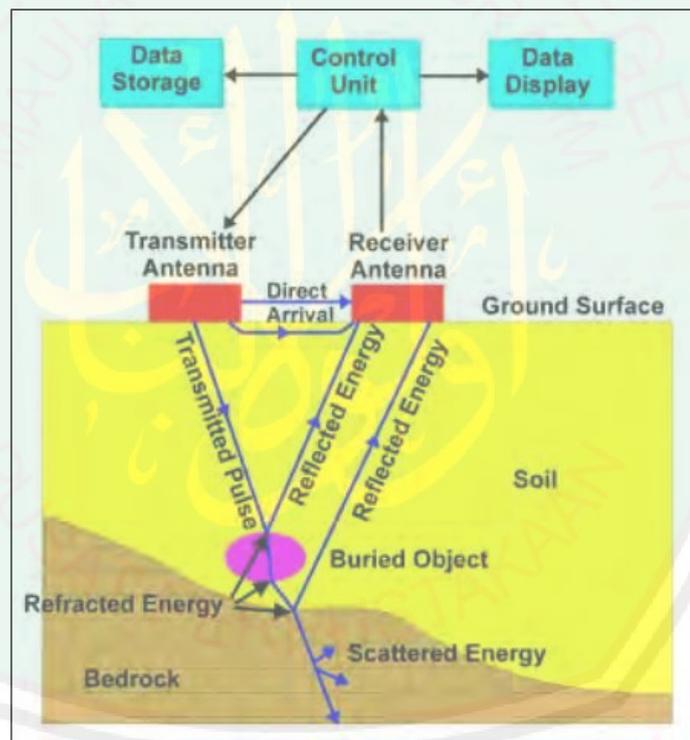
1. Kopling radiasi yang efisien ke dalam tanah
2. Penetrasi gelombang elektromagnetik yang efisien
3. Menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang besar dari objek yang dideteksi
4. *Bandwidth* yang cukup untuk menghasilkan resolusi yang baik

2.7.1 Prinsip Kerja GPR

Prinsip kerja alat GPR yaitu dengan mentransmisikan gelombang radar (*Radio Detection and Ranging*) ke dalam medium target dan selanjutnya gelombang tersebut dipantulkan kembali ke permukaan dan diterima oleh alat penerima radar (*receiver*), dari hasil refleksi itulah berbagai macam objek dapat terdeteksi dan terekam dalam radargram. Mekanisme kerja GPR dan contoh rekaman radargram ditunjukkan oleh gambar berikut (Agung dkk., 2011).



Gambar 2.11 *Ground Penetrating Radar (GPR)* (Ayik, 2009)



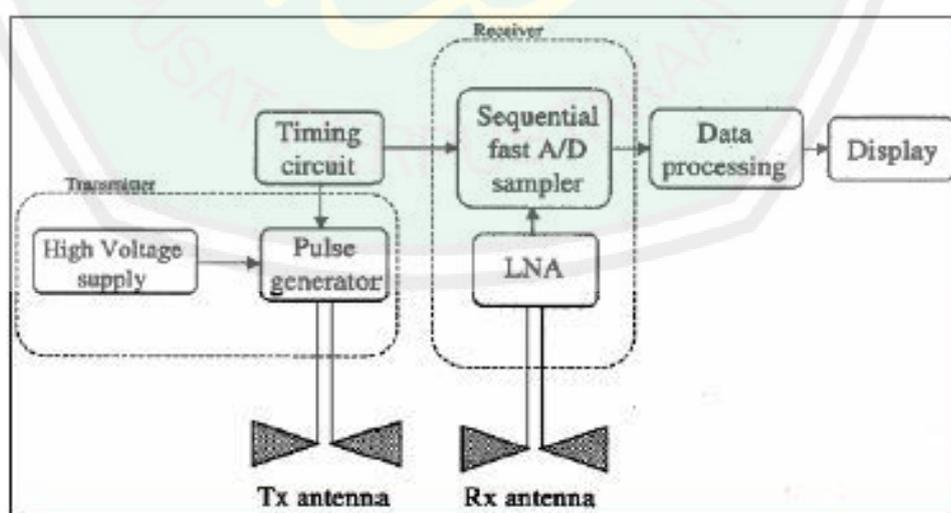
Gambar 2.12 Mekanisme Kerja GPR (Yudi Yulius, M. 2014)

Jika tanah bersifat homogen, maka sinyal yang dipantulkan akan sangat kecil. Jika pulsa menabrak suatu inhomogenitas di dalam tanah, maka akan ada sinyal yang dipantulkan ke antena penerima. Sinyal ini kemudian diproses oleh rangkaian penerima. Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara

pemancaran dan penerimaan pulsa. Dalam selang waktu ini, pulsa akan bolak balik dari antenna ke objek dan kembali lagi ke antenna (Agung dkk., 2011).

Untuk mendeteksi suatu objek diperlukan perbedaan parameter kelistrikan dari medium yang dilewati gelombang radar. Perbedaan parameter kelistrikan itu antara lain permitivitas listrik, konduktivitas dan permeabilitas magnetik. Sifat elektromagnetik suatu material bergantung pada komposisi dan kandungan air di dalamnya, di mana keduanya merupakan pengaruh utama pada perambatan kecepatan gelombang radar dan atenuasi gelombang elektromagnetik dalam material (Agung dkk., 2011).

Sistem GPR terdiri atas pengirim (*transmitter*), yaitu antenna yang terhubung ke sumber pulsa (generator pulsa) dengan adanya pengaturan *timing circuit*, dan bagian penerima (*receiver*), yaitu antenna yang terhubung ke LNA dan ADC yang kemudian terhubung ke unit pengolahan (*data processing*) serta *display* sebagai tampilan outputnya (Lighthart, 2004 dalam Ayik, 2009).



Gambar 2.13 Sistem Kerja GPR (Lighthart dalam Ayik, 2009)

Sistem GPR yang digunakan untuk mengukur keadaan di bawah permukaan tanah terdiri dari unit kontrol, antenna pengirim dan antenna penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan *display*. Unit kontrol radar menghasilkan pulsa *trigger* tersinkronasi ke pengirim dan penerima elektronik di antenna. Pulsa ini mengendalikan pengirim dan penerima elektronik untuk menghasilkan sampel gelombang dari pulsa radar yang dipantulkan (Agung dkk., 2011).

Sistem GPR dikendalikan secara digital dan data selalu direkam secara digital untuk kebutuhan pemrosesan survei akhir dan *display*. Kendali digital dan *display* bagian dari sistem GPR secara umum terdiri dari sebuah *mikroprosesor*, memori, dan *mass storage* yaitu medium untuk menyimpan bidang pengukuran (Agung dkk., 2011).

Jika selang waktu dinyatakan dalam t dan kecepatan propagasi gelombang elektromagnetik dalam tanah v , maka kedalaman objek yang dinyatakan dalam h adalah (Ayik, 2009):

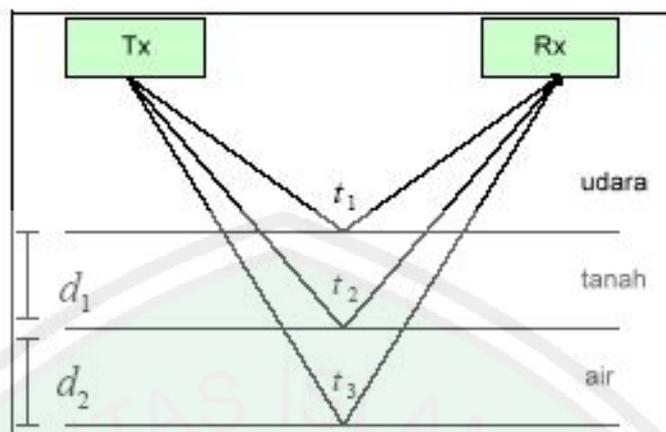
$$h = \frac{1}{2}tv \quad (2.8)$$

Untuk mengetahui kedalaman objek yang dideteksi, kecepatan perambatan dari gelombang elektromagnetik haruslah diketahui. Kecepatan perambatan (v) tersebut tergantung kepada kecepatan cahaya di udara (c), konstanta dielektrik relatif medium perambatan (ϵ_r) yaitu:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

Ketebalan beberapa medium di dalam tanah dinyatakan dalam d , yaitu:

$$d_1 = \frac{(t_2-t_1)c}{2\sqrt{\epsilon_{r1}}} \text{ dan } d_2 = \frac{(t_3-t_2)c}{2\sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.14 Ketebalan Beberapa Medium dalam Tanah (Ayik, 2009)

Sebuah mikrokomputer yang kecil dan sistem operasi standart kerap kali digunakan untuk mengendalikan proses pengukuran, menyimpan data dan bertindak sebagai penghubung dengan pengguna. Data kemungkinan akan mengalami proses penyaringan pada bidang untuk menghilangkan *noise* atau data kasar mungkin direkam terlebih dahulu dan pemrosesan data untuk menghilangkan *noise* dilakukan di kemudian waktu. Penyaringan medan untuk menghilangkan *noise* yang terdiri dari pemfilteran elektronik dan atau pemfilteran digital dilakukan terlebih dahulu untuk merekam data pada medium penyimpanan data (Agung dkk., 2011).

Keberhasilan metode GPR bergantung pada variasi bawah permukaan yang dapat menyebabkan gelombang radar tertransmisikan dan refleksikan. Refleksi yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik timbul akibat adanya perbedaan antara konstanta dielektrik relatif antara lapisan yang berbatasan. Perbandingan energi yang direfleksikan disebut koefisien refleksi (R) (Agung dkk., 2011).

2.7.2 Atenuasi Gelombang

Dalam perambatannya, amplitudo sinyal akan mengalami pelemahan karena adanya energi yang hilang, sebagai akibat terjadinya refleksi atau transmisi di tiap batas medium dan terjadi setiap kali gelombang radar melewati batas antar medium. Faktor kehilangan energi disebabkan oleh perubahan energi elektromagnetik menjadi panas. Penyebab dasar terjadinya atenuasi merupakan fungsi kompleks dari sifat dielektrik dan sifat listrik medium yang dilewati oleh sinyal radar. Faktor atenuasi tergantung pada konduktivitas, permitivitas dan permeabilitas magnetik medium, dimana sinyal tersebut menjalar, serta frekuensi sinyal itu sendiri. Koefisien atenuasi ditentukan dengan persamaan berikut (Agung dkk., 2011):

$$a = \frac{w}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_r m_r}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{s}{\epsilon w}\right)^2} - 1} \quad (2.11)$$

Fenomena yang terjadi karena gangguan lokal pada suatu besaran fisis dan adanya perambatan gangguan dalam medium sekitarnya disebut sebagai gelombang. Gangguan tersebut dapat berupa osilasi kedudukan partikel, osilasi tekanan atau kerapatan massa dalam medium bersangkutan dan osilasi medan listrik atau magnet yang berasal dari osilasi arus atau osilasi rapat muatan listrik. Untuk gelombang elektromagnet, perambatan gangguan lokal tersebut selalu berlangsung dalam medium material (Tjia, 1994).

Kedalaman maksimum yang dapat dicapai oleh implus radar tergantung dari frekuensi yang dipakai serta konduktivitas medium. Semakin tinggi frekuensi radar yang digunakan, akan semakin rendah daya tembus gelombang radar tersebut dan semakin rendah frekuensi radar yang dipakai, akan semakin tinggi daya tembus gelombang radar tersebut. Ketika merambat dalam material,

gelombang radar tersebut juga mengalami pengurangan yang berbanding lurus dengan konduktivitas dielektrik bahan tersebut. Radiasi elektromagnetik yang direfleksikan material bergantung pada kontras konstanta dielektrik relatif per lapisan-perlapisan yang berdekatan. Jika kontras tersebut besar, maka jumlah energi gelombang radar akan direfleksikan juga besar (Tjia, 1994).

Refleksi atau transmisi di sekitar batas lapisan menyebabkan energi hilang. Jika kemudian ditemukan benda yang memiliki dimensi yang sama dengan panjang gelombang dari sinyal gelombang elektromagnetik maka benda ini menyebabkan penyebaran energi secara acak. Absorpsi (mengubah energi elektromagnetik menjadi energi panas) dapat menyebabkan energi hilang. (Tjia, 1994).

Tabel 2.3 Resolusi dan daya tembus gelombang radar (*Sumber: Mala Geoscience, 1997*)

Frekuensi Antena (MHz)	Ukuran Target Minimum yang Terdeteksi (m)	Aproksimasi Range Kedalaman (m)	Penetrasi Kedalaman Maksimum (m)
25	$\geq 1,0$	5-30	35-60
50	$\geq 0,5$	5-20	20-30
100	0,1-1,0	5-15	15-25
200	0,05-0,50	1-10	5-15
400	$\approx 0,05$	1-5	3-10
1000	0,01	0,05-2	0,5-4

2.7.3 Skin depth

Skin depth adalah kedalaman dimana sinyal telah berkurang menjadi 1/e. Kedalaman penetrasi dibatasi oleh konduktifitas tanah yang rendah atau resistivitas yang tinggi. Untuk material geologi, berada pada range 1-30 m, sehingga range jarak cepat rambat gelombang menjadi besar yaitu sekitar 0.03 sampai 0.175 m/ns. *Skin depth* dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Agung dkk., 2011):

$$\delta = \frac{1}{\sigma} = \frac{c}{w \sqrt{\mu_r \epsilon_r \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon_r w}\right)^2} - 1}} \quad (2.11)$$

dimana:

δ = Skin depth (m)

ϵ_r = konstanta dielektrik relatif

σ = konduktifitas tanah/material

μ_r = permeabilitas magnetik relatif

$w = 2\pi f$, f adalah frekuensi

Jika konstanta dielektrik medium semakin besar maka kecepatan gelombang elektromagnetik yang dirambatkan akan semakin kecil. *Pulse Repetition Frequency* (prf) merupakan nilai yang menyatakan seberapa sering nya pulsa radar diradiasikan kedalaman maksimum yang ingin dicapai. Semakin dalam objek, maka prf juga semakin kecil karena waktu tunggu semakin lama. *Skin depth* adalah kedalaman sinyal yang telah berkurang menjadi 1/e (37%). Pada medium konduktor kedalaman penetrasi (*skin depth*) dalam metode GPR sangat dipengaruhi oleh frekuensi yang digunakan saat pengambilan data. Semakin tinggi frekuensi yang digunakan maka semakin dangkal kedalaman penetrasinya tetapi memiliki resolusi yang tinggi dan sebaliknya apabila frekuensi yang digunakan frekuensi rendah maka kedalaman penetrasinya akan semakin dalam tetapi

memiliki resolusi yang rendah. Definisi matematik faktor atenuasi dan *skin depth* dapat dituliskan seperti persamaan berikut (Sri, 1997):

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_0}} \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (2.12)$$

dimana:

δ = *skin depth* (meter)

ρ = resistivitas ($\Omega \cdot m$)

f = frekuensi (Hz)

μ_0 = permeabilitas magnet di udara/ruang vakum = $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m)

μ_r = permeabilitas relatif (H/m)

Tabel 2.4 Permittivitas Relatif, Konduktivitas, Kecepatan dan Atenuasi (Sumber: Annan, 1992)

Material	Permittivitas Relatif	Konduktivitas (mS/m)	Kecepatan (m/ns)	Koef. Atenuasi A (dB/m)
Udara	1	0	0.3	0
Air terdistilasi	80	0.01	0.033	2×10^{-3}
Air segar	80	0.5	0.033	0.1
Air laut	80	3×10^3	0.01	10^3
Pasir kering	3-5	0.01	0.15	0.01
Pasir jenuh	20-30	0.1-1	0.08	0.03-0.3
Batugamping	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Serpih	5-15	1-100	0.09	1-100
Lanau	5-30	1-100	0.07	1-100
Lempung	5-40	2-1000	0.06	1-300
Granit	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Garam kering	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Es	3-4	0.01	0.16	0.01

2.7.4 Parameter Antena GPR

Peranan antena dalam aplikasi GPR sangat penting dalam menentukan performansi sistem. Pada prinsipnya, kriteria umum untuk sistem antena impuls GPR harus mempertimbangkan kopling yang baik antara antena dengan tanah.

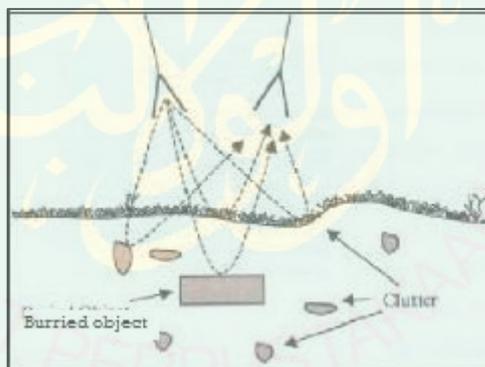
Antena GPR biasanya beroperasi dekat dengan tanah (permukaan tanah) maka harus dapat mengirimkan medan elektromagnetik melalui *interface* antena tanah secara efektif. Akan tetapi, ketika antena diletakkan dekat dengan tanah, interaksi antena tanah akan berpengaruh besar terhadap impedansi *input* antena, bergantung jenis tanah dan elevasi antenanya (Turner, 1993 dalam Ayik, 2009).

Karena properti elektrik tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, dalam survei GPR biasanya sangat sulit untuk menjaga kestabilan impedansi *input* karena jenis tanah yang benar-benar berbeda untuk setiap tempat dan kondisi cuaca yang berbeda. Ini mengakibatkan sulitnya mempertahankan kondisi *match*, antara antena dan *feed line* untuk memperkecil *mismatch loss*. Pemilihan jenis antena GPR yang dipakai didasarkan juga pada objek apa yang akan dideteksi. Apabila target objek mempunyai objek yang panjang maka sebaiknya menggunakan antena yang dengan *footprint* yang lebih panjang. *Footprint* antena adalah pengumpulan nilai tertinggi dari bentuk gelombang yang dipancarkan oleh antena pada bidang horizontal di dalam tanah atau permukaan tanah di bawah antena. Ukuran *footprint* antena menentukan resolusi cakupan melintang dari sistem GPR. Secara umum, unjuk kerja optimal GPR dimana *footprint* antena harus dapat diperbandingkan dengan penampang melintang horizontal dari target. Berdasarkan keterangan di atas, antena untuk aplikasi GPR harus memperhatikan beberapa hal yaitu (Telford dalam Ayik, 2009):

1. *Late time ringing*

Antena GPR harus mampu meminimalkan *late time ringing* yang disebabkan oleh refleksi internal terhadap benda-benda (*clutter*) di sekitar target yang

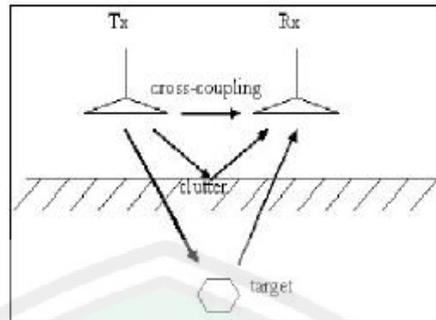
mengakibatkan efek *masking* terhadap objek yang dideteksi. *Late time ringing* merupakan osilasi yang mengikuti pulsa yang dikirimkan. Osilasi ini dapat mengaburkan sinyal yang dipantulkan oleh objek sehingga menyulitkan untuk dilakukan proses deteksi. Ada berbagai cara untuk mengurangi *late time ringing* khususnya dari penggunaan antena dipole yaitu dengan penggunaan *lumped resistor*. Hal ini sesuai dengan metode *Wu King*. Namun, penggunaan metode ini sesuai untuk antena dipole yang dibuat pada PCB (*Printed Circuit Board*). Untuk antena *wire dipole*, hal ini bisa diatasi dengan meletakkan antena tepat di atas permukaan tanah karena sifat *lossy* dielektrik tanah tersebut mampu meredam sifat *ringing* dari antena *wire dipole*, sehingga sinyal tersebut dapat dianalisis dengan akurat (Telford dalam Ayik, 2009).



Gambar 2.15 *Late Time Ringing* (Telford dalam Ayik, 2009)

2. *Cross-Coupling*

Pada konfigurasi antena yang terpisah, tentunya akan menimbulkan *crosscoupling*. *Cross-coupling* merupakan sinyal yang dikirimkan secara langsung oleh antena pengirim ke penerima (Telford dalam Ayik, 2009).



Gambar 2.16 *Cross-Coupling* (Telford dalam Ayik, 2009)

Untuk memaksimalkan pada target yang dideteksi maka antara antenna pengirim dan penerima harus dipisahkan dengan jarak berdasarkan rumus berikut ini (Telford dalam Ayik, 2009):

$$S = \frac{2d}{\sqrt{K}-1} \quad (2.13)$$

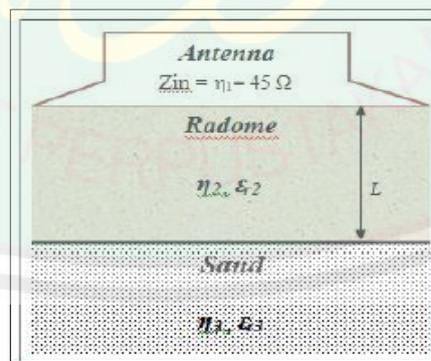
Keterangan :

S = Jarak antar antenna pemancar dengan penerima (m)

K = Konstanta propagasi (ϵ_r)

d = Kedalaman penetrasi antenna (m)

3. Jarak Antena dengan Tanah



Gambar 2.17 Jarak Antena dengan Tanah (Telford dalam Ayik, 2009)

$$\eta_{Udara} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \Omega \quad (2.14)$$

$$\eta_m = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \epsilon_r}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \Omega \quad (2.15)$$

$$\eta_2 = \sqrt{\eta_1 \eta_3} \quad (2.16)$$

Keterangan :

η_{udara} = Impedansi karakteristik di udara (Ω)

η_m = Impedansi karakteristik pada medium dengan nilai ϵ_r tertentu (Ω)

η_1 = Impedansi karakteristik medium 1 (Antena) (Ω)

η_2 = Impedansi karakteristik medium 2 (*Radome*) (Ω)

η_3 = Impedansi karakteristik medium 3 (Tanah) (Ω)

μ_r = Permeabilitas bahan (H/m)

ϵ_r = Permittivitas bahan (F/m)

L = Jarak antara dua medium yang terpisahkan oleh *radome* (m)

Tabel 2.5 Data Jarak Antena dengan Tanah dengan Variasi Permittivitas (*Sumber: Telford dalam Ayik, 2009*)

Permittivitas Jenis Tanah (ϵ_{r1})	Radom yang Diperlukan (ϵ_{r2})	Jarak Antena-Tanah (cm)		
		f = 200 MHz	f = 600 MHz	f = 1 GHz
4	16,7	18,35	6,1	0,61
9	25,1	14,97	4,99	0,99
16	33,5	12,95	4,32	0,86
25	41,87	11,69	3,86	0,77
30	45,88	11,07	3,69	0,74

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini akan dilaksanakan pada tanggal 22-23 Mei 2017. Lokasi penelitian adalah di daerah yang terdapat singkapan batubara tepatnya Dusun Klatak Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur. Pengolahan data penelitian bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian dan garis lintasan (*Google Earth*)

3.2 Data Penelitian

Data yang diambil pada penelitian ini meliputi:

1. Koordinat lintang dan bujur
2. Waktu pengambilan data (jam, hari dan tanggal)

3. Ketinggian titik ukur
4. Data GPR (*Ground Penetrating Radar*) yaitu *Scan 2D*
5. Data GPR (*Ground Penetrating Radar*) yaitu *Scan 3D*

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPR (*Ground Penetrating Radar*) *Future Series 2005* dengan memanfaatkan sifat elektromagnetik berupa *travel time* dari gelombang radio yang memiliki rentang frekuensi 25-1000 MHz. Alat GPR (*Ground Penetrating Radar*) *Future Series 2005* ini terdiri dari unit-unit pokok yaitu:

1. Gagang sensor
2. *Power supply unit*
3. *Control unit*
4. Kabel penghubung
5. Sensor
6. Meteran
7. *Notebook PC*
8. *Bluetooth*
9. Perangkat lunak

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini terdiri dari 3 tahap yaitu tahap pra akuisisi data, tahap akuisisi data dan tahap pasca akuisisi data.

a. Tahap pra akuisisi data

Tahap pra akuisisi data terdiri dari studi pustaka, informasi litologi dan studi lapangan. Studi pustaka adalah mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan bahasan mengenai karakteristik batuan menggunakan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*). Tahap informasi bertujuan untuk mengetahui kondisi litologi batuan di daerah penelitian yang mempengaruhi tingkat kerentanan bawah permukaan.

b. Tahap akuisisi data

Tahap akuisisi data terdiri dari tahap pengambilan data yang dilakukan di daerah penelitian yaitu di Dusun Klatak Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur menggunakan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*). Pada tahap pengambilan data akan dilakukan *scan* karakteristik batuan dengan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) *future 2005* di daerah yang terdapat singkapan batubara dengan beberapa lintasan. Teknik pengambilan atau akuisisi data terdiri dari beberapa langkah yaitu:

1. Menentukan lintasan, jumlah lintasan yang akan dilakukan pengambilan data.
2. Menyusun alat *Ground Penetrating Radar* (GPR) sesuai prosedur.
3. Menghidupkan *power supply*.
4. Menentukan impuls pada *Ground Penetrating Radar* (GPR).
5. Menghubungkan alat *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan *notebook PC* menggunakan *bluetooth*.
6. Menekan tombol *ready* pada *Ground Penetrating Radar* (GPR).

7. Melakukan pengambilan data dengan cara menjalankan sensor *Ground Penetrating Radar* (GPR) di atas permukaan tanah.
8. Mengulangi langkah-langkah di atas pada lintasan selanjutnya.

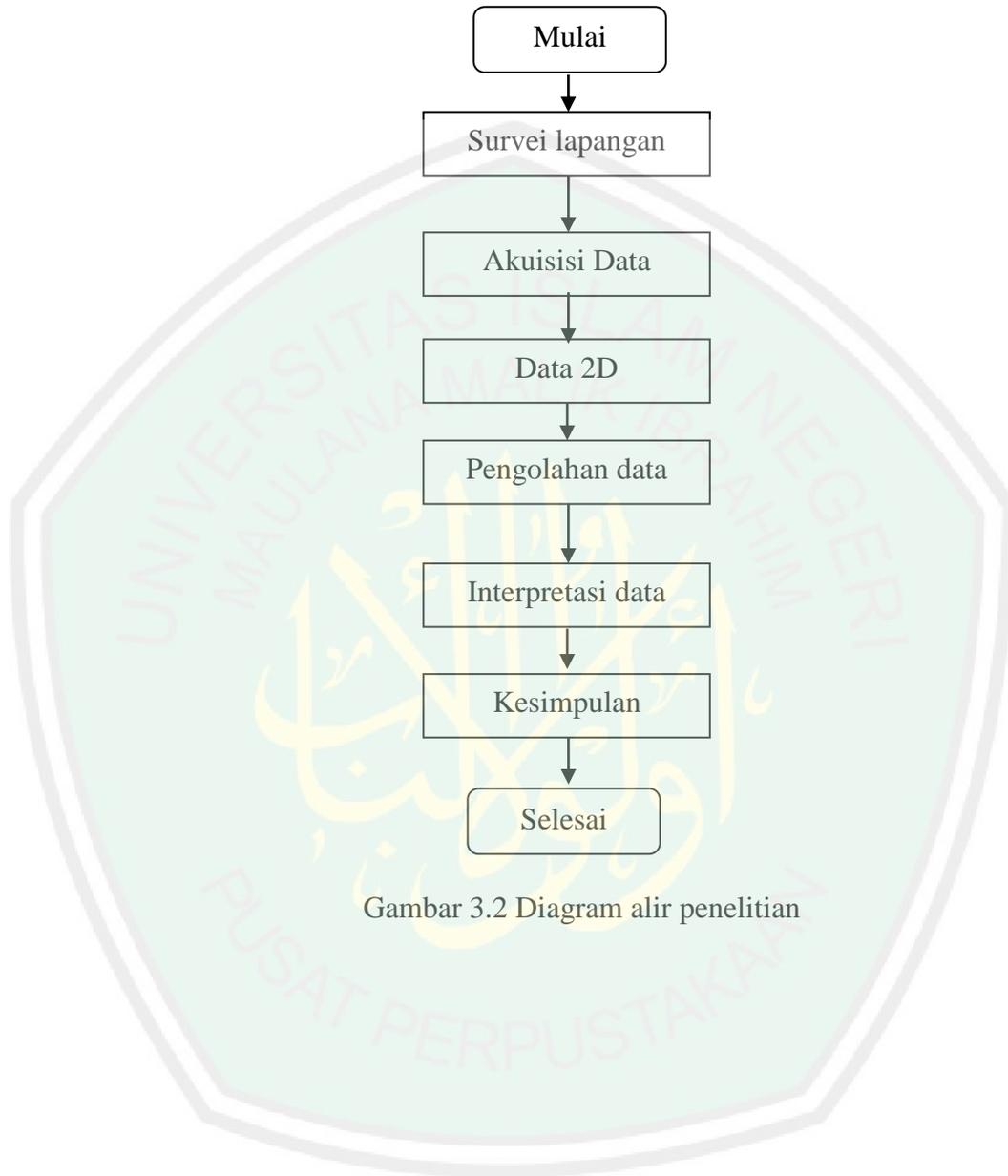
Data yang telah diperoleh dari akuisisi selanjutnya akan masuk pada proses pengolahan data. Pengolahan data dilakukan dengan *software visualizer 3D* yang merupakan satu paket dengan *Ground Penetrating Radar* (GPR) *Future Series* 2005 yang akan menampilkan hasil pengambilan data secara langsung. Data yang ditampilkan berupa data 3 dimensi dan akan memberikan informasi lapisan secara horisontal. Rangkaian alat *Ground Penetrating Radar* (GPR) *Future Series* 2005 dikoneksikan dengan memanfaatkan teknologi *bluetooth*.

Teknik analisis data dilakukan dengan cara menentukan sebaran batubara berdasarkan singkapan yang tampak di permukaan sungai yang tercantum pada *output software visualizer 3D* yang kemudian dilanjutkan dengan menentukan kedalaman dari sebaran batubara.

c. Tahap Pasca Akuisisi Data

Tahap ini terdiri dari tahap analisis atau interpretasi data penelitian yang diperoleh dari tahap penelitian. Data penelitian ini berupa data *scan 2D* yang akan diolah dengan *software Visualizer 3D* sehingga dapat diinterpretasikan berdasarkan spektrum gelombang elektromagnetik yang menggambarkan sebaran batubara di daerah penelitian berdasarkan respon berupa pantulan terhadap gelombang elektromagnetik.

3.5 Diagram Penelitian



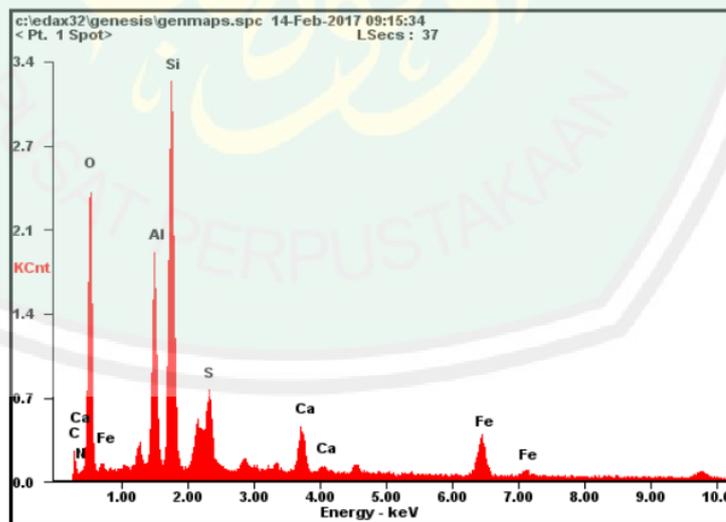
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

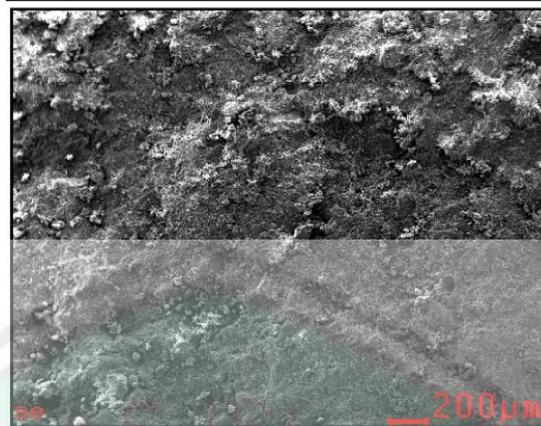
4.1 Hasil Uji Laboratorium Batubara dengan Metode SEM-EDX

Pengujian batubara menggunakan metode SEM-EDX ini bertujuan untuk menganalisis material berukuran nanometer dengan melakukan pengamatan dan pengkajian morfologi material padatan. Bahan dari pengujian SEM-EDX ini menggunakan batubara yang diambil dari lokasi penelitian. Uji kandungan batubara ini dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Negeri Malang. Pengujian batubara dilakukan dengan mengambil 3 titik pengamatan dan pada titik tersebut akan dilihat morfologi serta unsur penyusunnya.

Berdasarkan hasil uji lab diketahui bahwa unsur-unsur penyusun dari batubara yaitu karbon (C), oksigen (O), aluminium (Al), silikon (Si), sulfur (S), kalsium (Ca) dan besi (Fe).

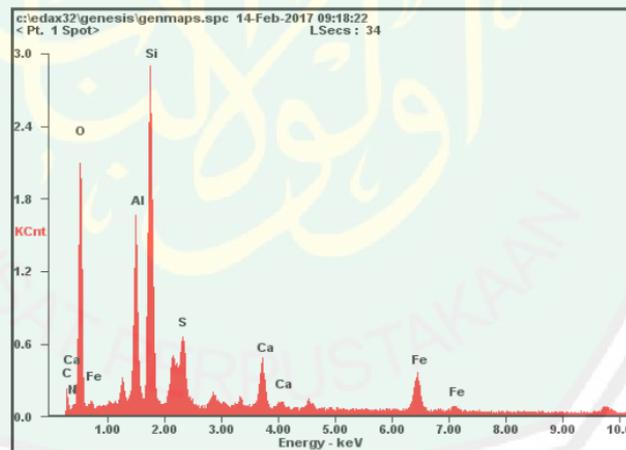


Gambar 4.1 Grafik Unsur pada Batubara Titik Pertama

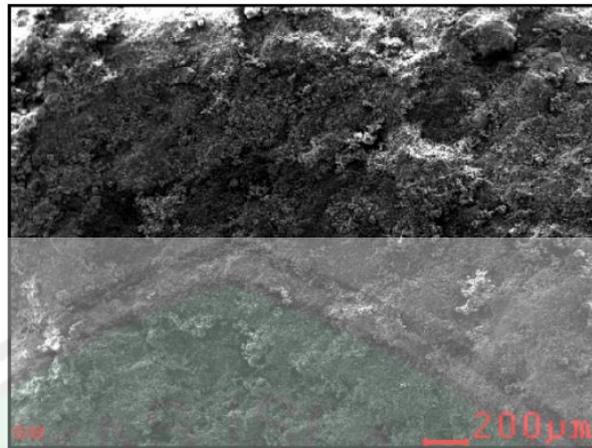


Gambar 4.2 Morfologi Batubara pada Uji SEM-EDX Titik Pertama

Pengamatan di titik pertama terlihat unsur silikon (Si) sebagai unsur tertinggi yang ada di batubara dengan persentase sebesar 29,62 %. Selain itu terdapat pula oksigen (22,22 %), aluminium (17,59 %), kalsium (11,58 %), besi (8,33 %), sulfur (7,41 %) dan karbon (5 %).

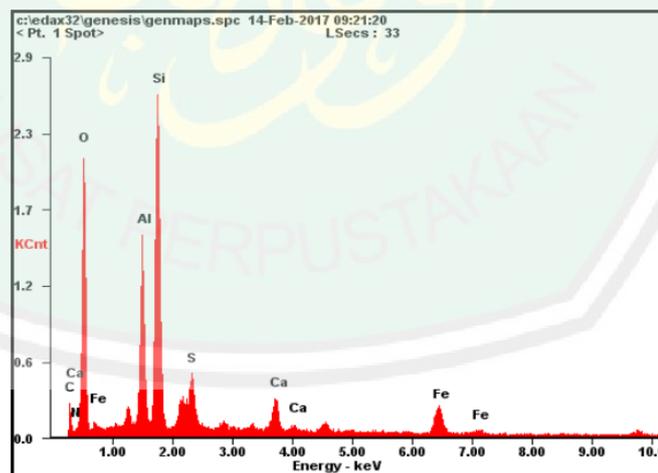


Gambar 4.3 Grafik Unsur pada Batubara Titik Kedua

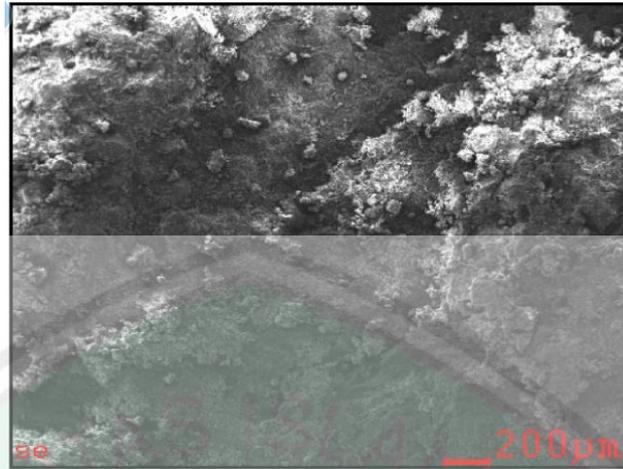


Gambar 4.4 Morfologi Batubara pada Uji SEM-EDX Titik Kedua

Hasil pengujian di titik kedua menunjukkan bahwa pada batubara terdapat silikon (29,78 %), oksigen (22,34 %), aluminium (18,08 %), kalsium (10,64 %), besi (7,44 %), sulfur (7,44 %) dan karbon (4,25 %).. Hampir sama dengan uji di titik pertama, dimana oksigen dan silikon merupakan penyusun utama dari batubara tersebut.



Gambar 4.5 Grafik Unsur pada Batubara Titik Ketiga



Gambar 4.6 Morfologi Batubara pada Uji SEM-EDX Titik Ketiga

Pada uji lab batubara di titik ketiga terdapat silikon (29,76 %), oksigen (25 %), aluminium (17,85 %), kalsium (9,5 %), besi (7,14 %), sulfur (5,95 %) dan karbon (4,76 %).

Berdasarkan hasil uji SEM-EDX menunjukkan bahwa kandungan silikon dan oksigen pada batubara tersebut cukup banyak. Hal tersebut terjadi karena terdapat pengotor berupa pasir pada sampel batubara yang diuji. Sedangkan kandungan karbon (C) yang biasanya menjadi unsur penyusun terbesar dari batubara pada uji lab SEM-EDX ini nilainya sedikit yaitu kurang dari 10%.

4.2 Data Hasil Pengamatan

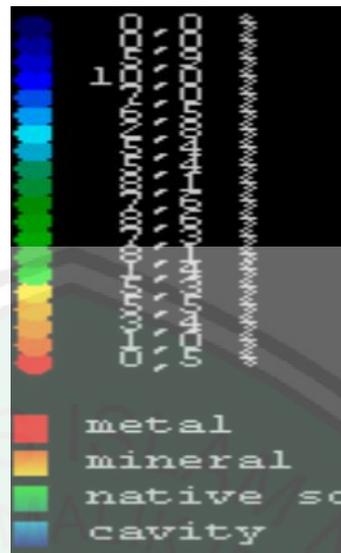
Penelitian ini menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) untuk mengetahui potensi sebaran batubara serta pemodelan struktur geologi di Dusun Klatak Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung. Data hasil akuisisi kemudian diolah menggunakan *software visualizer 3D*. *Software* akan langsung menampilkan gambar lapisan tanah dari hasil *scan* yang ditampilkan berdasarkan pola warna. *Software visualizer 3D* merupakan aplikasi satu paket

dengan alat *Ground Penetrating Radar future series 2005*, dimana alat tersebut dapat dihubungkan dengan laptop menggunakan perantara *bluetooth*.

Pengambilan data pada penelitian ini menggunakan suatu wilayah dengan melakukan pengambilan data sebanyak 9 lintasan. Area wilayah penelitian merupakan daerah aliran sungai dan pada tepi sungai tersebut terdapat singkapan batubara. Oleh karena itu dilakukan pengambilan data dengan lintasan-lintasan yang dimulai tepat dari tepi sungai. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar didapatkan informasi tentang kemenerusan batubara dari tepi sungai tersebut. Selain itu lintasan yang diambil pada penelitian ini merupakan perpotongan dari beberapa lintasan.

Data hasil pengolahan yang telah diperoleh selanjutnya akan dibahas pada bab ini. Analisis data dari metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* dilakukan untuk menentukan lapisan batubara dan pemetaan sebarannya. Data yang diperoleh berupa gambaran lapisan tanah dengan perbedaan warna di setiap lapisannya. Data tersebut diperoleh berdasarkan perbedaan konstanta dielektrik dan konduktivitas dari tiap lapisan.

GPR Future Series 2005 pada antena terdiri dari beberapa *receiver* dan satu *transmitter* yang berada di tengah-tengah antena sehingga outputnya berupa kontur yang menggambarkan penampang horisontal dari zona penelitian. Sedangkan pada GPR konvensional terdiri dari satu transmitter dan satu receiver dan outputnya yaitu penampang vertikal yang berupa satu gelombang untuk setiap pengukuran (Syaeful, 2009).



Gambar 4.7 Struktur dan jenis objek digolongkan berdasarkan variasi warna pada *output GPR Future Series 2005*

Warna biru pada gambar di atas menunjukkan adanya daerah rongga (*cavity area*). Sedangkan warna hijau yang gelap menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah basah. Warna kuning menunjukkan daerah yang kering sedangkan warna kuning kemerah-merahan menunjukkan bahwa di daerah tersebut terdapat mineral. Warna merah jika membentuk pola tertentu maka di daerah tersebut terdapat adanya logam. Variasi warna pada *output GPR* ditentukan berdasarkan nilai konduktivitas material yang dilalui oleh gelombang.

Pada legenda *GPR Future Series 2005* dari atas ke bawah (biru menuju merah) menunjukkan bahwa konduktivitasnya semakin besar dan resistivitasnya semakin kecil. Sedangkan dari bawah ke atas (merah menuju biru) konduktivitasnya semakin kecil (Bahri, 2009).

Warna biru yang merupakan area rongga memiliki konduktivitas rendah. Sedangkan warna hijau yang berada di atas warna biru memiliki konduktivitas yang

lebih tinggi daripada konduktivitas warna biru. Warna merah yang menunjukkan adanya metal memiliki konduktivitas paling tinggi.

Penentuan objek dan struktur bergantung pada beberapa faktor. Faktor penentu dari metode GPR adalah konstanta dielektrik tanah dan dimensi suatu objek yang berkaitan dengan kedalamannya. Khususnya tanah yang sangat basah, tanah liat dan pasir dengan konduktivitas tanah yang tinggi (OKM Ortungstechnik, 2008).

Dalam perambatannya, amplitudo sinyal akan mengalami pelemahan karena adanya energi yang hilang, sebagai akibat terjadinya refleksi atau transmisi di tiap batas medium dan terjadi setiap kali gelombang radar melewati batas antarmedium. Faktor kehilangan energi disebabkan oleh perubahan energi elektromagnetik menjadi panas. Penyebab utama hilangnya energi karena atenuasi fungsi kompleks dari sifat listrik dan dielektrik medium yang dilalui sinyal radar. Atenuasi (α) tergantung dari konduktivitas (σ), dan dielektrik (ϵ) dari media yang dilalui oleh sinyal dan frekuensi dari sinyal itu.

Konduktivitas merupakan parameter yang menyatakan kemampuan suatu material untuk meneruskan atau mengemisikan energi gelombang. Hubungan antara nilai konduktivitas dengan konstanta dielektrik seperti pada persamaan 4.1 dimana konduktivitas berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Semakin besar konduktivitas suatu material maka konstanta dielektriknya semakin kecil.

Pada medium yang konduktif terdapat perhitungan lebih lanjut. Dapat ditulis dalam persamaan (Milsom, 2003):

$$\tan \alpha = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (4.1)$$

Dimana:

α = atenuasi gelombang

ε = konstanta dielektrik

σ = konduktivitas material

$\omega = 2\pi f$

Ketika gelombang ditransmisikan dan mengenai suatu objek material yang memiliki konduktivitas tinggi, maka amplitudo yang terekam di *receiver* akan sangat kecil karena gelombang yang ditransmisikan diserap oleh material yang memiliki konduktivitas tinggi. Hilangnya energi gelombang merupakan akibat dari adanya sinyal transmisi atau refleksi yang hilang pada bidang batas antar lapisan dan terjadi setiap gelombang radio melewati bidang batas lapisan (Reynolds, 1997).

Jika frekuensi yang digunakan sangat tinggi maka tidak dapat menembus kedalaman yang lebih jauh, hal ini disebabkan karena energi elektromagnetik yang tinggi tersebut lebih cepat hilang menjadi panas dan menyebabkan kerugian pada kekuatan sinyal di kedalaman. Namun demikian memberikan resolusi yang lebih baik. Selain itu, semakin konduktif objek yang menjadi sasaran, maka akan semakin jelas sinyal yang ditangkap. Material yang berkonduktivitas sangat baik akan memberikan pola yang jelas pada citra yang dihasilkan pada data GPR. Keakuratan data GPR akan berkurang pada lapisan berkonduktivitas tinggi, seperti lapisan lempung.

4.3 Pengukuran Koordinat Posisi

Terdapat 5 lintasan dan 4 lintasan tambahan yang diambil pada penelitian ini. Dimana pada keseluruhan lintasan terdapat perpotongan antara lintasan satu dengan lintasan lain. Masing-masing lintasan memiliki panjang lintasan yang berbeda. Berikut adalah penjelasan koordinat posisi dari masing-masing lintasan.



Gambar 4.8 Lintasan Pengambilan Data

1. Lintasan 1 memiliki panjang lintasan 70 meter yang membentang dari utara ke selatan. Lintasan 1 dimulai pada koordinat $8^{\circ}15.986'$ LS $111^{\circ}45.433'$ BT sampai $8^{\circ}16.021'$ LS $111^{\circ}45.422'$ BT.
2. Lintasan 2 memiliki panjang lintasan 100 m, sejajar dengan lintasan 1 yang membentang dari utara ke selatan. Pengambilan data pada lintasan 2 dimulai dari koordinat $8^{\circ}15.971'$ LS $111^{\circ}45.428'$ BT sampai $8^{\circ}16.022'$ LS $111^{\circ}45.419'$ BT.
3. Lintasan 3 memiliki panjang 50 meter yang membentang dari utara ke selatan. Lintasan 3 dimulai dari koordinat $8^{\circ}15.992'$ LS $111^{\circ}45.446'$ BT sampai $8^{\circ}16.014'$ LS $111^{\circ}45.448'$ BT.
4. Lintasan 4 merupakan perpotongan dari lintasan 1, lintasan 2 dan lintasan 3. Panjang lintasan 4 ini adalah 50 meter. Jarak tersebut diambil dari 25 meter antara lintasan 1 dengan lintasan 2 dan 25 meter dari jarak lintasan 1 dengan lintasan 3. Pengambilan data pada lintasan ini dimulai dari barat ke timur yaitu

dari koordinat $8^{\circ}16.000$ LS $111^{\circ}45.422'$ BT sampai $8^{\circ}15.996'$ LS $111^{\circ}45.449$ BT.

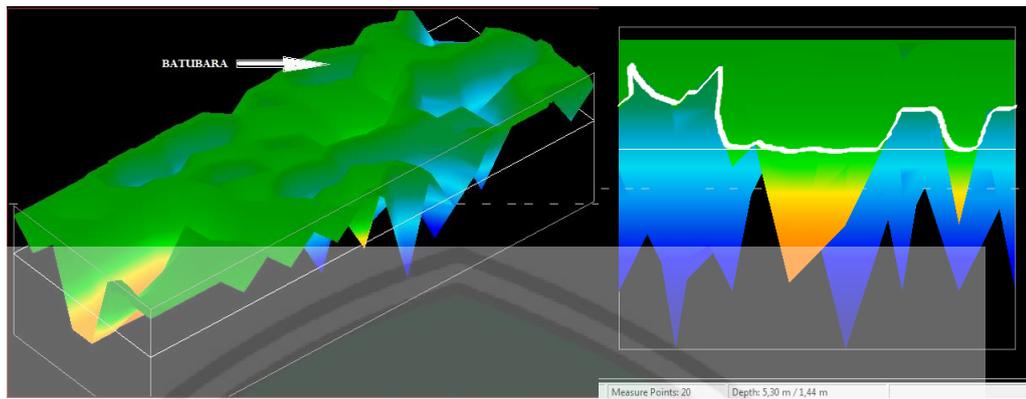
5. Lintasan 5 memiliki panjang 100 meter yang merupakan lanjutan lintasan dari lintasan 4. Lintasan ini membentang dari barat ke timur tepatnya di sebelah barat dari lintasan 4. Lintasan ini dimulai dari koordinat $8^{\circ}15.977'$ LS $111^{\circ}45.368$ BT sampai $8^{\circ}15.999'$ LS $111^{\circ}45.419'$ BT.

4.4 Interpretasi Data Hasil Penelitian

Sebelum dilakukan pengambilan data pada masing-masing lintasan, dilakukan pengambilan data sampel tepat di atas singkapan batubara di tepi sungai. Hasil dari pengambilan data pada sampel ini selanjutnya akan membantu dalam analisis data pada lintasan-lintasan berikutnya.



Gambar 4.9 Data Hasil Penelitian pada *Google Earth*

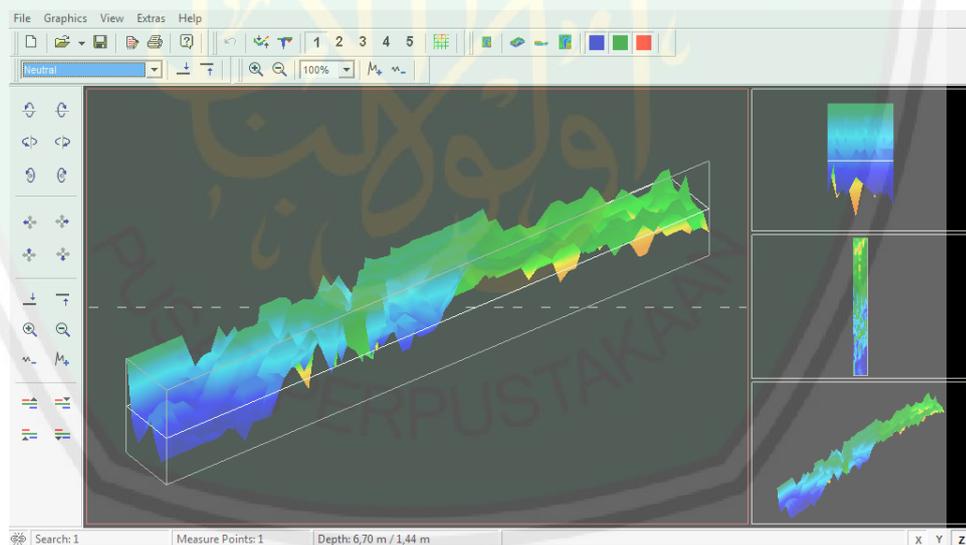


Gambar 4.10 Penampang 3D dan melintang sampel data

Sumbu horizontal adalah sampling impuls yang dipancarkan. Sumbu vertikal adalah jarak kedalaman atau waktu tempuh sinyal impuls dari pemancar ke penerima. GPR memiliki keterbatasan kemampuan operasi hanya sampai beberapa meter di bawah permukaan. Semakin konduktif objek yang dikenai gelombang, maka akan semakin jelas sinyal yang ditangkap. Batubara merupakan konduktor lemah sehingga nilai konduktivitasnya kecil. Pada ragaogram batubara digambarkan dengan pola warna hijau yang memiliki nilai amplitudo rendah dan konduktivitas rendah.

Hasil penelitian menunjukkan proses pemantulan akan terjadi ketika gelombang elektromagnetik yang melewati medium mengenai objek (material) yang bersifat konduktif yang berada di bawah permukaan. Geometri dan kontras dari setiap objek dan media menentukan karakteristik dan besarnya sinyal pantul. Perambatan gelombang yang menemui berbagai macam kondisi dan deretan sifat elektrik dari berbagai macam medium mengakibatkan besarnya amplitudo sinyal pantul menjadi sangat variatif. Hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan sifat-sifat fisik medium dan objek tersebut.

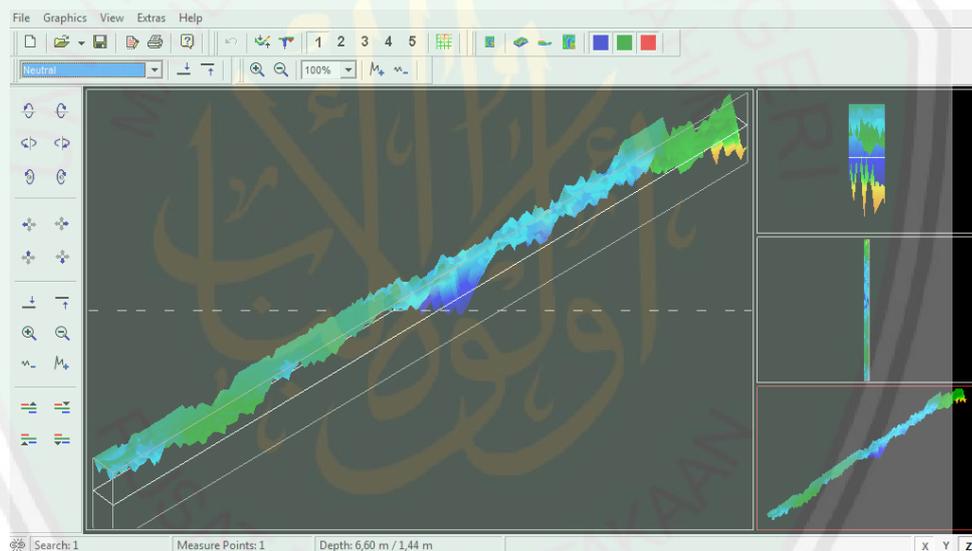
Dari hasil *scan* sampel pada gambar di atas tampak warna hijau yang mendominasi lapisan bagian atas. Pada GPR *Future series 2005* warna hijau menunjukkan bahwa lapisan tersebut adalah daerah basah. Sesuai dengan asal usulnya bahwa batubara merupakan sedimen batuan yang salah satunya tempat terbentuknya adalah di daerah rawa, dimana daerah tersebut merupakan daerah basah. Rata-rata kedalaman dari lapisan batubara pada data sampel tersebut adalah 6,5 meter. Kontras warna pada data tersebut menunjukkan adanya perbedaan nilai amplitudo respon dari tiap lapisan yang juga dapat diartikan adanya perubahan jenis lapisan batuan. Di bawah lapisan batubara, pada data sampel terdapat warna biru dan kuning. Warna biru menunjukkan bahwa daerah tersebut adalah daerah rongga dan warna kuning menunjukkan adanya mineral.



Gambar 4.11 Penampang 3D lintasan 1

Lintasan 1 yang diambil pada penelitian ini memiliki panjang 70 m. Titik awal dari lintasan 1 ini adalah tepat di tepi sungai. Pengambilan data pada lintasan 1 ini dilakukan dari utara ke selatan. Pada lintasan 1 menunjukkan ada

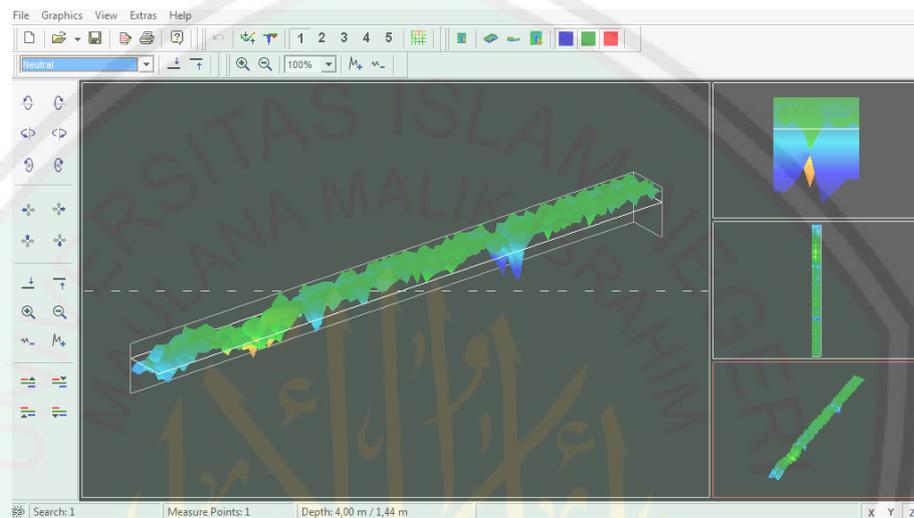
kemenerusan pola lapisan warna hijau dari awal hingga akhir lintasan. Hal itu menunjukkan adanya lapisan batubara pada daerah tersebut dan lapisan batubara sebagian besar terdapat di lapisan atas. Jika diperhatikan secara vertikal maka lapisan batubara tersebut mempunyai kedalaman yang relatif sama yaitu mencapai 6 m. Pada lapisan atas di antara warna hijau, juga terdapat warna biru yang menunjukkan daerah kosong. Pada lintasan 1 ini juga terdapat warna kuning kemerahan yang terdapat di bagian bawah pola warna hijau. Sehingga dapat diartikan pada lintasan 1 ini juga terdapat batuan mineral.



Gambar 4.12 Penampang 3D lintasan 2

Pada lintasan 2 menunjukkan adanya pola warna hijau yaitu batubara di awal lintasan. Panjang dari lintasan 2 ini adalah 100 m. Selanjutnya terdapat pola warna biru yang menunjukkan adanya rongga pada daerah tersebut. Pola warna hijau pada lintasan ini tampak pada lapisan bagian tengah, dimana di bagian atas tertutup oleh pola warna biru. Pada bagian ini tidak terlihat adanya batubara yang membentuk pola menerus dan hanya terdapat pada beberapa bagian saja. Selain menunjukkan

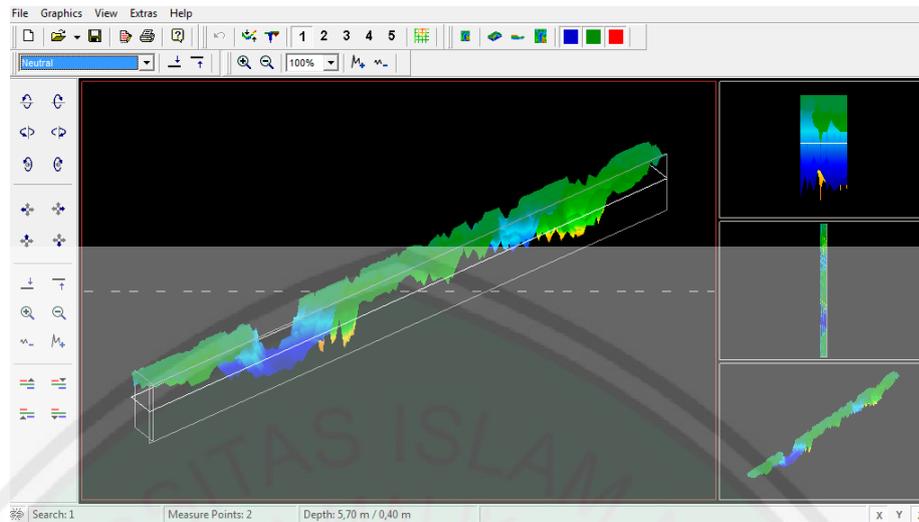
adanya rongga, warna biru pada lintasan ini dapat terjadi kemungkinan karena adanya kesalahan dalam melakukan pengambilan data. Mengingat medan pengambilan data yang tidak berupa dataran sehingga waktu *scan* data terjadi lebih lama Akibatnya data yang diperoleh membentuk pola warna biru tua yang menerus.



Gambar 4.13 Penampang 3D lintasan 3

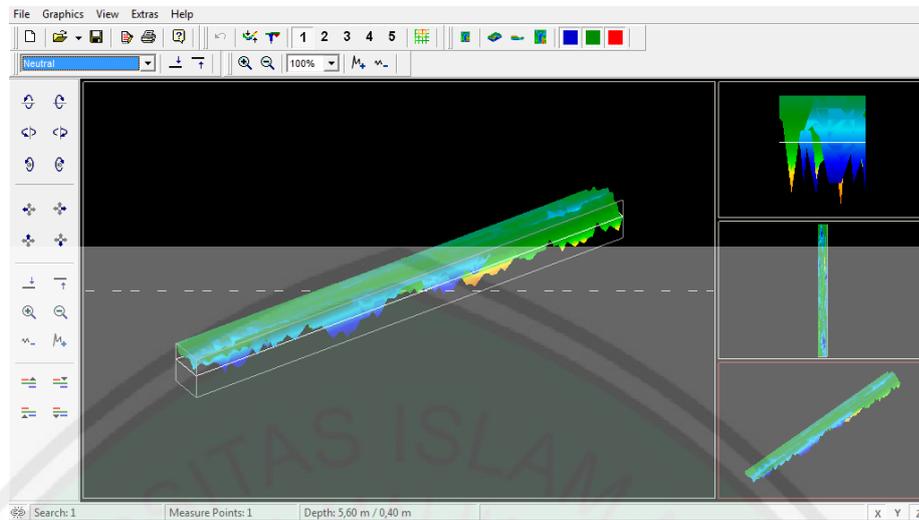
Lintasan 3 memiliki panjang lintasan sebesar 50 m. Pada awal lintasan 3 membentuk pola warna hijau. Di tengah lintasan pola hijau tipis mendominasi lapisan dan di bagian bawahnya terdapat pola warna biru. Pada lapisan ini tidak semuanya terdiri lapisan batubara, karena pada bagian tengah terdapat daerah rongga. Pada akhir lintasan tampak adanya lapisan batubara yang cukup dalam dan terdapat pula daerah rongga yang ditunjukkan warna biru. Kedalaman dari lapisan batubara yang terukur pada lintasan 3 yaitu mencapai 5,7 meter.

Perbedaan panjang lintasan dari lintasan 1 hingga lintasan 3 dikarenakan adanya sungai yang cukup curam pada ujung lintasan, sehingga pengambilan data hanya bisa dilakukan sepanjang lintasan itu.



Gambar 4.14 Penampang 3D lintasan 4

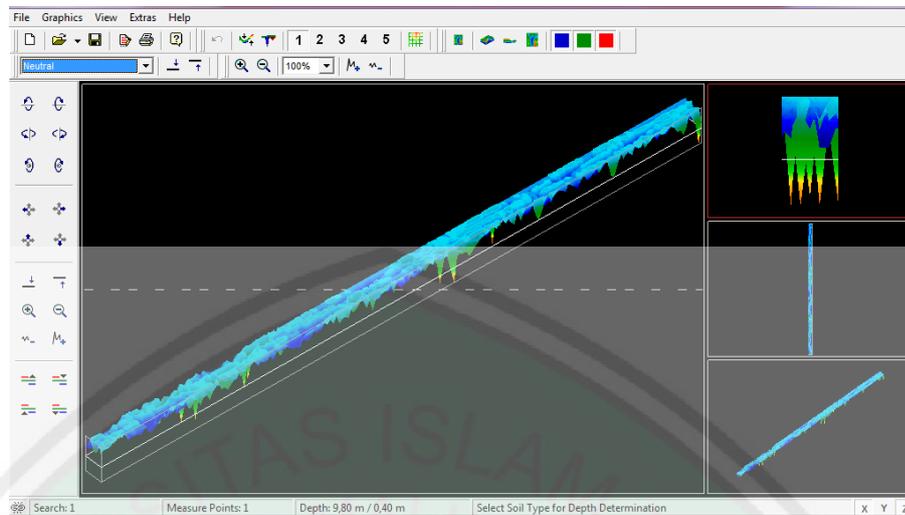
Lintasan 4 merupakan perpotongan dari lintasan 1, lintasan 2 dan lintasan 3 yang membentang dari barat ke timur. Panjang dari lintasan 4 adalah 50 m, yaitu 25 m dari lintasan 1 ke lintasan 2 dan 25 m dari lintasan 2 ke lintasan 3. Data dari lintasan 4 menunjukkan adanya lapisan batubara yang cukup tebal, terutama pada bagian tengah lapisan batubaranya. Ketebalan dari lapisan batubara yang tampak pada lintasan ini yaitu 5 meter. Di bawah lapisan batubara yang tipis tersebut terdapat adanya pola warna biru yang artinya terdapat rongga di daerah tersebut. Pada lintasan ini di bawahnya pola warna hijau terdapat adanya pola warna kuning kemerah-merahan yang menunjukkan lapisan tersebut mengandung mineral. Di akhir lintasan pola warna hijau membentuk lapisan tipis dan didominasi oleh daerah berongga.



Gambar 4.15 Penampang 3D lintasan 5

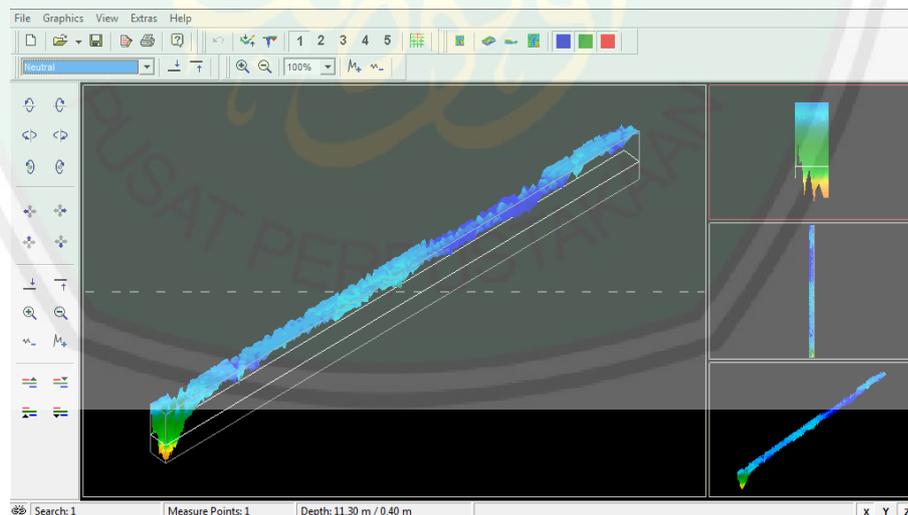
Lintasan 5 yang merupakan lanjutan dari lintasan 4 memiliki panjang lintasan 100 meter. Lintasan 5 ini berada di sebelah barat dari lintasan 4. Pengambilan data pada lintasan ini dimulai dari tepi sungai yang membentang dari barat ke timur. Hasil pengambilan data pada lintasan 5 didominasi oleh pola warna hijau yang mengindikasikan adanya lapisan batubara. Kedalaman dari pola warna hijau ini adalah 5,6 meter. Selain itu di lintasan 5 juga tampak adanya pola warna biru dan kuning kemerahan yang terletak di bawah lapisan batubara.

Selain 5 lintasan di atas diambil pula lintasan lain yang terlihat adanya singkapan batubara. Terdapat 4 lintasan tambahan yang di-*scan* dan 4 lintasan tersebut berada di tepi sungai yang juga terlihat singkapan batubara.



Gambar 4.16 Lintasan 6 pada *visualizer* 3D

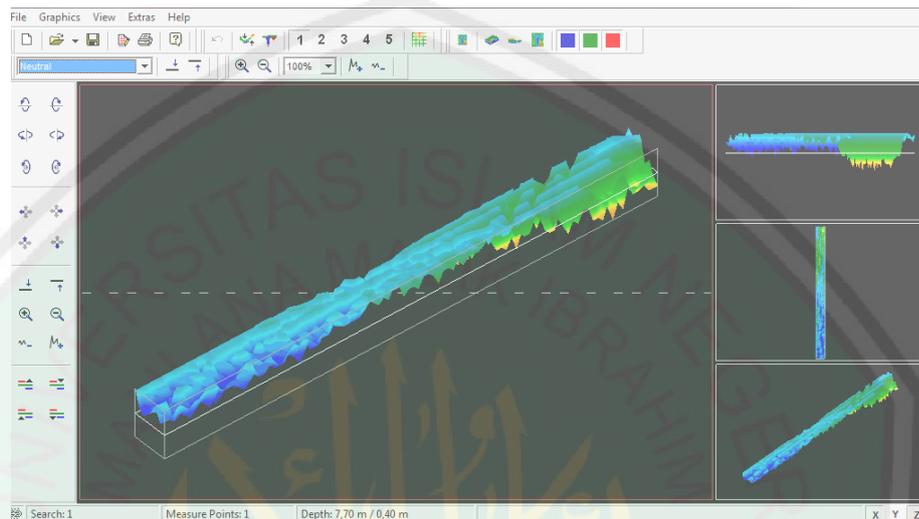
Terdapat adanya lapisan batubara di lintasan 6 dengan ketebalan sekitar 5 meter. Warna biru pada lapisan atas merupakan daerah kosong, karena lintasan ini berada di atas sungai. Sehingga saat melakukan pengambilan data, ada jarak antara *probe* dari GPR dengan lapisan tanah.



Gambar 4.17 Lintasan 7 pada *visualizer* 3D

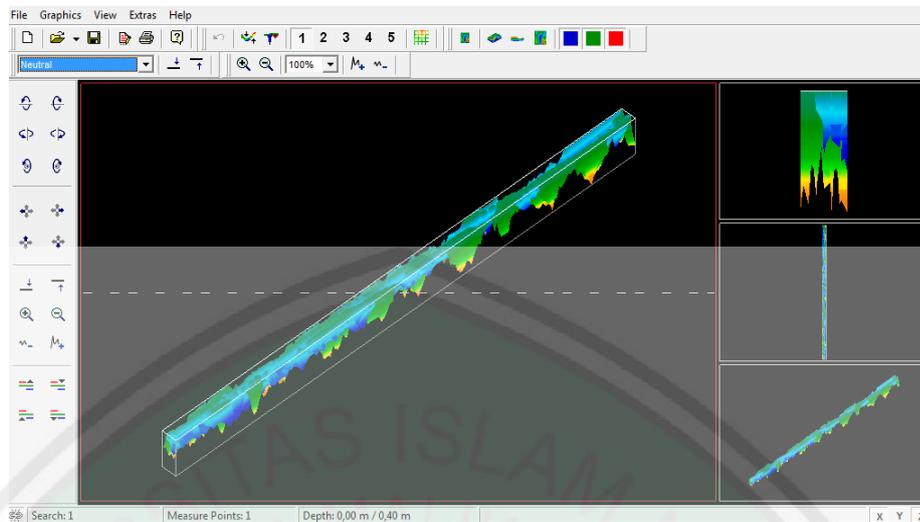
Lintasan 7 diambil dari tepi sungai yang berada di samping lintasan 6. Hasil pengambilan data yang ditunjukkan pada gambar 4.17 tampak adanya lapisan

batubara pada awal lintasan. Ketebalan dari lapisan batubara pada lintasan tersebut mencapai 8,5 m. Namun pada akhir lintasan yang terlihat adalah pola warna biru, menunjukkan adanya daerah rongga.



Gambar 4.18 Lintasan 8 pada *visualizer* 3D

Lintasan 8 merupakan perpotongan dari lintasan 6 dan 7 serta lanjutan dari lintasan 4. Terlihat hanya sedikit batubara dan didominasi oleh pola warna biru yang menunjukkan bahwa terdapat daerah rongga. Ketebalan dari lapisan batubara pada lintasan ini yaitu 6,8 meter.



Gambar 4.19 Lintasan 9 pada visualizer 3D

Lintasan 9 merupakan daerah sungai yang berada di bawah dan merupakan lanjutan dari sungai yang telah diambil data sebelumnya. Secara morfologi di lintasan ini terdapat adanya singkapan batubara dan warna batubaranya cenderung hijau. Berbeda dengan batubara pada sungai bagian atas yang warnanya hitam. Hasil pengambilan data menunjukkan adanya pola warna hijau yang mendominasi dari lintasan ini, artinya terdapat lapisan batubara yang ada di lintasan ini. Ketebalan dari lapisan batubara pada lintasan ini yaitu 7 meter.

Dari keseluruhan data didapatkan informasi bahwa pada lapisan batubara ditemukan di seluruh lintasan. Pola lapisan batubara pada lapisan tersebut adalah menyebar, karena pada beberapa lintasan pola lapisan batubara tidak membentuk kemenerusan. Lapisan batubara sebagian besar terletak di bagian atas dan ketebalan dari lapisan tersebut adalah relatif sama yaitu 6 m. Pada lapisan atas selain adanya lapisan batubara juga terlihat ada daerah rongga (*cavity area*).

Di bawah lapisan batubara terlihat adanya pola warna kuning kemerah-merahan yang menunjukkan bahwa di daerah tersebut terdapat kandungan mineral. Lapisan yang mengandung mineral biasanya terdiri dari material pasir kering.

Dari hasil penelitian pola warna merah yang terlihat sangat sedikit. Warna merah menunjukkan adanya metal. Survei menggunakan GPR hanya dapat dilakukan untuk survei dangkal. Karena metal biasanya terdapat di lapisan dalam maka material metal tidak ditemukan pada hasil penelitian.

4.5 Integrasi Al-Quran

Al-Quran merupakan kitab sempurna yang memberikan petunjuk dan membimbing kita dalam menuntut ilmu. Dalam al-Quran yang telah diturunkan sejak abad ke-14 juga menjelaskan tentang fakta ilmiah yang banyak ditemukan di abad ini. Salah satu bab yang dibahas dalam al-Quran adalah tentang bumi.

هُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ ذُلُولًا فَامشُوا فِي مَنَاكِبِهَا وَكُلُوا مِن رِّزْقِهِ وَإِلَيْهِ النُّشُورُ ﴿١٥﴾

“Dialah Yang menjadikan bumi itu mudah bagi kamu, maka berjalanlah di segala penjurunya dan makanlah sebahagian dari rezki-Nya. Dan hanya kepada-Nya-lah kamu (kembali setelah) dibangkitkan.” (Q.S al-Mulk ayat 15)

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT telah memudahkan kita untuk tinggal di bumi ini. Selain itu Allah SWT menciptakan bumi ini dengan sedemikian rupa agar dapat dijelajahi seluruh penjurunya dengan mudah. Bumi menyimpan banyak manfaat untuk kelangsungan hidup seluruh makhluk. Rezeki Allah SWT sebagian juga berada di bumi ini. Siapapun yang ingin memperoleh rezeki dari-Nya maka ia dapat mendapatkannya dengan mengolah dan menjaga bumi ini agar dapat bermanfaat bagi kita. Dengan menjaga bumi ini artinya kita juga telah menjaga rezeki dari Allah karena sebagian rezeki-Nya tersimpan di bumi ini. Sungguh Allah

Yang Maha Baik telah memudahkan hidup seluruh ciptaan-Nya. Maka sepantasnya kita sangat bersyukur atas karunia ini, karena esok kita akan kembali kepada-Nya.

Dalam surat Ar-Rahman ayat 33 Allah berfirman:

يَا مَعْشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنسِ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَانٍ ﴿٣٣﴾

“Hai jama`ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka tembuslah, kamu tidak dapat menembusnya melainkan dengan kekuatan”. (Q.S Ar-Rahman ayat 33)

Bumi yang kita tempati sekarang ini merupakan salah objek yang dapat kita pelajari, termasuk mempelajari tentang apa isi yang tersembunyi di dalam lapisannya. Pada ayat di atas dijelaskan pula bahwa apabila kita ingin menembus langit atau bumi, maka kita dapat menembusnya dengan “kekuatan”. Menurut Agus Purwanto (2008) kekuatan yang dimaksud pada ayat tersebut adalah kekuatan pikiran atau ilmu pengetahuan. Mengarungi langit dan menjelajahi bumi sangat mungkin dilakukan asal mempunyai pengetahuan yang memadai. Dengan ilmu pengetahuan yang cukup maka kita dapat memahami apa yang tersimpan di bumi ini. Selain kekuatan pikiran kita juga dapat menggunakan kecanggihan teknologi yang dapat menciptakan suatu alat untuk menembus dan melihat isi dari lapisan bumi dan juga menjelajahi langit.

Geofisika merupakan suatu cabang ilmu kebumian yang mempelajari bumi dari sifat-sifat dan prinsip-prinsip fisika. Manfaat dari penelitian Geofisika yaitu dapat mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi dengan cara melakukan pengukuran di atas permukaan bumi dengan menggunakan parameter-parameter fisika batuan di dalam bumi. Penerapan Geofisika umumnya digunakan dalam bidang energi seperti eksplorasi minyak bumi, mineral dan batubara.

Batubara merupakan salah satu sumber energi yang tersimpan di lapisan bumi. Proses terjadinya batubara dijelaskan pada dua teori, yaitu teori *in-situ* dan teori *drift*. Teori *in-situ* menjelaskan bahwa batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang tumbuh di suatu wilayah. Menurut teori *in-situ* batubara terbentuk di wilayah hutan basah atau rawa, dimana pohon-pohon tersebut yang telah mati akan roboh dan akan tenggelam di rawa. Daerah rawa memiliki kandungan oksigen yang sangat rendah, sehingga tidak memungkinkan bakteri aerob hidup. Karena tidak adanya bakteri aerob maka tumbuhan yang telah mati tersebut tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna. Selanjutnya tumbuhan tersebut akan menjadi fosil tumbuhan yang membentuk sedimen organik.

Teori *drift* menjelaskan bahwa batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang tumbuh di daerah lain, bukan wilayah ditemukannya batubara tersebut. Menurut teori drift batubara ini ditemukan di daerah delta, dimana pada daerah ini lapisan batubara tipis, tidak menerus dan banyak pengotor.

Kedua teori di atas menerangkan bahwa batubara terbentuk dari tumbuhan meskipun cara pembentukannya berbeda. Dalam al-Quran telah disebutkan:

وَالَّذِي أَخْرَجَ الْمَرْعَى ﴿٤﴾ فَجَعَلَهُ عُتَّاءَ أَحْوَى ﴿٥﴾

“Dan yang menumbuhkan rumput-rumputan, lalu dijadikan-Nya rumput-rumput itu kering kehitam-hitaman.” (Q.S al-A’la ayat 4-5)

Menurut Imam As Tsa’labi kata “al mar’a” adalah tumbuh-tumbuhan baik berwarna hijau, kuning, merah dan putih, “ghutsa” bermakna kering dan usang, ”ahwa” adalah hitam (Al Kasyfu wal Bayaan).

Ibnu Athiyah mengatakan “mar’a” adalah tumbuhan, “ghutsa” tumbuhan yang kering dan telah tercerai berai, “al mar’a” adalah hitam (al Muharror al Wajiiz). Imam al Qurthubi mengatakan "ahwa" adalah hitam (Tafsir al Qurthubi). Kata "ahwa" yang bermakna hitam, adalah ungkapan sangat cermat yang digunakan al-Quran untuk menjelaskan akhir dari perjalanan proses penggabutan tumbuh-tumbuhan, dan ditemukannya batubara hitam yang ternyata berasal dari tumbuhan membusuk dan menegaskan kebenaran al-Quran yang berasal dari Allah.

Abdurrahman bin Zaid berkata “Dia menumbuhkan rumput-rumputan itu hijau, kemudian ketika kering, maka ia akan menjadi hitam karena terbakar. Lalu menjadi kering kehitaman yang diterbangkan oleh angin dan dihanyutkan oleh air banjir. Ini adalah perumpamaan bagi orang-orang kafir yang dibuat oleh Allah SWT, untuk dunia yang hancur dan semaraknya.”

Dalam kitab tafsir al-Qurthubi Abu Ubaidah berkata “Dia menjadikannya hitam karena terbakar dan lamanya. Tumbuhan basah apabila menjadi kering maka akan menjadi hitam.”

Pada ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan tumbuhan termasuk rumput-rumputan. Tumbuhan tersebut kemudian tertimbun dan dikenai tekanan serta suhu yang sangat tinggi. Pada waktu yang sangat lama tumbuhan tersebut akan mengeras dan berubah menjadi kehitam-hitaman. Sesuai dengan asal-usulnya bahwa batubara adalah berasal dari tumbuhan yang tertimbun dan memperoleh tekanan ekstrim. Proses itulah yang mengubah batubara menjadi keras dan warnanya yang semula hijau menjadi kehitam-hitaman.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengambilan, pengolahan dan interpretasi data yang dilakukan menggunakan metode *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005* dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* dapat dilakukan untuk mengetahui struktur lapisan tanah pada lintasan penelitian. Berdasarkan hasil interpretasi secara kualitatif yang mengacu pada visualisasi 3D menunjukkan bahwa di seluruh lintasan tersebut tampak adanya lapisan batubara di bawah permukaan dengan ketebalan sekitar 6 meter.
2. Pemetaan potensi batubara dapat dilihat dari keseluruhan data. Potensi batubara tampak pada lintasan 1, 3, 4, 5, 6, 7 dan 9. Sedangkan pada lintasan 2 dan lintasan 8 lapisan batubara yang terlihat hanya di beberapa titik. Selain batubara, pada hasil penelitian juga menunjukkan adanya daerah kosong dan pada lapisan yang lebih dalam terdapat batuan yang mengandung mineral.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengambilan data di area lain sehingga diperoleh informasi tambahan daerah yang terdapat lapisan batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah bin Muhammad. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir: Jilid 7*. Bogor: Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Anggayana, Komang. 2002. *Genesa Batubara*. Bandung: Departemen Teknik Pertambangan FIKTM Institut Teknologi Bandung.
- Annan, A.P. 1992. *Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors and Software*. Canada: Geophys Prospect.
- Annan, A.P. dan Davis J.L. 1989. *Ground Penetration Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy*. Canada: Geophys Prospect.
- Astutik, Sri. 1997. *Penggunaan Ground Penetrating Radar (GPR) Sebagai Metal Detektor*. Jurnal ILMU Dasar Vol. 2 No. 1: hal. 9-16 MALA Geoscience.
- Bahri, Ayik Saiful. 2009. *Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunungkidul dengan Metode Ground Penetrating Radar*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Diessel, C.F.K. 1986. *On the Colleration of Coal Facies and Depositional Environments; in Preceedings of the Twelfth Symposium on Advances in the Study of Sydney Basin*, hal. 19-22. Newcastle: Department of Geology Newcastle University.
- Diessel, C.F.K. 1992. *Coal-Bearing Depositional Systems*. Berlin Heidelberg Germany: Springer-Verlag.
- Erich, Stach. 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Berlin: Gebruder Borntraeger.
- Frederich, M.C., Moore, T.A., Lin, M.S.W., dan Langford, R.P. 1995. *Constraints on coal Formation in Southeast Kalimantan Indonesia*. Proceeding 6th New Zealand Coal Conference, hal. 137-149.
- Griffiths, David J. dan Reed College. 1999. *Introduction to Electrodinamics: third edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hakim, Agung Mahesya, Alwi Karya S., Asri Wulandari, Bagus Hardiansyah dan Christian Sibuea. 2011. *Modul Eksplorasi Elektromagnetik*. Lampung: Teknik Geofisika Universitas Lampung.
- Ibrahim, Muhammad al-Hifnawi dan Mahmud Hamid Utsman. 2008. *Tafsir al-Qurthubi: Juz 'amma*. Jakarta: Pustaka Azzam.

- Iswati, Y. 2012. *Analisis Core dan Defleksi Los Untuk Mengetahui Lingkungan Pengendapan dan Menentukan Cadangan Batubara Di Banko Barat Pit 1, Sumatera Selatan*. Skripsi. Bandar Lampung: Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Milsom, John. 2003. *Field. Geophysics: Third Edition*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Muhammad, a l-Imam Jalaluddin dan al-Imam Jalaluddin Abdirrahman. 2010. *Tafsir Jalalain*. Surabaya: eLBA Fitrah Mandiri Sejahtera.
- Nahrowi, T.Y., Suratman, S. Namida dan S. Hidayat. 1978. *Geologi Pegunungan Selatan Jawa Timur PIT IX*. Bandung: Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Purwanto, Agus. 2008. *Ayat-Ayat Semesta: Sisi-sisi al-Quran yang Terlupakan*. Bandung: Mizan Perkasa.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Wiley dan Sons.
- Samodra, H., Suharsono, S. Gafoer dan T. Suwarti. 1992. *Geologi Lembar Tulungagung, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Shofiana, Anggun. 2016. *Identifikasi Gua Bawah Tanah Pada Struktur Gamping Berdasarkan Interpretasi Data Ground Penetrating Radar (GPR)*. Skripsi. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Sukandarrumidi. 2006. *Batubara dan Pemanfaatannya: Pengantar Teknologi Batubara Menuju Lingkungan Bersih*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sumarsono Muhyi. 2005. *Deteksi Kabel Listrik Bawah Tanah dengan Otomata*. Jakarta: STMIK Indonesia.
- Sutarno. 2013. *Sumber Daya Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P. 1998. *Organic Petrology*. Berlin–Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- Tjia, May On. 1994. *Gelombang*. Bandung: Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung.
- Yulius, Yudi M. 2014. *Studi Pemrosesan dan Visualisasi Data Ground Penetrating Radar*. Jakarta: Jurnal Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI.

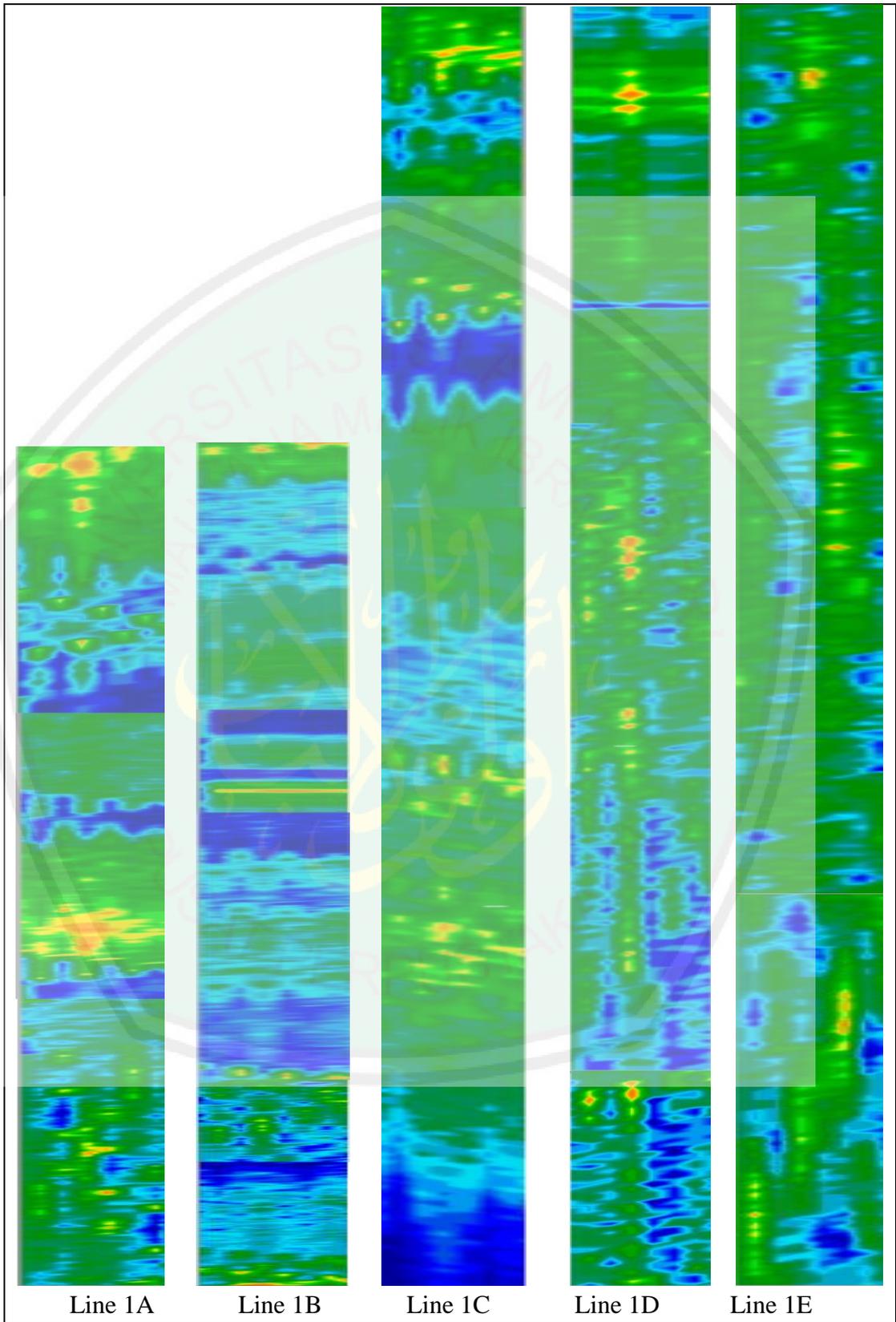


LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: PENAMPANG ATAS DATA VISUALISASI 2D

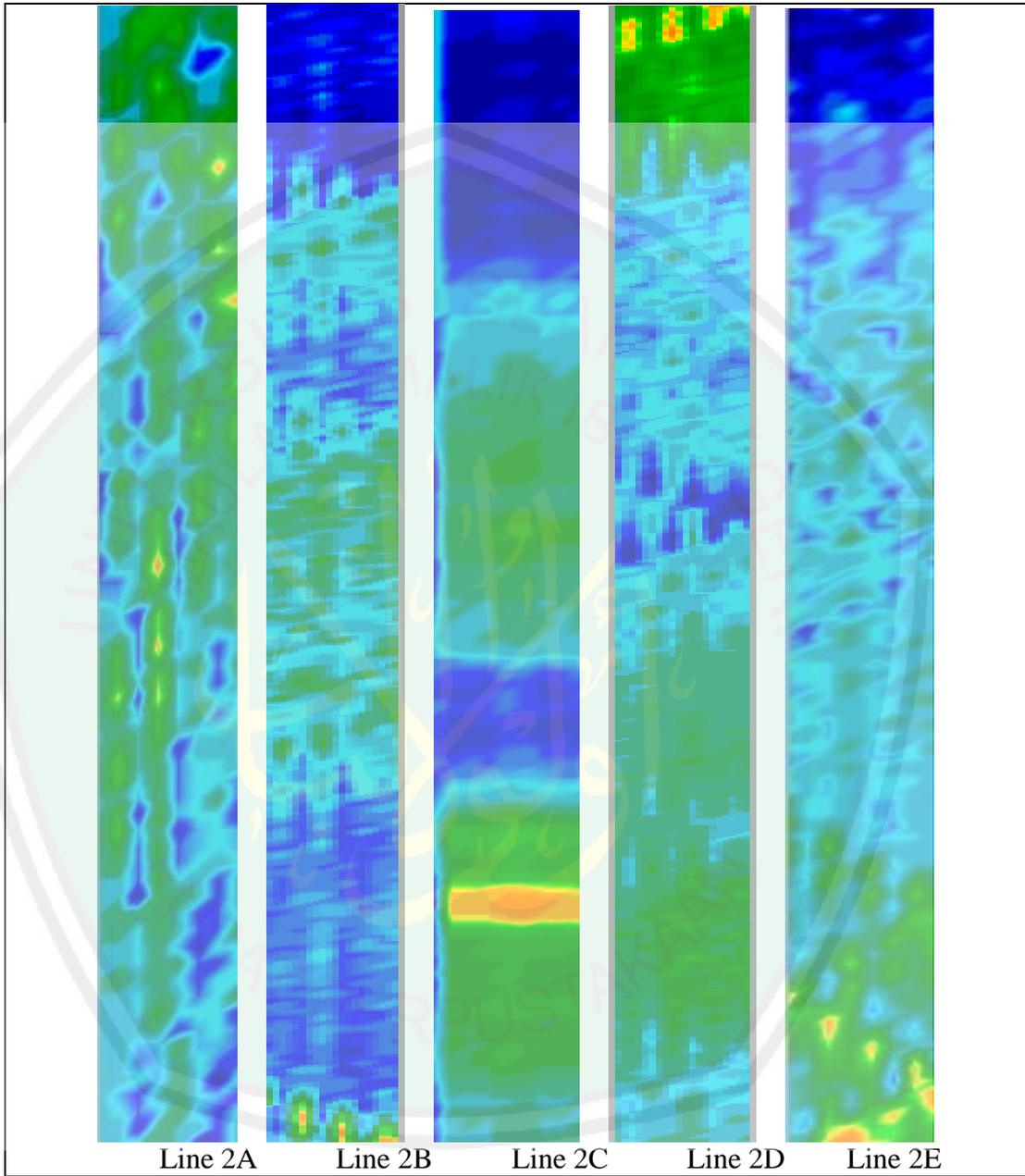
1. Lintasan 1





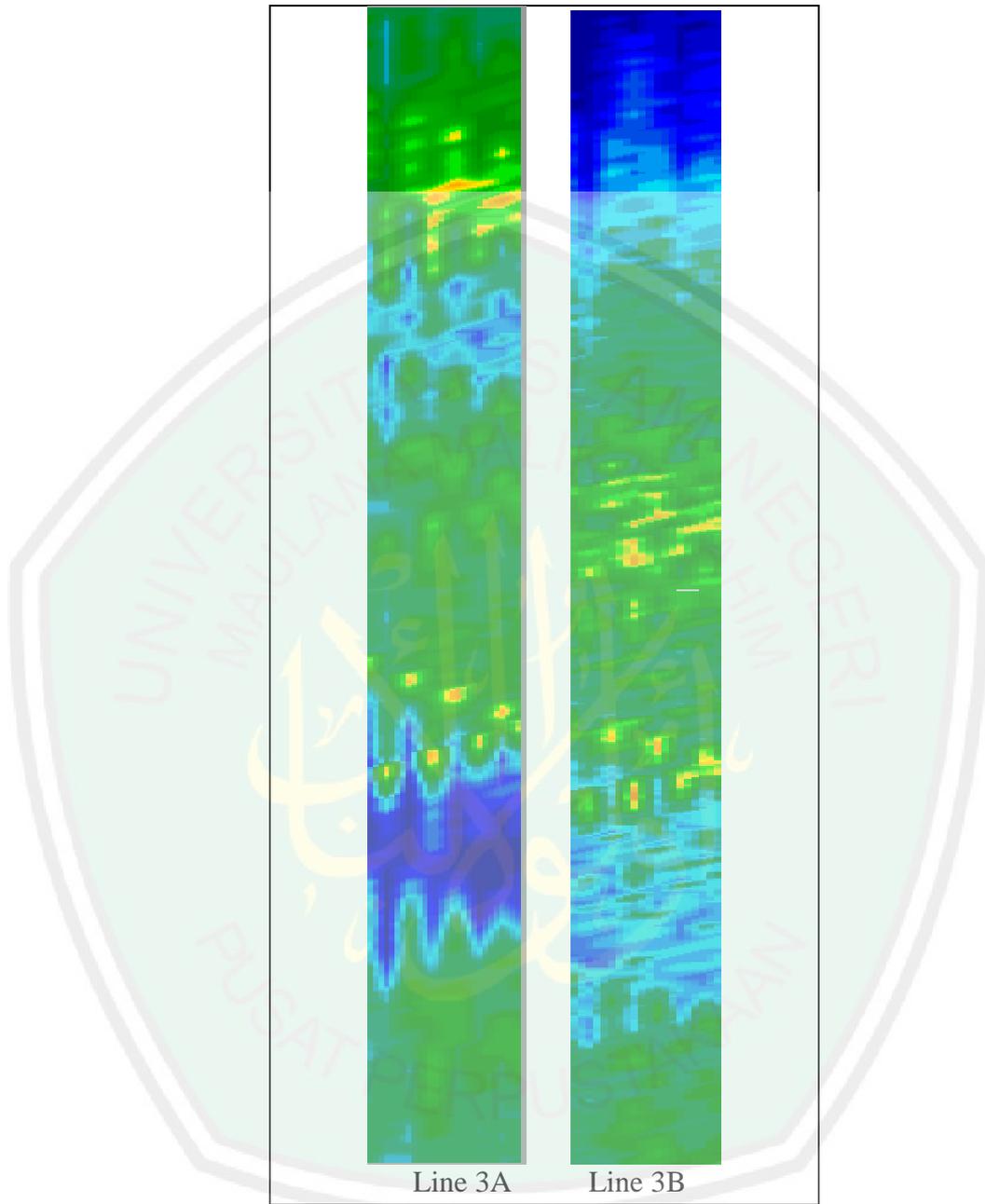
Gambar 1 Penampang Horizontal Line 1 (dari atas ke bawah : line 1A sampai line 1E)

2. Lintasan 2



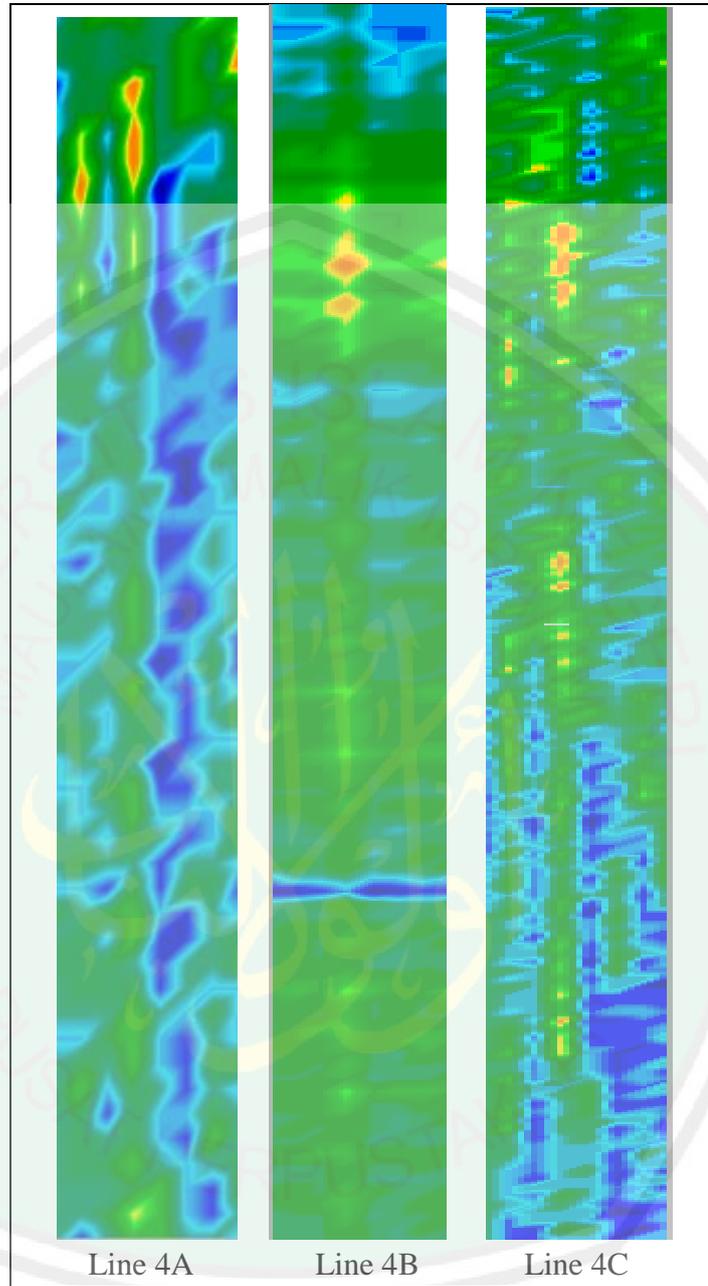
Gambar 2 Penampang Horizontal Line 2 (dari atas ke bawah : line 2A sampai line 2E)

3. Lintasan 3



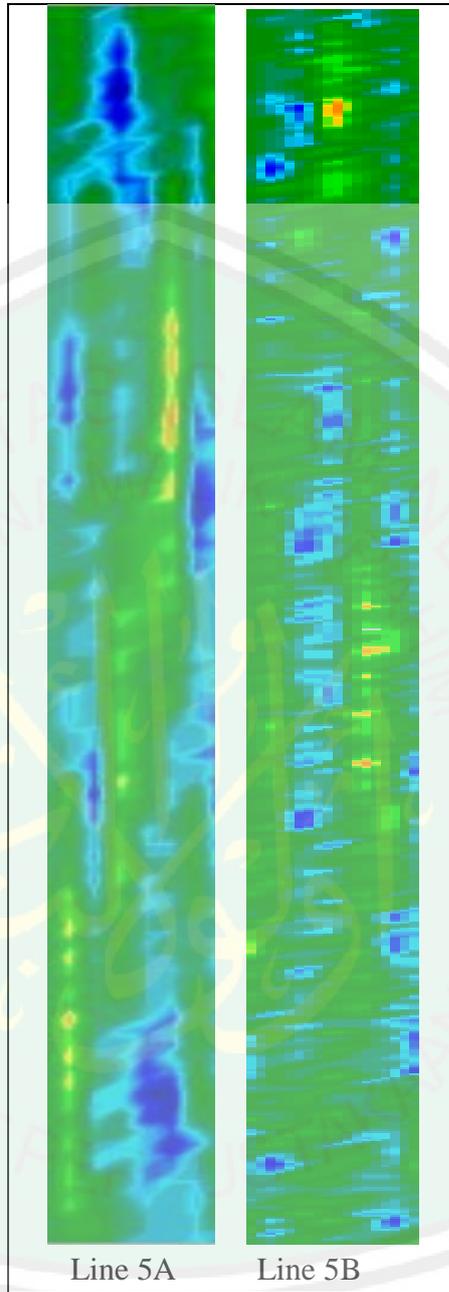
Gambar 3 Penampang Horizontal Line 3 (dari atas ke bawah : line 3A sampai line 3B)

4. Lintasan 4



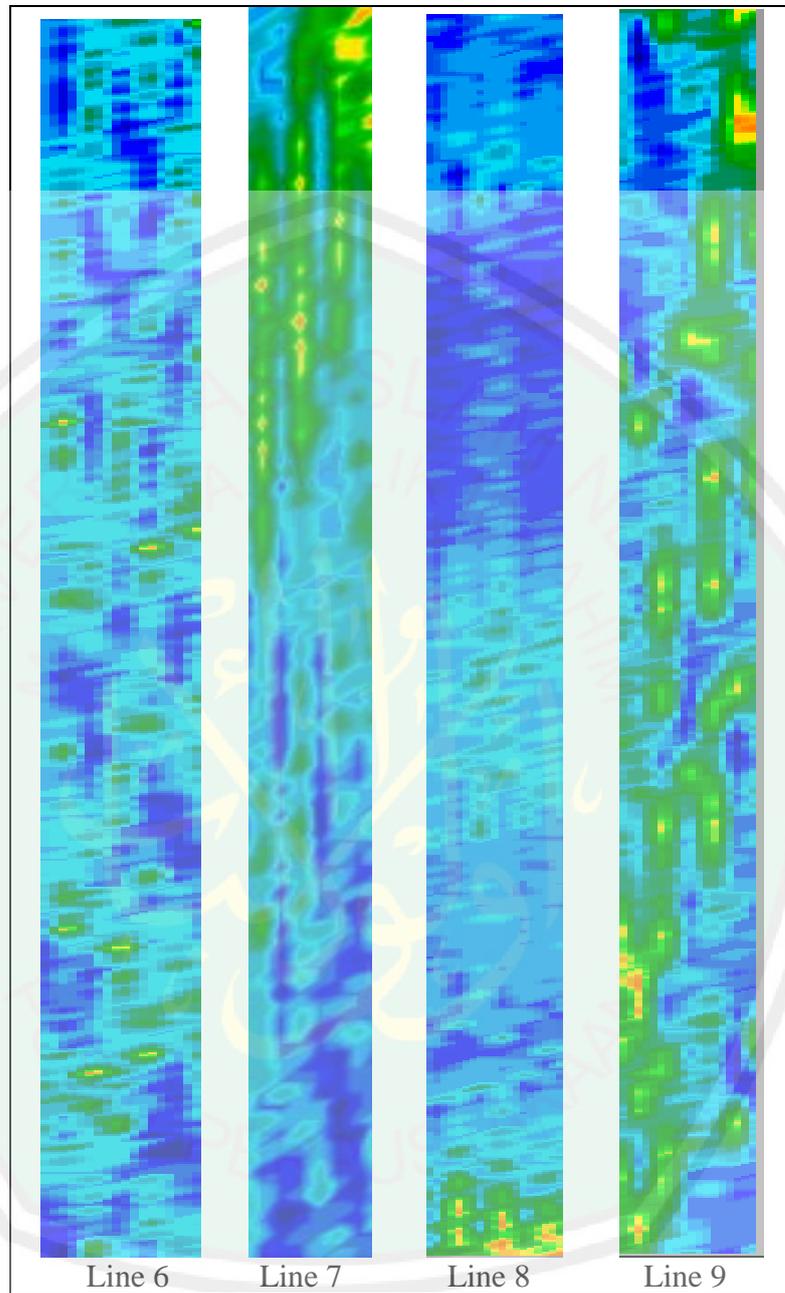
Gambar 4 Penampang Horizontal Line 4 (dari atas ke bawah : line 4A sampai line 4C)

5. Lintasan 5



Gambar 5 Penampang Horizontal Line 6 (dari atas ke bawah : line 5A sampai line 5B)

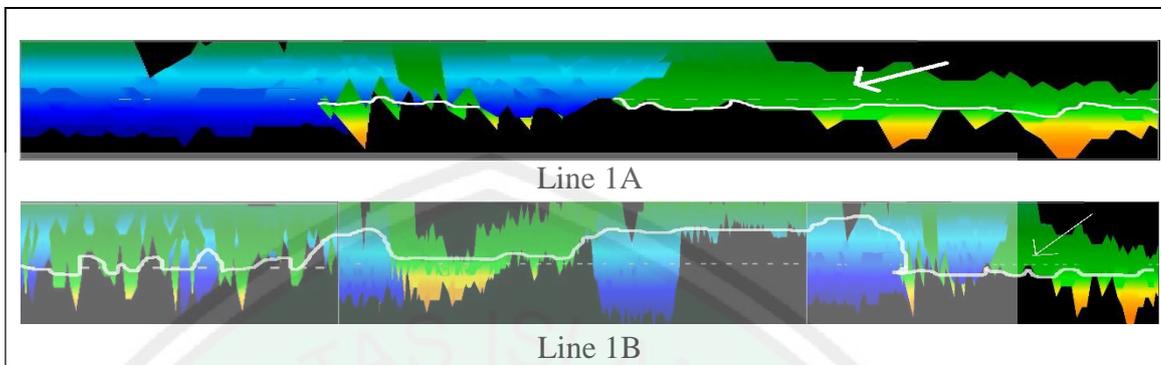
6. Lintasan 6 sampai lintasan 9



Gambar 6 Penampang Horizontal Line 6, Line 7, Line 8 dan Line 9

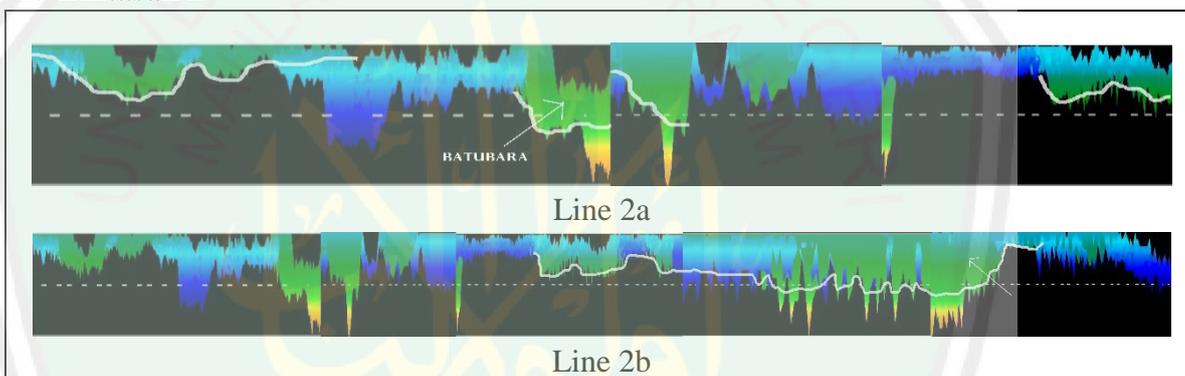
LAMPIRAN 2: PENAMPANG VERTIKAL DATA VISUALISASI 2D

1. Lintasan 1



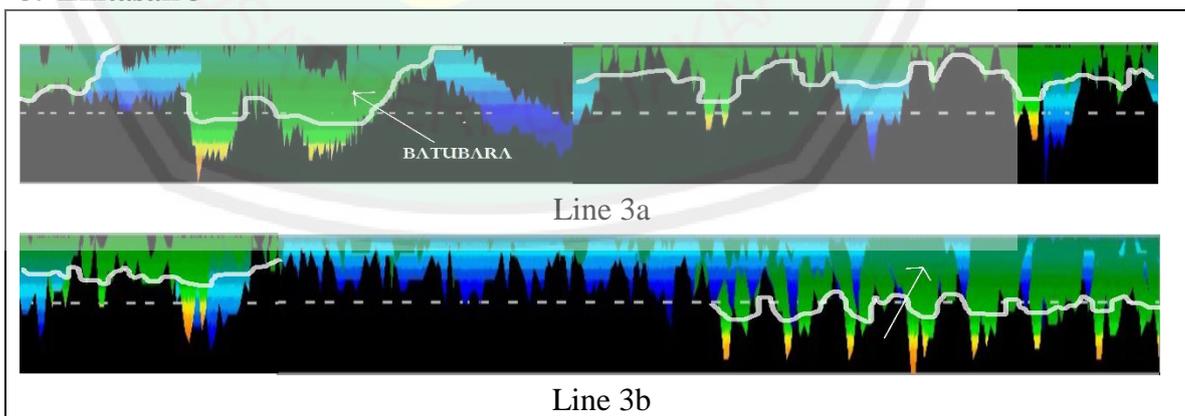
Gambar 1 Penampang Vertikal Line 1 (dari kanan ke kiri : line 1A sampai line 1B)

2. Lintasan 2



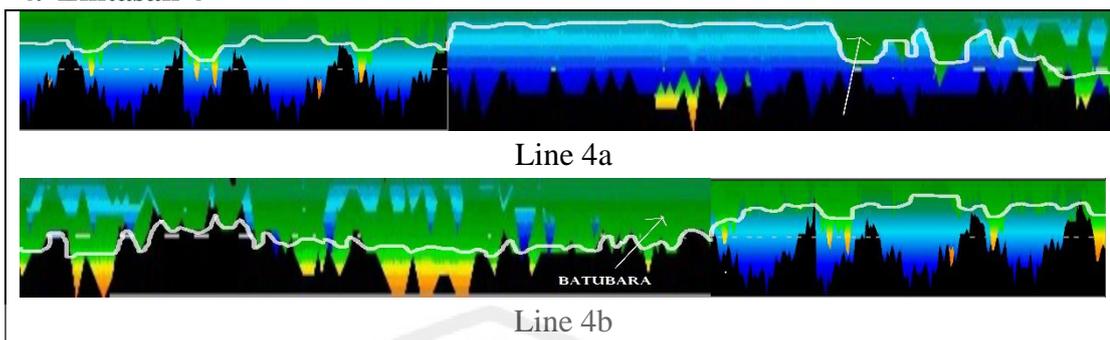
Gambar 2 Penampang Vertikal Line 2 (dari kanan ke kiri : line 2A sampai line 2B)

3. Lintasan 3



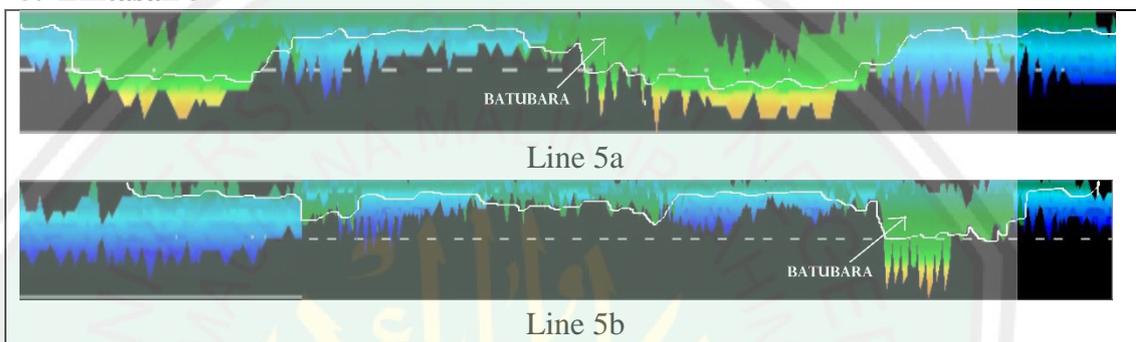
Gambar 3 Penampang Vertikal Line 3 (dari kanan ke kiri : line 3A sampai line 3B)

4. Lintasan 4



Gambar 4 Penampang Vertikal Line 4 (dari kanan ke kiri : line 4A sampai line 4B)

5. Lintasan 5



Gambar 5 Penampang Vertikal Line 5 (dari kanan ke kiri : line 5A sampai line 5B)

6. Lintasan 6



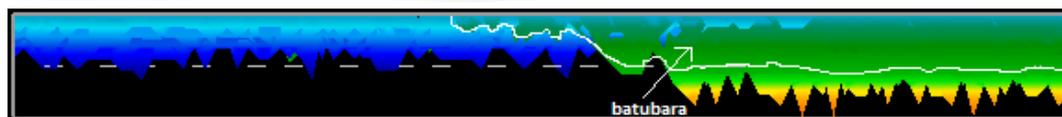
Gambar 6 Penampang Vertikal Line 6 (dari kanan ke kiri)

7. Lintasan 7



Gambar 7 Penampang Vertikal Line 7 (dari kanan ke kiri)

8. Lintasan 8



Gambar 8 Penampang Vertikal Line 8 (dari kanan ke kiri)

9. Lintasan 9



Gambar 9 Penampang Vertikal Line 9 (dari kanan ke kiri)

LAMPIRAN 3: DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA



Gambar 1 Singkapan Batubara di Tepi Sungai



Gambar 2 Proses Akuisisi Data



Gambar 4 Foto bersama tim GPR, Geolistrik dan Geomagnetik

LAMPIRAN 4: Aplikasi *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005*

Alat GPR

1. *External power supply*
2. *Control unit OKM*
3. *Gagang Probe*
4. *USB Bluetooth* (penghubung laptop dan alat)
5. *Probe*
6. Laptop dengan perangkat lunak *Visualizer 3D*

Langkah awal Alat GPR

1. Dipastikan *power supply* telah di *charge* hingga penuh
2. Dipasang *probe* dengan *gagang probe*
3. Dipasang *probe* dengan *control unit*
4. Disambungkan *power supply* dengan *control unit*
5. Dipasang *bluetooth* ke *control unit*
6. Dipasang *bluetooth* ke laptop
7. Dinyalakan *control unit* -> OK
8. Pada *control unit* dicari pilihan *Ground Scan* -> OK
9. Pada *control unit* dicari pilihan *Automatic Scan* -> OK
10. Pada *control unit* dicari pilihan *impulse* (diatur sesuai desain akuisisi data) -> OK
11. *Transfer to laptop* (ditahan terlebih dahulu)
12. Dibuka *software visualizer 3D* pada laptop -> *new project*
 - a. *Measure, equipment = future series 2005*
 - b. *Transfer method = wireless connection*
 - c. *Work mode = ground scan* sesuai desain akuisisi data
 - d. *Pulse = sesuai desain akuisisi data*
 - e. *COM part = dilihat pada bagian "bluetooth device" -> klik kiri -> open bluetooth setting -> tab COM Ports -> dilihat COM Port berapa saja yang tersedia, kemudian dicoba masing-masing COM Port yang tersedia.*
 - f. OK
13. *Transfer to laptop* -> OK
14. *Connecting to laptop* -> ditunggu sampai *bluetooth control unit* tersambung

15. Diklik notifikasi koneksi *bluetooth* -> dimasukkan *password bluetooth* “OKM”
16. Setelah tersambung tekan tombol hijau pada *control unit*
17. *Scan GPR* dilakukan
18. Disimpan gambar hasil *scan* untuk diinterpretasikan





KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : ROHMATUL WAHIDAH
NIM : 13640068
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Interpretasi Potensi Sebaran Batubara Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* (Studi Kasus di Desa Kebo Ireng Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur)
Pembimbing I : Drs. Abdul Basid, M.Si
Pembimbing II : Erna Hastuti, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	28 Maret 2017	Konsultasi Bab I	/
2	30 Maret 2017	Konsultasi Bab II dan III	/
3	4 Juli 2017	Konsultasi Pengolahan Data	/
4	2 Agustus 2017	Konsultasi Pengolahan Data	/
5	18 September 2017	Konsultasi Pembahasan	/
6	23 September 2017	Konsultasi Bab IV dan Bab V	/
7	25 September 2017	Konsultasi Agama	Ⓞ
8	28 Agustus 2017	Konsultasi Agama	Ⓞ
9	2 Oktober 2017	Konsultasi semua bab dan acc	/
10	2 Oktober 2017	Konsultasi Agama dan acc	Ⓞ

Malang, 2 Oktober 2017
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,


Dr. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003