

**PENYELIDIKAN RONGGA BAWAH TANAH
DI SEKITAR SUMUR PEMUKIMAN WARGA
MENGUNAKAN METODE GROUND PENETRATING RADAR
(GPR)
(STUDI KASUS DESA SUMBERASRI)
KECAMATAN PURWOHARJO KABUPATEN BANYUWANGI**

SKRIPSI

Oleh:
NUR KHAMIDAH
NIM. 11640030



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**PENYELIDIKAN RONGGA BAWAH TANAH
DI SEKITAR SUMUR PEMUKIMAN WARGA
MENGUNAKAN METODE GROUND PENETRATING RADAR
(GPR)
(STUDI KASUS DESA SUMBERASRI)
KECAMATAN PURWOHARJO KABUPATEN BANYUWANGI**

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:
NUR KHAMIDAH
NIM. 11640030**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENYELIDIKAN RONGGA BAWAH TANAH
DI SEKITAR SUMUR PEMUKIMAN WARGA
MENGUNAKAN METODE GROUND PENETRATING RADAR
(GPR)
(STUDI KASUS DESA SUMBERASRI)
KECAMATAN PURWOHARJO KABUPATEN BANYUWANGI

SKRIPSI

Oleh:
Nur Khamidah
NIM. 11640030

Telah Diperiksa dan Disetujui
Pada tanggal, 07 Juli 2018

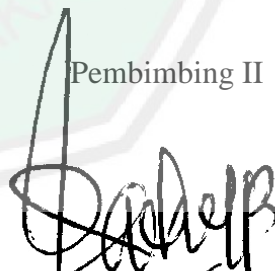
Pembimbing I



Irjan, M.Si.

NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II



Alimad Abtokhi, M.Pd.

NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika



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

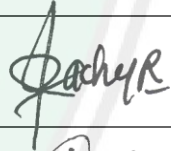


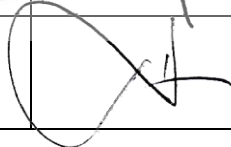
HALAMAN PENGESAHAN

**PENYELIDIKAN RONGGA BAWAH TANAH
DI SEKITAR SUMUR PEMUKIMAN WARGA
MENGUNAKAN METODE GROUND PENETRATING RADAR
(GPR)
(STUDI KASUS DESA SUMBERASRI)
KECAMATAN PURWOHARJO KABUPATEN BANYUWANGI**

SKRIPSI

Oleh:
Nur Khamidah
NIM. 11640030

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 31 Mei 2018

Penguji Utama :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si.</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji :	<u>Irjan, M.Si.</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji :	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd.</u> NIP. 19761003 200312 1 004	



Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nur Khamidah
NIM : 11640030
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Judul Penelitian : Penyelidikan Rongga Bawah Tanah di Sekitar Sumur
Pemukiman Warga Menggunakan Metode Ground
Penetrating Radar (GPR) (Studi Kasus Desa Sumberasri
Kecamatan Purwoharjo Kabupaten Banyuwangi)

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 menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 07 Juli 2018
Yang Membuat Pernyataan



Nur Khamidah
NIM. 11640030

MOTTO

كن طالب الاستقامة لا طالب الكرامة

. فإن نفسك متحركة في طلب الكرامة وربك يطلب منك الاستقامة

Jadilah kamu pencari istiqamah dan janganlah menjadi pencari karamah
Karena karamah adalah keinginan nafsumu, sedangkan Allah memerintahkanmu
istiqomah



HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan penuh tergesa,
Dengan penuh kurang,
Dengan penuh malu,
Aku persembahkan catatan ini,
Untuk,
(Almarhum) Bapak dan Ibu
Guru-guruku di pesantren
Guru-guruku di perguruan tinggi ini
Para kyai yang selalu menjaga hatiku
Teman-teman sejawat yang selalu membantu
Sahabat-sahabat yang tak mampu membedakan keluarganya dengan diriku
...
Wahai antum semua,
Mestinya engkau layak mendapat yang lebih baik dari ini,
Tapi aku malu karena aku belum mampu*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb

Penulis bersimpuh pada Allah Al-Shobūr yang selalu memberi nikmat untuk selalu bersyukur. Betapa dosa yang melekat dalam kalbu, terlalu hebat untuk mendapat petunjuk dari Yang Maha Tahu dan Mampu untuk menyelesaikan skripsi yang sempat tidak terurus.

Shalawat dan salam penulis panjatkan untuk sang Rasul, selalu membuat jiwa raga ingin bertemu meski dari tempat jauh.

Dengan selesainya penulisan skripsi yang diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana strata satu ini, penulis menyampaikan terima kasih pada berbagai pihak yang memberi dorongan semangat dan doa. Terima kasih tak terhingga penulis sampaikan 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 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
4. Irjan, M.Si selaku Pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku Dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Qur'an.

6. Segenap dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
7. Segenap dewan pengasuh dan keluarga besar PP. Salafiyah Syafi'iyah Nurul Huda Mergosono Malang yang selalu penulis harapkan keberkahan ilmunya.
8. Bapak dan Ibu, serta segenap keluarga yang penuh ikhlas membantu dan membiayai pendidikan penulis.
9. Seluruh sahabat yang selalu mendorong dan mendoakan penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Atas jasa-jasa mereka, semoga Allah selalu melebihkan pahala untuk mereka melebihi apa yang mereka sumbangkan.

Akhir kata, penulis bukanlah seorang malaikat atau nabi yang tidak tersentuh oleh debu alpa ataupun keliru, siapapun yang membantu memperbaiki kekurangan yang ada dalam penulisan ini, semoga Allah selalu memberi jalan keluar dan membantu segala urusan mereka yang buntu.

Wassalamu'alaikum wr. wb

Malang, 07 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	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
ABSTRACT	xvi
المخلص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian	8
2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi	8
2.1.2 Stratigrafi.....	9
2.1.3 Data Geologi.....	10
2.2 Gelombang Elektromagnetik	13
2.3 Gelombang Radar.....	15
2.4 Ground Penetrating Radar (GPR)	17
2.4.1 Prinsip Kerja GPR	20
2.4.2 Parameter Antena GPR	29
2.4.3 Akuisisi Data GPR	35
2.4.4 Processing Data GPR	37
2.4.5 Interpretasi GPR	38
2.5 Akuifer	39
2.6 Porositas Tanah	41
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	44
3.2 Peralatan dan Software	44
3.3 Diagram Kerja Penelitian.....	47
3.4 Prosedur Kerja.....	47
3.4.1 Akuisisi Data	47
3.4.2 Pengambilan Data GPR	49

3.5 Pengolahan Data.....	49
--------------------------	----

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Survey	50
4.1.1 Akuisisi Data	50
4.1.2 Desain Survey	55
4.1.3 Pengolahan Data.....	57
4.2 Pembahasan	59
4.2.1 Interpretasi Kualitatif	59
4.2.2 Analisa Visualisasi 2D	61
4.2.3 Analisa Pola Saluran Bawah Permukaan	64
4.3 Integrasi Penelitian dengan al-Qur'an.....	65

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lokasi Penelitian dan Peta Geologi Lembar Banyuwangi	11
Gambar 2.2	Spektrum Gelombang Elektromagnetik	13
Gambar 2.3	Sistem GPR	21
Gambar 2.4	Konsep Akuisisi Data	22
Gambar 2.5	Ketebalan beberapa medium dalam tanah	24
Gambar 2.6	Akuisisi data GPR	26
Gambar 2.7	Output GPR	28
Gambar 2.8	Late time ringing	31
Gambar 2.9	Cross-coupling.....	31
Gambar 2.10	Jarak antenna dengan tanah.....	32
Gambar 2.11	(a) Cavity Area (b) Metal (c) Dry Karst (d) Wet Karst	34
Gambar 2.12	Struktur dan jenis objek digolongkan berdasar variasi warna pada output GPR Future Series 2005	34
Gambar 3.1	Cakupan area penelitian dilihat dari citra Google Maps	44
Gambar 3.2	Peralatan GPR Future Series 2005	46
Gambar 3.3	Diagram kerja	47
Gambar 3.4	Desain lintasan penelitian.....	49
Gambar 4.1	Seperangkat alat GPR Future Series 2005.....	50
Gambar 4.2	Roll meter	51
Gambar 4.3	Laptop.....	51
Gambar 4.4	Power tank dihubungkan dengan Control Unit Melalui Kabel	52
Gambar 4.5	Transmitter-Receiver terpasang pada gagang dan Dihadapkan ke bawah.....	52
Gambar 4.6	Tampilan software Visualizer 3D.....	52
Gambar 4.7	Control Unit Future Series 2005	54
Gambar 4.8	Tombol hijau pada control unit	54
Gambar 4.9	Proses pengambilan data	55
Gambar 4.10	Output 2D GPR Future Series 2005	58
Gambar 4.11	Output 3D GPR Future Series 2005	58
Gambar 4.12	Hasil scan kedua area yang di <i>overlay</i> dengan peta perangkat lunak Google Earth-CorelDraw X8	61
Gambar 4.13	Legenda pada output GPR Future Series 2005.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Struktur geologi kabupaten Banyuwangi	12
Tabel 2.2	Jenis Tanah Kabupaten Banyuwangi	12
Tabel 2.3	Kecepatan dan konstanta dielektrik berbagai medium	20
Tabel 2.4	Resolusi dan daya tembus gelombang radar	25
Tabel 2.5	Data jarak antenna dengan tanah dengan berbagai variasi permitivitas	33
Tabel 2.6	Penentuan frekuensi antenna yang digunakan	36
Tabel 2.7	Rekomendasi penggunaan sampling frekuensi	36
Tabel 4.1	Keterangan banyaknya impuls yang dipakai pada setiap line.....	56
Tabel 4.2	Keterangan banyaknya impuls yang dipakai pada setiap line.....	57
Tabel 4.3	Koordinat sumur pada area penelitian.....	61



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Visualisasi 2D
- Lampiran 2 Data Visualisasi 3D
- Lampiran 3 Aplikasi GPR Future Series 2005
- Lampiran 4 Peta Geologi Lembar Banyuwangi
- Lampiran 5 Dokumentasi penelitian
- Lampiran 6 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Nur Khamidah. 2018. **Penyelidikan Rongga Bawah Tanah Di Sekitar Sumur Pemukiman Warga Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR)** (Studi Kasus Desa Sumberasri Kecamatan Purwoharjo Kabupaten Banyuwangi). Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata kunci: Intrusi, Intrusi Air Laut, *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005*

Sumur warga di daerah Sumberasri Kecamatan Purwoharjo Kabupaten Banyuwangi mengalami perubahan rasa (asin/tawar) setiap terjadi pergantian cuaca. Di lokasi penelitian dijumpai beberapa sumur yang beda rasa (asin/tawarnya). Fenomena ini diduga terjadi karena adanya instrusi air laut. Penelitian bertujuan untuk mengetahui rongga bawah permukaan yang diindikasikan sebagai penyebab terjadinya intrusi airlaut. Data yang digunakan adalah data hasil rekaman Ground Penetrating Radar (GPR) pada tanggal 5-6 Januari 2017. Untuk mengetahui kondisi bawah permukaan di lokasi penelitian, pada penelitian ini digunakan metode Ground Penetrating Radar (GPR) dengan Future Series 2005. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip penjalaran gelombang elektromagnetik. Hasil dari metode ini berupa rekaman data yang menggambarkan kondisi bawah permukaan lokasi penelitian. Hasil ini selanjutnya di lakukan overlay dan dianalisa. Pengolahan data dilakukan dengan *software visualizer 3D* yang merupakan satu paket dengan GPR *Future Series 2005*. Berdasarkan hasil dari interpretasi secara kualitatif yang mengacu pada visualisasi 2D menunjukkan bahwa pada daerah penelitian terlihat adanya pola-pola bewarna biru yang mengindikasikan sebagai zona *cavity* (rongga-rongga) yang diduga sebagai salah satu penyebab adanya potensi terjadinya rembesan air laut menuju daratan.

ABSTRACT

Nur Khamidah. 2018. Underground Cavities Around Wells of Citizen Settlements Using Ground Penetrating Radar Method (GPR) (Case Study of Sumberasri Village Purwoharjo Sub-district, Banyuwangi District). Thesis. Department of Physics Faculty of Science and Technology State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Irjan, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Key Word: Intrusion, Sea Water Intrusion, Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005

Wells in Sumberasri Village, District Purwoharjo, Banyuwangi Regency has changed its taste to be salty or taste-less in every climate change. This phenomenon is assumed to occur due to the intrusion of seawater. The objective of this research is to find out the subsurface cavity which is indicated by the seawater intrusion. The data used was Ground Penetrating Radar (GPR) recorded on January 5-6, 2017. To know the subsurface condition in the research location, this research used Ground Penetrating Radar (GPR) method with Future Series 2005. This method worked based on the principles of electromagnetic wave propagation. The result of this method was a data recording that described the subsurface condition of the research location. These results were further overlaid and analyzed. Data processing was done with 3D visualizer software which was one package with GPR Future Series 2005. Based on the result of qualitative interpretation, which referred to 2D visualization, showed that there were an existence of a blue colored pattern indicated as zona cavity that was suspected as the cause of the potential seepage of seawater into the mainland

المخلص

نور حميدة. ٢٠١٨. تحقيقات كهف تحت الأرض حول مستوطنات المواطنين في الآبار باستخدام طريقة رادار مختزقة للأرض (GPR). بحث جامعي. شعبة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف: إرجان، الماجستير و احمد ابطخي، الماجستير

كلمات الرئيسية: تطفل ، تسرب مياه البحر ، رادار مختزق الأرض (GPR) سلسلة المستقبل

وقد أجرى أبحاثاً في مجال منطقة Sumberasri Purwoharjo بانيووانجي. في موقع البحث وجدت عدة آبار ذات طعم مختلف (مالح / صفقة). ويعتقد أن هذه الظاهرة حدثت بسبب تسرب مياه البحر. وتهدف الدراسة إلى تحديد باطن الأرض يشار إلى تسوس الأسنان هو السبب في التسلل. البيانات المستخدمة وتسجيل الأراضي البيانات اختراق الرادار (GPR) في ٥ يناير إلى ٦، ٢٠١٧. لتحديد الظروف تحت السطحية في موقع الدراسة، وأساليب استخدمت الدراسة رادار الاختراق الأرضي (GPR) مع السلسلة المستقبلية ٢٠٠٥. هذا الأسلوب يعمل بواسطة مبادئ انتشار الموجات الكهرومغناطيسية. نتائج هذا الأسلوب في شكل سجلات البيانات التي تصف حالة من المواقع تحت سطح الأرض. هذه النتائج يتم تغطيتها وتحليلها. يتم تنفيذ معالجة البيانات بواسطة برنامج D٣ متخيل هذا هو صفقة مع GPR السلسلة المستقبلية ٢٠٠٥. واستناداً إلى نتائج التفسير النوعي الذي يشير إلى التصور D٢ يدل على أن منطقة الأبحاث ينظر إلى أنماط الملونة الزرقاء التي تشير إلى وجود منطقة الجوف (تجاويف) يشتبه كسبب للتسرب محتمل من مياه البحر نحو البر الرئيسي.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan penting makhluk hidup untuk dapat menjalankan aktivitasnya. Menurut KBBI *online*, air adalah cairan jernih tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau yang terdapat dan diperlukan dalam kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan yang secara kimiawi mengandung Hidrogen dan Oksigen.

Mengingat pentingnya peranan air, sangat diperlukan adanya sumber air yang dapat menyediakan air yang baik dari segi kuantitas dan kualitasnya. Di Indonesia, umumnya sumber air minum berasal dari air permukaan (*surface water*), air tanah (*ground water*) dan air hujan. Penggunaan airtanah merupakan salah satu alternatif yang dilakukan manusia guna memenuhi kebutuhan air baik layak konsumsi. Karena disamping mudah diperoleh juga sangat ekonomis.

Pesatnya perkembangan teknologi yang diikuti dengan perkembangan penduduk, mengakibatkan terjadinya penyedotan air tanah secara besar-besaran yang berdampak permukaan air tanah lebih rendah dari permukaan air laut. Penyedotan air tanah secara terus menerus tanpa memperhitungkan daya dukung lingkungannya dapat menyebabkan permukaan air tanah melebihi daya produksi dari suatu akuifer yang dapat menimbulkan pengaruh negatif terhadap sumber air bawah tanah, serta menyebabkan penurunan lapisan tanah di permukaan (Situmorang, 2004).

Kebutuhan air tanah yang terus meningkat mendesak masyarakat untuk terus mengusahakan ketersediaan air sehingga menyebabkan peningkatan

pengambilan air tanah. Meningkatnya pengambilan air tanah yang tidak terkontrol di sekitar pantai menyebabkan masuknya air laut ke daratan disebabkan adanya rongga-rongga bawah tanah. Akibatnya rongga-rongga tersebut terisi oleh air laut yang masuk pada zona air tanah tawar, kemudian fenomena ini disebut sebagai intrusi air laut.

وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّا فِي الْأَرْضِ ط وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍ بِهِ لِقَادِرُونَ ﴿١٨﴾

“Dan Kami turunkan air dari langit menurut suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan sesungguhnya Kami benar-benar berkuasa menghilangkannya”. (QS. Al-Mu’minūn: 18)

Artinya, Kami jadikan air itu —bila telah diturunkan dari awan— menetap di bumi dan Kami jadikan bumi dapat menerimanya dan menyerapnya sehingga semua biji-bijian dan bibit-bibit yang ada padanya dapat beroleh makanan dari air itu. Selanjutnya yaitu *dan sesungguhnya Kami benar-benar berkuasa menghilangkannya*. Yakni seandainya Kami menghendaki bahwa langit tidak menurunkan hujan, tentulah Kami dapat melakukannya. Seandainya Kami bermaksud menimpakan musibah, tentulah Kami dapat melakukannya, yaitu dengan memalingkan air hujan dari kalian dan mengarahkannya ke tempat-tempat yang tandus, hutan belantara, dan tempat-tempat lainnya yang tak berpenghuni. Dan seandainya Kami menghendaki, tentulah Kami dapat mengubah rasanya menjadi asin sehingga tidak dapat diminum dan tidak dapat dijadikan pengairan, dan Kami dapat melakukannya. Seandainya Kami menghendaki tidak sekali-kali air hujan di turunkan ke bumi melainkan menggenang di permukaannya, tentulah Kami dapat melakukannya. Dan seandainya Kami menghendakinya tidak sekali-kali turun ke bumi melainkan masuk ke dalam perut bumi sampai jarak yang tidak terjangkau oleh kalian sehingga

kalian tidak dapat memanfaatkannya, tentulah Kami dapat melakukannya. Tetapi berkat kelembutan dan rahmat Allah, Dia menurunkan air hujan dari langit berupa air yang tawar, menyegarkan, dan mudah diminum. Lalu Dia menempatkannya di bumi dan mengalirkannya menjadi sumber-sumber air yang pada akhirnya terbentuklah mata air-mata air dan sungai-sungai yang mengalir, sehingga dapat dijadikan sebagai pengairan tanam-tanaman dan pohon-pohonan yang berbuah. Dari air itu kalian minum, demikian pula hewan ternak serta hewan peliharaan kalian; kalian mandi, bersuci, dan membersihkan diri dengan air tersebut. Akhirnya segala puji bagi Allah atas semua karunia-Nya.

Pengurangan potensi air tanah jika terjadi pada akuifer daerah pantai dapat menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan hidrostatik air tawar dan air asin. Bila tekanan hidrostatik air tawar berkurang maka terjadi intrusi air asin yang meningkatkan kadar garam pada akuifer (Sosrodarsono, 2003).

Banyuwangi, tepatnya bagian selatan merupakan daerah yang dikelilingi oleh banyak pantai, sehingga penduduknya bermata pencaharian sebagai nelayan. Sebagian lainnya bermata pencarian sebagai petani, dimana sekitar 2-3 km dari pesisir pantai banyak hutan yang digunakan untuk bercocok tanam.

Desa Sumberasri merupakan bagian dari wilayah Kabupaten Banyuwangi, tepatnya 50 km arah selatan dari Kota Banyuwangi, dan merupakan bagian atau salah satu wilayah desa dari Kecamatan Purwoharjo dan letak Desa Sumberasri sekitar 8 km arah selatan dari Kecamatan Purwoharjo.

Adapun batas-batas Desa Sumberasri, sebelah barat berbatasan dengan Desa Grajagan, sebelah selatan berbatasan dengan Samudra Indonesia, wilayah timur

berbatasan dengan Desa Purwoagung dan Purwoasri Kecamatan Tegaldlimo, dan sebelah utara berbatasan dengan Desa Glagahagung.

Lokasi tersebut merupakan lokasi pemukiman warga, lahan pertanian juga daerah pariwisata. Desa Sumberasri merupakan salah satu daerah yang memiliki kualitas air asin. Hal ini berbeda dengan daerah lain yang memiliki kualitas air tawar yang baik dan layak konsumsi, sehingga menyebabkan warga sekitar tempat penelitian kesulitan untuk menemukan air layak konsumsi.

Beberapa temuan didapati beberapa sumur yang lokasinya berdekatan satu sama lain, namun memiliki perbedaan (jika dilihat dari fisiknya; rasa). Terdapat beberapa sumur yang jika diambil airnya berasa asin tetapi di sumur lain ditemukan juga sumur yang airnya tidak berasa (tawar).

Daerah tempat penelitian ini termasuk daerah yang didominasi dengan daerah pesisir pantai. Sehingga memungkinkan terjadinya intrusi atau rembesan air laut ke dalam akuifer. Di daerah pesisir, penurunan airtanah menyebabkan intrusi atau rembesan air laut ke daratan karena tekanan airtanah menjadi lebih kecil dibandingkan tekanan air laut. Migrasi air laut ke daratan merupakan salah satu faktor yang dapat mengganggu kualitas airtanah. Air bersih yang diperoleh dari airtanah yang mulanya memiliki kualitas air bersih layak konsumsi mengalami penurunan kualitas karena sudah terkontaminasi dengan air laut. Selain adanya penurunan kualitas air layak konsumsi. Sehingga perbedaan rasa air dari temuan pada sumur-sumur tersebut diindikasikan terjadi akibat intrusi air laut.

Fenomena alam ini dijelaskan dengan gamblang dalam firman Allah SWT, surat Al-Furqon ayat 53:

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَحْجُورًا ﴿٥٣﴾

“Dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit, dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi”. (Q.S: Al-Furqon, 53).

Intrusi air laut adalah salah satu fenomena alam yang menunjukkan bukti bahwa air laut dan air tawar tidak bisa bercampur atau bersatu. Hal ini terdapat firman Allah SWT pada kata (مرج) yang berarti “mengalir (berdampingan)” dimana dalam konteks tersebut berdampingan berarti tidak bergabung atau menyatu. Selain itu, pada kalimat (وجعل بينهما برزخا و حجرا محجورا) yang berarti “dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi”, menunjukkan bahwa Allah SWT dengan kuasa-Nya menjadikan kedua air tersebut tidak bisa menyatu karena terdapat pembatas diantara keduanya.

Daerah penelitian yang merupakan daerah dekat dengan pesisir pantai menjadi salah satu penyebab perbedaan kuantitas dan kualitas air yang dibutuhkan oleh warga sekitarnya. Tidak hanya itu saja, dominasi pantai dan perbedaan struktur geologi di Banyuwangi Selatan tepatnya Desa Sumberasri Kecamatan Purwoharjo juga menyebabkan perbedaan kandungan air yang dikonsumsi warga sekitar, sehingga banyak warga sekitar terutama warga daerah penelitian dalam mendapatkan air layak konsumsi sangat terbatas karena sulitnya mencari sumber air.

Berdasarkan tafsir ayat diatas dan beberapa hal yang mendasarinya perlu dilakukannya penelitian tentang “Penyelidikan Rongga Bawah Tanah di Sekitar Sumur Pemukiman Warga dengan Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) (Studi Kasus desa Sumberasri Kecamatan Purwoharjo Kabupaten Banyuwangi)”

sebagai survey pendahuluan pengamatan gejala intrusi air laut. Dengan harapan setelah dilakukannya penelitian ini, dapat dilakukan penelitian lanjutan, sehingga masyarakat sekitar dapat dengan mudah memilih daerah-daerah yang bisa mendapatkan sumber air tawar yang layak konsumsi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana citra GPR melihat rongga bawah tanah?
2. Apakah ada rongga bawah tanah yang menyatakan hubungan pola aliran air tanah pada sumur penelitian satu dengan yang lainnya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui citra penampang hasil scan GPR yang terindikasi terdapat rongga bawah permukaan.
2. Untuk mengetahui apakah ada rongga bawah tanah yang menyatakan hubungan pola aliran air tanah pada sumur penelitian satu dengan yang lainnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat, khususnya desa Sumberasri terkait rongga bawah permukaan di lokasi penelitian.

2. Sebagai survey pendahuluan untuk menentukan sebaran pola aliran intrusi dengan metode geofisika yang lain (seperti; Geolistrik)
3. Memberikan informasi kepada masyarakat terkait pola aliran air tanah yang terintrusi air laut.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka penelitian ini dibatasi oleh:

1. Lokasi penelitan terletak di desa Sumberasri, kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi.
2. Pengukuran dilakukan pada *line-line* yang telah dipetakan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi

Secara fisiografi daerah pemetaan termasuk Lajur Pegunungan Selatan Jawa Timur, Lajur Lembang Tengah Jawa dan Lajur Solo yang terdiri dari batuan gunungapi muda (Bemmelen, 1970), sedangkan menurut Nahrowi drr, 1978, bagian selatan daerah pemetaan termasuk dalam Tinggian Sukamade dan Rendahan Banyuwangi.

Geomorfologi daerah pemetaan dapat dibagi menjadi beberapa satuan, yaitu Pegunungan Gunungapi Tersier, Kerucut Gunungapi, Kaki Gunungapi, Karstt dan Dataran Aluvium.

Pegunungan gunungapi tersier, satuan ini membentang dari bagian baratdaya Lembar, meliputi Gunung Lembu (920 m), dan Gunung Lampong (800 m). pola aliran sungainya bersistem meranting, dengan lembah dalam, lebar hingga sempit. Batuan penyusunnya sangat tahan terdiri dari Formasi Batuampar yang dikuasai oleh lava basaltik-andesit.

Sebaran kerucut Gunungapi terbentang dibagian utara Lembar, hamper mencapai 40% luas Lembar, meliputi Gunung Raung, Gunung Suket, Gunung Pendil, Gunung Rante, Gunung Merapi, dan Gunung Ijen. Pola aliran sungai menunjukkan sistemnya memancar dengan lembah dalam dan sempit. Batuan penyusunnya berupa batuan gunungapi muda, hasil erupsi gunungapi tersebut

di atas, yang terdiri dari lava, breksi dan tuf. Pada umumnya daerah ini ditutupi oleh hutan tropika.

Sebaran Kaki Gunungapi terdapat di bagian tengah sampai selatan Lembar, umumnya merupakan dataran yang miring yang dijadikan pemukiman dan pesawahan. Aliran sungai di wilayah ini sejajar, dengan lembah lebar dan agak dalam, berbentuk U. Batuan penutupnya berupa endapan lahar, yang termasuk Formasi Kalibaru.

Sebaran karst terdapat di beberapa tempat yaitu Tanjung Sembulungan dan daerah Watudodol dan sekitarnya. Batuan penyusunnya terdiri dari batu gamping; di Tanjung Sembulungan tersusun oleh Formasi Punung, sedangkan di Watudodol dan sekitarnya tersusun oleh Batugamping Terumbu.

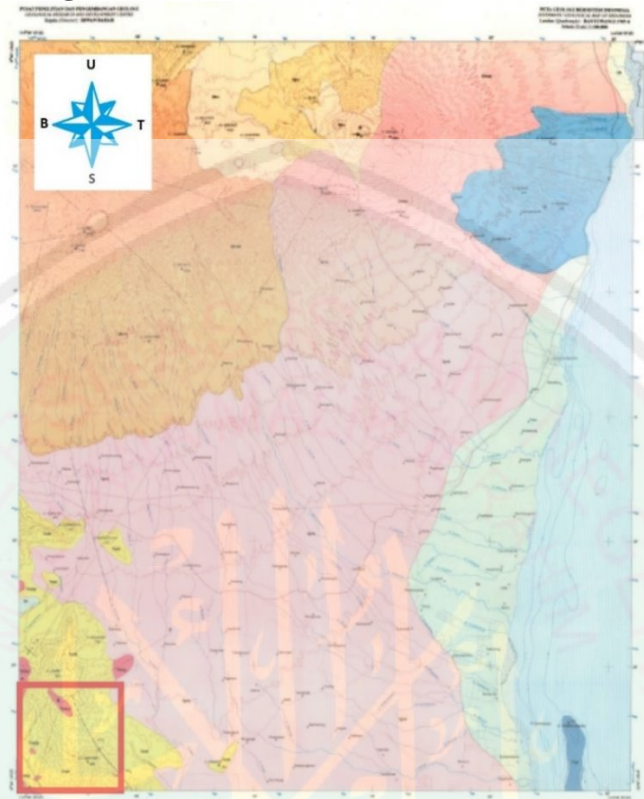
Dataran aluvium tersebar di sepanjang pantai timur, mulai dari Banyuwangi sampai Muncar. Pola aliran sungainya sejajar, dengan lembah lebar dan dangkal. Batuan penyusunnya terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lumpur.

2.1.2 Stratigrafi

Batuan tertua yang tersingkap di lembar ini adalah formasi Batuampar (Tomb), yang terdiri dari tuf, breksi gunungapi, batu gamping dan lava, berumur Oligosen – Miosen Tengah. Formasi Punung (Tmp) menjemari dengan bagian atas Formasi Batuampar. Formasi Punung tersusun oleh batugamping terumbu, batu gamping tufan atau napalan, berumur akhir Miosen Awal – Miosen Tengah.

Pada kala Plistosen terjadi kegiatan Gunungapi Ijen Tua (Qpvi), yang terdiri dari breksi gunungapi, breksi batuapung dan tuf, sedangkan endapan laharnya membentuk Formasi Kalibaru (Qpvk) yang tersusun oleh breksi lahar, konglomerat, batupasir dan tuf, yang berumur Plistosen Tengah. Kemudian diikuti kegiatan Gunungapi kompleks Raung, Suket dan Pendil (Qhv (r, p)), yang tersusun oleh tuf, breksi gunungapi dan lava, selanjutnya terjadi kegiatan Gunungapi Ranted an Gunungapi Merapi (Qv (r, m)), yang menghasilkan persilangan breksi gunungapi dan tuf dengan sisipan lahar dan lava, dan diakhiri dengan kegiatan Gunungapi Ijen Muda (Qhvi) yang menghasilkan tuf, breksi, lava dan belerang. Batugamping terumbu (Ql) yang terdiri dari batugamping terumbu, tuf dan aglomerat, menjemari dengan batuan hasil Gunungapi Merapi. Satuan termuda adalah Endapan Aluvium (Qa) yang berupa kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lempung. Batuan intrusi yang terdapat di daerah ini adalah Granodiorit (Tmi) (g) dan Andesit (Tmi) (a).

2.1.3 Data Geologi



Gambar 2.1 Lokasi Penelitian dan Peta Geologi Lembar Banyuwangi (Sidarto, 1993)

Banyuwangi adalah Kabupaten terluas di Jawa Timur. Luasnya 5.782,50 km² merupakan daerah kawasan hutan. Area kawasan hutan ini mencapai 183.396,34 ha atau 31,72%, persawahan sekitar 66.152 ha atau 11,44%, perkebunan dengan luas sekitar 82.143,63 ha atau 14,21%, permukiman dengan luas sekitar 127.454,22 ha atau 22,04%. Sisanya digunakan untuk jalan, ladang dan lainnya.

Daerah Banyuwangi banyak terdapat pantai, dan pantai di Banyuwangi mengelilingi wilayah Banyuwangi. Dari mulai ujung utara Banyuwangi hingga ujung paling Selatan Banyuwangi. Panjang garis pantai di Banyuwangi ialah sepanjang 175,8 km.

Kondisi geologi yang bervariasi di setiap wilayah, juga memiliki peran yang sangat besar bagi terbentuknya suatu bentukan lahan di wilayah tersebut. Jenis tanah di Kabupaten Banyuwangi berdasarkan struktur geologi terdapat berbagai susunan/struktur geologi seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Struktur Geologi Kabupaten Banyuwangi

Struktur Geologi	Luas	
	Ha	%
Alluvium	134.525,00	23,26
Hasil Gunungapi Kwarter muda	170.310,50	29,45
Hasil Gunungapi Kwarter	59.283,00	10,25
Andesit	47.417,75	8,20
Miosen falsel semen	89.177,25	15,42
Miosen falsel batu gamping	77.536,50	13,41

Sumber: Profil Kabupaten Banyuwangi 2013

Adapun keadaan jenis tanah Kabupaten Banyuwangi dapat terlihat pada tabel berikut:

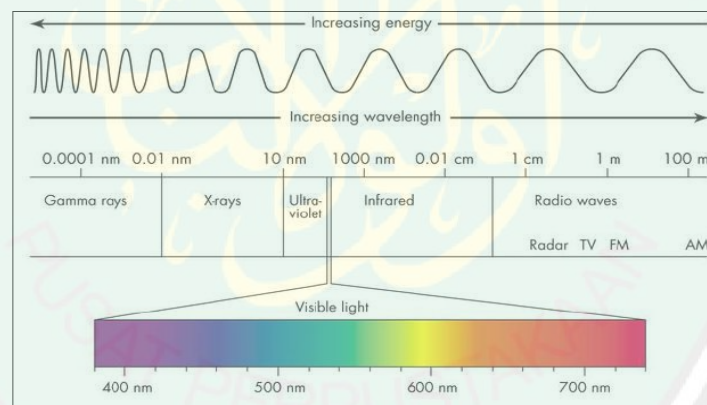
Tabel 2.2 Jenis Tanah Kabupaten Banyuwangi

Jenis tanah	Luas	
	Ha	%
Regosol	138.490,87	23,96
Lithosol	39.031,88	6,75
Lathosol	14.109,30	2,44
Padsolik	384.684,75	60,3
Gambut	37.433,70	6,55

Sumber: Profil Kabupaten Banyuwangi 2013

2.2 Gelombang Elektromagnetik

Hal yang paling mendasar dalam penelitian ini adalah masalah gelombang. Definisi gelombang adalah sebuah getaran yang merambat dalam ruang dan waktu. Gelombang elektromagnetik yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam spektrum gelombang mikro. Dalam suatu sistem radar, gelombang mikro dipancarkan 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 Bahri, 2009).



Gambar 2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Muhyi dalam Bahri, 2009).

Gelombang elektromagnet mempunyai prinsip dasar dari persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell terdiri dari empat persamaan. Persamaan persamaan Maxwell menjelaskan bagaimana medan listrik dan medan magnet dapat terjadi. Persamaan-persamaan tersebut adalah (Griiffiths, 1999 dalam Muhyi, 2005):

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

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

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

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

Dimana:

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 (tesla)

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

μ = permeabilitas magnetik

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

Hukum Gauss menerangkan bagaimana muatan listrik dapat menciptakan dan mengubah medan listrik. Medan listrik cenderung untuk bergerak dari muatan positif ke muatan negatif. Hukum Gauss adalah penjelasan utama mengapa muatan yang berbeda jenis saling tarik menarik dan yang sama jenisnya saling tolak menolak. Muatan-muatan tersebut menciptakan medan listrik yang ditanggapi oleh muatan lain melalui gaya listrik. Hukum Gauss untuk magnetisme memiliki perbedaan dengan Hukum Gauss untuk listrik. Dalam hal ini tidak ada partikel “kutub utara” atau “kutub selatan”. Kutub-kutub utara dan kutub-kutub selatan selalu saling berpasangan. Hukum induksi Faraday mendeskripsikan bagaimana dengan mengubah medan magnet dapat tercipta medan listrik. Ini merupakan prinsip operasi dari generator listrik. Gaya mekanik (seperti yang

ditimbulkan oleh air pada bendungan) memutar sebuah magnet besar, dan perubahan medan magnet ini menciptakan medan listrik yang mendorong arus listrik yang kemudian disalurkan melalui jala-jala listrik. Hukum Ampere menyatakan bahwa medan magnet dapat ditimbulkan melalui dua cara: yaitu lewat arus listrik (perumusan awal hukum Ampere) dan dengan mengubah medan listrik (tambahan Maxwell) (Supriyanto, 2007).

2.3 Gelombang Radar

Ayat-ayat di bawah ini merujuk pada sifat-sifat mulia diberikan pada Nabi Daud as dan Sulaiman as. Mereka dianugerahi ilmu oleh Allah swt. Ilmu ini juga menjadi acuan untuk teknologi radar masa kini, yang bekerja dengan pantulan gelombang elektromagnetik.

وَلَقَدْ آتَيْنَا دَاوُودَ مِنَّا فَضْلًا ۗ يَا جِبَالُ أَوِّبِي مَعَهُ وَالطَّيْرَ ۗ وَأَلْنَا لَهُ الْحَدِيدَ ۗ (١٠)

"Dan sungguh, telah kami berikan kepada Daud karunia dari Kami (Kami berfirman) "Wahai gunung-gunung dan burung-burung! Bertasbihlah berulang-ulang bersama Daud, dan Kami telah melunakkan besi untuknya". (QS. Saba :10)

فَفَهَّمْنَاهَا سُلَيْمَانَ ۗ وَكُلًّا آتَيْنَا حُكْمًا وَعِلْمًا ۗ وَسَخَّرْنَا مَعَ دَاوُودَ الْجِبَالَ يُسَبِّحْنَ وَالطَّيْرَ ۗ وَكُنَّا فَاعِلِينَ (٧٩)

"Kami memberikan pemahaman kepada Sulaiman (tentang hukum-hukum yang lebih tepat). Dan kepada masing-masing kami berikan hikmah dan ilmu, dan Kami tundukan gunung-gunung dan burung-burung, semua bertasbih bersama Daud. Dan Kamilah yang melakukannya." (QS. Al-Anbiya: 79)

فَسَخَّرْنَا لَهُ الرِّيحَ بَجْرِي بِأَمْرِهِ رُخَاءً حَيْثُ أَصَابَ (٣٦)

"Maka Kami menundukkan angin kepadanya untuk berhembus dengan lembut, di mana pun ia diarahkan." (QS. Shad, 36)

Kata "أَوْبِي" dalam ayat QS. Saba' ayat 10, diterjemahkan "*kembali atau pengulangan suara,*" mengingatkan akan gema berbasis teknologi radar. Radar merupakan perangkat yang digunakan untuk menentukan lokasi, kecepatan dan arah benda bergerak atau diam, dan bekerja dengan merefleksikan gelombang mikro.

Prinsip operasi dari radar beruang mirip dengan pantulan suara. Misalnya, seseorang berteriak di lembah atau gua, mendengar suaranya sendiri yang dipantulkan kembali kepadanya. Jika kita tahu bagaimana cepatnya perjalanan suara melalui udara, kita dapat menghitung jarak dan arah umum dari objek yang memantul. Dalam sistem radar, sinyal energi elektromagnetik digunakan dalam berbagai cara yang sama. Sinyal dengan frekuensi gelombang mikro yang dipancarkan ke obyek dan kemudian kembali setelah dipantulkan olehnya. Bagian sinyal yang mengembalikan ke radar inilah yang disebut "gema." Perangkat radar menggunakan gema ini untuk menentukan arah dan jarak dari obyek untuk melakukan refleksi. Radar menggunakan energi yang dipantulkan, dikenal sebagai "gema," daripada energi langsung dikirimkan sebagai sinyal. Sinyal yang terefleksi diubah menjadi nilai numerik oleh penerima radar dan dicatat sebagai data "Echo Store." selanjutnya, data diolah dan dikonversi menjadi gambar.

Penggunaan kata kerja bahasa Arab "*Alanna,*" yang berarti "*Kami melunakkan,*" dalam ayat 10 Surat Saba' sangat bijaksana. Karena besi masih digambarkan sebagai lembut, atau lunak, meskipun secara fisik sangat keras. Ini berupa besi, yang dikenal sebagai "besi magnetik lunak" kerana sifat magnetik yang terutama digunakan dalam radar dan teknologi satelit. Besi lunak digunakan untuk

untuk memperkuat medan magnet dan dapat dibuka dan ditutup sesuai keinginan. “*Angin diberitahu untuk meniup pada perintah-Nya—*” seperti yang dikatakan Nabi Sulaiman as dalam ayat 36 dari Surat Shad, mungkin menjadi acuan untuk sinyal elektromagnetik yang ditransmisikan seperti yang diinginkan melalui udara untuk penggunaan besi lunak.

Dalam keilmuan masa kini, radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak dan membuat map benda-benda seperti pesawat terbang, kendaraan bermotor dan informasi cuaca. Gelombang radio yang dipancarkan dari suatu benda dapat ditangkap oleh radar kemudian dianalisa untuk mengetahui lokasi dan bahkan jenis benda tersebut. Walaupun sinyal yang diterima relatif lemah, namun radar dapat dengan mudah mendeteksi dan memperkuat sinyal tersebut.

2.4 Ground Penetrating Radar (GPR)

Ground Penetrating Radar (GPR) biasa disebut georadar. Georadar berasal dari dua kata yaitu geo yang berarti bumi dan radar singkatan dari radio detection and ranging. Jadi, arti harfiahnya adalah alat pelacak bumi menggunakan gelombang radio. *Ground Penetrating Radar* (GPR) merupakan teknik eksplorasi geofisika yang menggunakan gelombang elektromagnetik, bersifat *non-destruktif* dan mempunyai resolusi yang tinggi terhadap kontras dielektrik material dan formasi geologi yang relatif dangkal. *Ground Penetrating Radar* menggunakan sumber gelombang elektromagnetik yang berupa radar (*Radio Detection and Ranging*). Pulsa yang dibangkitkan berupa pulsa bertenaga

tinggi yang dipancarkan pada waktu yang sangat pendek. Gelombang elektromagnetik dipancarkan ke tanah oleh *transmitter* melalui antena sehingga pulsa radar mengenai dan menembus tanah lalu sinyal yang terpantul dari tanah diterima oleh *receiver*. Berdasarkan waktu perjalanan pulsa radar maka dapat diperhitungkan jarak objek, dan berdasarkan intensitas tenaga baliknya maka dapat ditaksirkan jenis objek yang berada di dalam tanah. Intensitas atau kekuatan pulsa radar yang diterima kembali oleh sensor menentukan karakteristik spektral objek citra radar. Intensitas atau kekuatan tenaga pantulan pada citra radar dipengaruhi sifat objek dan sifat sistem radarnya. Sifat objek sebagai salah satu faktor penentu intensitas atau kekuatan tenaga pantulan pada citra radar. Sifat objek dipengaruhi oleh (Supriyanto, 2007):

1. Lereng permukaan secara makro (topografi) menyebabkan perbedaan rona karena perbedaan arah menghadap ke sensor.
2. Kekasaran permukaan yang menyebabkan perbedaan pantulan pulsa radar.
3. Perbedaan kompleks.

Radiasi elektromagnetik yang direfleksikan material bergantung pada kontras konstanta dielektrik relatif perlapisan-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 (Astutik, 1997).

Amplitudo koefisien refleksi diberikan oleh persamaan berikut:

$$R = \frac{(V_1 - V_2)}{(V_1 + V_2)} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (2.5)$$

dengan V_1 dan V_2 adalah kecepatan gelombang radar pada lapisan 1 dan 2 ($V_1 < V_2$) dan ϵ_1, ϵ_2 adalah konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) dari lapisan 1 dan lapisan 2 (Astutik, 1997).

Kecepatan gelombang radar dalam beberapa medium tergantung pada kecepatan cahaya di udara ($c = 300 \text{ mm/ns}$), konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) dan permeabilitas magnetik relatif ($= 1$ untuk material non magnetik). Selain itu kecepatan radar tergantung pada jenis bahan dan merupakan fungsi dari permitivitas relatif bahan. Kecepatan gelombang radar dalam material (V_m) diberikan oleh persamaan berikut (Reynolds, 1997 dalam Astutik, 1997):

$$V_m = \frac{c}{[(\epsilon_r \mu_r / 2)(1 + P^2) - 1]^{1/2}} \quad (2.6)$$

Dimana:

$c = 300 \text{ mm/ns}$ = Kecepatan cahaya di udara

ϵ_r = Konstanta dielektrik relatif

μ_r = Permeabilitas magnetik relatif

$P = \sigma / \omega \epsilon$ (*loss factor*)

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

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/ns} \quad (2.7)$$

Di bawah ini merupakan rentang harga kecepatan gelombang radar beberapa material yaitu:

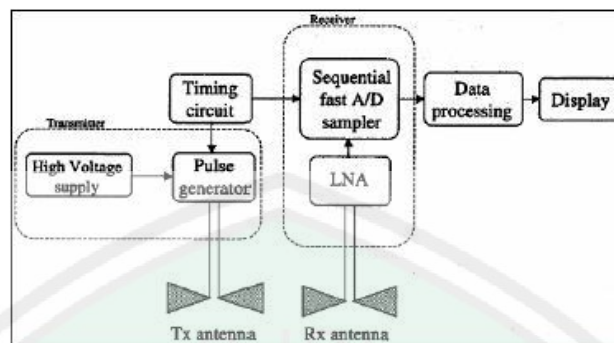
Tabel 2.3 Kecepatan dan Konstanta Dielektrik Berbagai Medium

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

Sumber: Astutik, 1997

2.4.1 Prinsip Kerja GPR

Prinsip dasar GPR ini tidak jauh berbeda dengan metode seismik refleksi yang telah berkembang luas penggunaannya di berbagai bidang seperti: konstruksi dan rekayasa, pencarian benda-benda arkeologi, untuk melihat kondisi geologi bawah permukaan dan masalah lingkungan. Sistem GPR terdiri atas pengirim (*transmitter*), yaitu antena yang terhubung ke sumber pulsa (generator pulsa) dengan adanya pengaturan *timing circuit*, dan bagian penerima (*receiver*), yaitu antena yang terhubung ke LNA dan ADC yang kemudian terhubung ke unit pengolahan (*data processing*) serta *display* sebagai tampilan outputnya (Lighthart, 2004 dalam Bahri, 2009).



Gambar 2.3 Sistem GPR (Lighthart dalam Bahri, 2009)

Berdasarkan blok diagram tersebut masing-masing blok mempunyai fungsi yang cukup penting dan saling ketergantungan. Hal ini dikarenakan GPR merupakan suatu sistem mulai dari penghasilan pulsa pada pulse generator lalu melewati blok-blok yang ada kemudian sampai pada blok *display* dimana kita dapat melihat bentuk dan kedalaman objek yang dideteksi. Namun dalam hal ini antena memegang peranan yang sangat penting karena menentukan unjuk kerja dari sistem GPR itu sendiri. Adapun faktor yang berpengaruh dalam menentukan tipe antena yang digunakan, sinyal yang ditransmisikan, dan metode pengolahan sinyal yaitu (Daniel, 1996 dalam Bahri, 2009):

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

Dari proses pendeteksian seperti di atas, maka akan didapatkan suatu citra dari letak dan bentuk objek yang terletak di bawah tanah atau dipermukaan tanah. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus

memenuhi empat persyaratan sebagai berikut (Daniel, 1996 dalam Bahri, 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.



Gambar 2.4 Konsep Akuisisi Data (Astutik dalam Bahri, 2009)

Pada dasarnya GPR bekerja dengan memanfaatkan pemantulan sinyal. Semua sistem GPR pasti memiliki rangkaian pemancar (*transmitter*), yaitu sistem antena yang terhubung ke sumber pulsa, dan rangkaian penerima (*receiver*), yaitu sistem antena yang terhubung ke unit pengolahan sinyal. Rangkaian pemancar akan menghasilkan pulsa listrik dengan bentuk *prf* (*pulse repetition frequency*), energi, dan durasi tertentu. Pulsa ini akan dipancarkan oleh antena ke dalam tanah. Pulsa ini akan mengalami atenuasi dan cacat sinyal lainnya selama perambatannya di tanah. 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 antenna 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. Jika selang waktu dinyatakan dalam t , dan kecepatan propagasi gelombang elektromagnetik dalam tanah v , maka kedalaman objek yang dinyatakan dalam h adalah (Bahri, 2009):

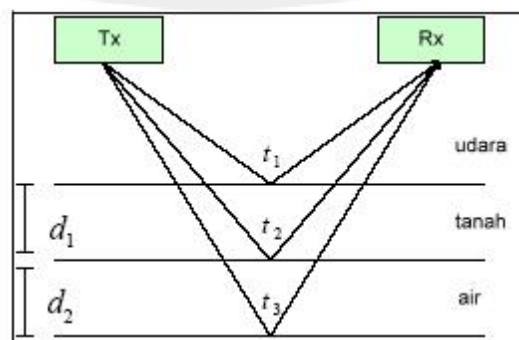
$$h = \frac{1}{2}tv \quad (2.8)$$

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 2.5 Ketebalan Beberapa Medium Dalam Tanah (Bahri, 2009)

Jika konstanta dielektrik medium semakin besar maka kecepatan gelombang elektromagnetik yang dirambatkan akan semakin kecil. *Pulse Repetition Frequency (prf)* merupakan nilai yang menyatakan seberapa seringnya pulsa radar diradiasikan ke dalam tanah. Penentuan *prf* dilandasi dengan kedalaman maksimum yang ingin dicapai. Semakin dalam objek, maka *prf* juga semakin kecil karena waktu tunggu semakin lama. 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 merupakan frekuensi rendah maka kedalaman penetrasinya akan semakin dalam tetapi memiliki resolusi yang rendah bila dibanding saat kita menggunakan frekuensi tinggi. Untuk menentukan *skin depth* dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Astutik, 1997):

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_0}} \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (2.11)$$

Dimana:

δ = *skin depth* (meter)

ρ = resistivitas ($\Omega \cdot m$)

f = frekuensi (Hz)

μ_r = permeabilitas relatif (H/m)

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

Kemampuan penetrasi GPR tergantung pada frekuensi sinyal, efisiensi radiasi antenna dan sifat dielektrik material. Sinyal radar dengan frekuensi yang tinggi akan menghasilkan resolusi yang tinggi dengan kedalaman penetrasinya terbatas, sebaliknya sinyal radar dengan frekuensi rendah akan menghasilkan penetrasi kedalaman yang jauh tetapi resolusinya rendah (Arcone, 1984).

Frekuensi gelombang radar yang dipancarkan dapat diatur dengan mengganti antenna. Dimensi antenna bervariasi dengan frekuensi gelombang radar, sebagai misal antenna 1 Ghz berukuran 30 cm sedangkan antenna 25 MHz mempunyai panjang 6 m (Astutik, 2001). Pemilihan frekuensi yang digunakan tergantung pada ukuran target, aproksimasi range kedalaman dan aproksimasi maksimum kedalaman penetrasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3.

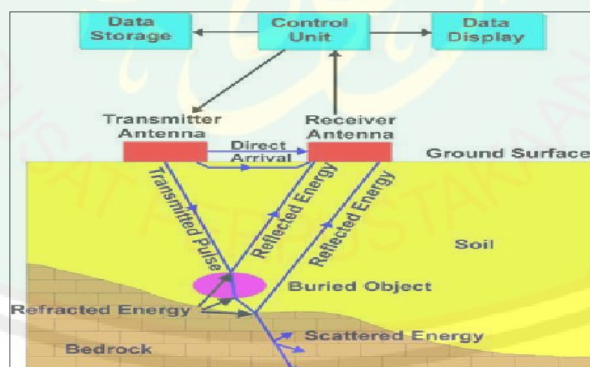
Tabel 2.4 Resolusi dan daya tembus gelombang radar

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

Sumber: Astutik Mala Geoscience, 1997

Aplikasi GPR dapat dibagi dalam 2 klasifikasi berdasarkan pada frekuensi antenna. Untuk aplikasi geologi, antenna dengan frekuensi < 500 MHz banyak digunakan karena penetrasi kedalaman lebih diutamakan dibandingkan dengan resolusinya. Untuk geoteknik, frekuensi yang digunakan lebih besar dari 500 MHz atau sekitar 1 GHz. Sebagai contoh penggunaan GPR untuk meneliti objek-objek yang terbuat dari logam atau bahan yang mengandung logam (metalik) menggunakan frekuensi antenna sebesar 1000 MHz atau 1 GHz. Frekuensi ini tergolong tinggi sehingga memberikan resolusi yang tinggi pula, tetapi kedalaman penetrasinya terbatas. Untuk frekuensi observasi 1 GHz, objek metallic yang mampu diidentifikasi dengan baik berkedalaman hanya 20 cm hingga 40 cm dengan ketebalan dalam beberapa cm saja (Astutik, 1997).

Gambar 2.6 Akuisisi Data GPR (Astutik, 1997)



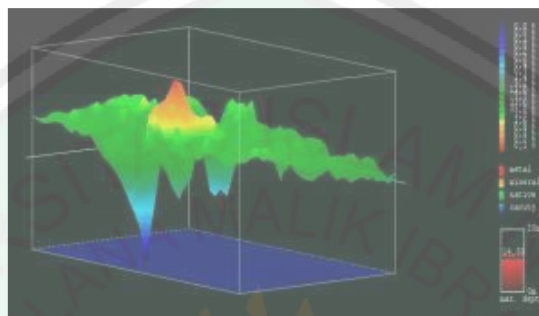
GPR secara berkala memancarkan gelombang elektromagnetik ke bawah permukaan bumi, dan pantulannya ditangkap oleh antenna penerima. Hasil tangkapan ini direkam oleh GPR, dan hasilnya berupa gambar (*image*). Dalam paket software Future Series 2005 objek bawah permukaan yang diamati akan ditampilkan dalam bentuk display berupa variasi warna yang

merepresentasikan struktur bawah permukaan pada lokasi tersebut. Tahapan untuk memperoleh display data diawali dengan memancarkan sinyal dari transmitter ke objek yang dituju dan setelah melewati struktur bawah permukaan sinyal tersebut akan memantul kemudian diterima oleh receiver (prinsip gelombang seismik). Data yang diterima oleh receiver selanjutnya diteruskan ke control unit kemudian control unit melakukan pengolahan sinyal yang diterima kemudian mengubahnya dalam bentuk display gambar (Astutik, 1997).

GPR Future Series 2005 mempunyai beberapa perbedaan dengan GPR konvensional pada umumnya yaitu pada 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. Dan pengukuran dilakukan berulang-ulang kemudian hasilnya digabungkan lalu dilakukan pengolahan data lanjutan (Chamberlain, 2000 dalam Bahri, 2009).

Apabila GPR Future Series 2005 dibawa berjalan (menurut garis lurus), gambar yang dihasilkan akan membentuk pola-pola tertentu, bergantung kepada objek yang ditumbu oleh impuls elektromagnetik itu dan waktu tempuh sinyal (yang bergantung kepada kedalaman objek). Berikut ini adalah contoh

gambar keluaran dari GPR Future Series 2005 beserta sedikit penjelasan tentang pola-pola gambar di dalamnya, yang disebut sebagai difraksi (Astutik, 1997 dalam Bahri, 2009).



Gambar 2.7 Output GPR (Astutik, 1997 dalam Bahri, 2009)

Sumbu horizontal adalah sampling impuls yang dipancarkan. Sumbu vertikal adalah jarak kedalaman atau waktu tempuh sinyal impuls dari pemancar ke penerima. GPR memiliki keterbatasan kehandalan operasi hanya sampai beberapa meter di bawah permukaan. Semakin konduktif objek yang ditumbu, maka akan semakin jelas sinyal yang ditangkap. Kabel listrik adalah tembaga yang berkonduktivitas sangat baik, sehingga akan memberikan pola yang jelas pada gambar keluaran GPR. Pada contoh gambar tersebut ada anomali yang ditunjukkan oleh warna kuning yang menunjukkan adanya mineral di daerah tersebut. Anomali lainnya ditunjukkan oleh warna biru. Warna biru menunjukkan pada kita bahwa daerah yang yang kita jadikan objek penelitian memiliki zona cavity atau zona kosong (Astutik, 1997 dalam Bahri, 2009).

2.4.2 Parameter Antena GPR

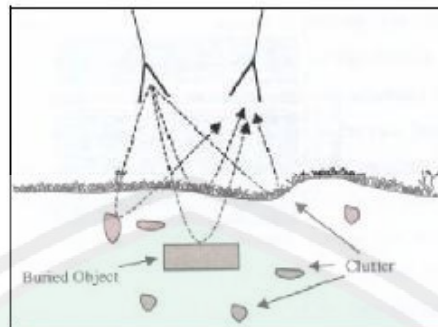
Peranan antena dalam aplikasi GPR sangat penting dalam menentukan performansi sistem. Pada prinsipnya, kriteria umum untuk sistem antena impuls GPR harus mempertimbangkan kopling yang baik antara antena dengan tanah. Antena GPR biasanya beroperasi dekat dengan tanah (permukaan tanah) maka harus dapat mengirimkan medan elektromagnetik melalui *interface* antena tanah secara efektif. Akan tetapi, ketika antena diletakan dekat dengan tanah, interaksi antena tanah akan berpengaruh besar terhadap impedansi input antena, bergantung jenis tanah dan elevasi antenanya (Turner,1993 dalam Bahri, 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, antenna untuk aplikasi GPR harus memperhatikan beberapa hal yaitu (Telford, 1990):

1. Late time ringing

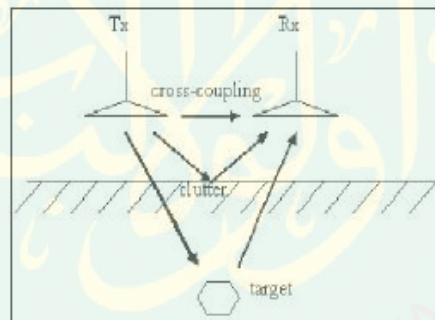
Antena GPR harus mampu meminimalkan *late time ringing* yang disebabkan oleh refleksi internal terhadap benda-benda (*clutter*) disekitar target yang mengakibatkan efek masking terhadap objek yang dideteksi. *Late time ringing* merupakan osilasi yang mengikuti pulsa yang dikirimkan. Osilasi ini dapat mengaburkan sinyal yang dipantulkan oleh objek sehingga menyulitkan untuk dilakukan proses deteksi. Ada berbagai cara untuk mengurangi late time ringing khususnya dari penggunaan antenna dipole yaitu dengan penggunaan *lumped resistor*. Hal ini sesuai dengan metode *Wu King*. Namun, penggunaan metode ini sesuai untuk antenna dipole yang dibuat pada PCB (*Printed Circuit Board*). Untuk antenna wire dipole, hal ini bisa diatasi dengan meletakkan antenna tepat di atas permukaan tanah karena sifat lossy dielektrik tanah tersebut mampu meredam sifat ringing dari antenna wire dipole, sehingga sinyal tersebut dapat dianalisa dengan akurat (Telford, 1990).



Gambar 2.8 *Late Time Ringing* (Telford, 1990)

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, 1990).



Gambar 2.9 *Cross-Coupling* (Telford, 1990)

Untuk memaksimalkan pada target yang dideteksi maka antara antena pengirim dan penerima harus dipisahkan dengan jarak berdasarkan rumus berikut ini (Telford, 1990):

$$S = \frac{2depth}{\sqrt{K}-1} \quad (2.12)$$

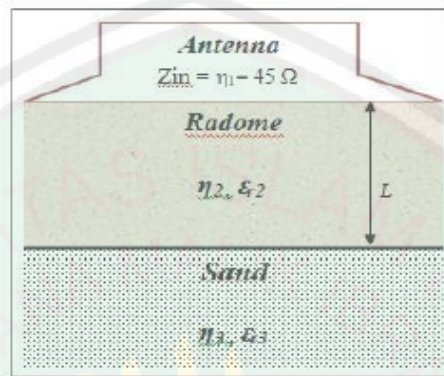
Keterangan :

S = Jarak antar antena pemancar dengan penerima

K = Konstanta propagasi (ϵ_r)

Depth = Kedalaman penetrasi antenna

3. Jarak Antena dengan Tanah



Gambar 2.10 Jarak Antena dengan Tanah (Telford, 1990)

$$\eta_{Udara} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \Omega \quad (2.13)$$

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

$$\eta_2 = \sqrt{\eta_1 \eta_3} \quad (2.15)$$

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 dipisahkan oleh *radome*

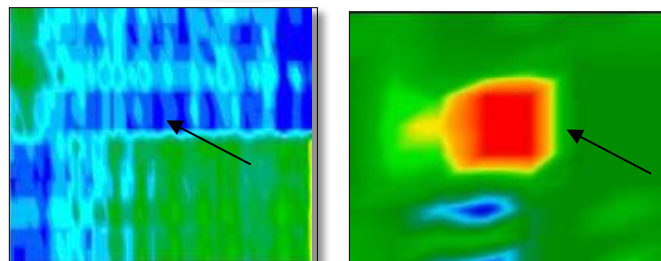
Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan data jarak antenna dengan tanah dengan berbagai variasi permitivitas (Telford, 1990).

Tabel 2.5 Data Jarak Antena dengan Tanah dengan Berbagai Variasi Permitivitas

Permitivitas 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

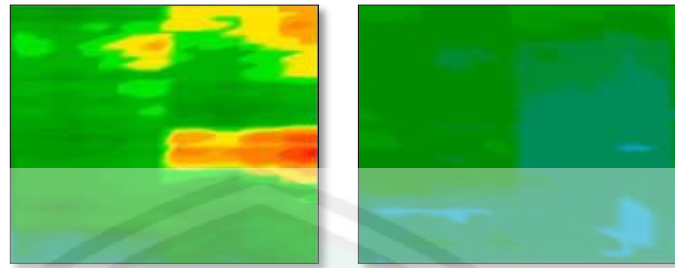
Sumber: Telford, 1990

Saat antenna diletakkan dekat dengan tanah, interaksi antenna tanah sangat berpengaruh terhadap impedansi input antenna, bergantung jenis tanah dan elevasi antenanya. Pada paket software Future 2005 jenis-jenis tanah dapat terlihat dari pola warna yang muncul pada penampang data seismik dari hasil pengambilan data. Sebagai contoh saat pengambilan data di daerah karst di dinding gua Seropan pola-pola warna yang muncul bisa digambarkan sebagai berikut (Astutik, 1997 dalam Bahri, 2009):



(a)

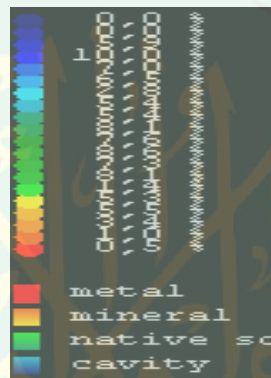
(b)



(c)

(d)

Gambar 2.11: (a) *Cavity Area*, (b) *Metal*, (c) *Dry Karstt*, (d) *Wet Karstt*
(Astutik dalam Bahri, 2009)



Gambar 2.12 Struktur dan Jenis Objek Digolongkan Berdasar Variasi Warna pada Output GPR Future Series 2005 (Astutik dalam Bahri, 2009)

Warna biru pada *display* gambar menunjukkan *cavity area* (daerah rongga). Warna merah yang membentuk pola tertentu seperti pada gambar 2.11 ((a) *Cavity Area*) yang membentuk kubus menunjukkan adanya logam di daerah tersebut. Warna kuning menunjukkan daerah tersebut adalah daerah kering sedangkan warna kuning kemerah-merahan menunjukkan adanya mineral pada daerah tersebut. Dan warna hijau yang agak gelap menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah basah. 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 dan resistivitasnya semakin besar (Astutik, 1997 dalam Bahri, 2009).

2.4.3 Akuisisi Data GPR

Ada tiga cara penggunaan system radar, yaitu: *reflection profiling* (antenna monostatik ataupun bistatik), *wide-angle reflection and refraction* (WARR) atau *common-mid point* (CMP) *sounding*, dan *transillumination* atau *radar tomography*. Pemilihan cara tersebut diatas diatas tergantung kepada tujuan survey.

1. Radar Reflection Profiling

Cara ini dilakukan dengan membawa antena radar bergerak bersamaan diatas permukaan tanah di mana nantinya hasil tampilan pada radargram merupakan kumpulan tiap titik pengamatan.

2. Wide Angle Reflection and Refraction (WARR) atau Common Mid-point

Cara *Wide Angle Reflection and Refraction* (WARR) *Sounding* ini dilakukan dengan menaruh *transmitter* pada posisi yang tetap dan *receiver* dibawa pada area penyelidikan (Gambar). WARR *Sounding* diterapkan pada kasus dimana bidang reflektor relative datar atau memiliki kemiringan yang rendah, karena asumsi ini tidak selalu benar pada kebanyakan kasus maka digunakan *CMP Sounding* kedua antena bergerak menjauhi satu sama lainnya dengan titik tengah pada posisi yang tetap.

3. *Transillumination* atau *Radar Tomography*

Metode ini dilakukan dengan meletakkan *transmitter* dan *receiver* pada posisi yang berlawanan. Sebagai contoh jika *transmitter* diletakkan pada satu

sisi, maka *receiver* diletakkan pada sisi yang lain dan saling berhadapan. Umumnya metode ini digunakan pada kasus *non-destructive testing* (NDT) dengan menggunakan frekuensi antenna yang tinggi sekitar 900 MHz.

Pemilihan frekuensi antenna ditentukan oleh tujuan survey yaitu tergantung pada kedalaman atau resolusi yang dibutuhkan dan kondisi material setempat. Semakin tinggi resolusi yang dibutuhkan maka frekuensi antenna yang digunakan semakin tinggi.

Tabel 2.6 Penentuan frekuensi antenna yang digunakan

Frekuensi Antenna (MHz)	Ukuran Target (m)	Batas Kedalaman (m)	Kedalaman Penetrasi Maksimum (m)
25	≥ 1	5 – 30	35 – 60
50	≥ 0.5	5 – 20	20 – 30
100	0.1 – 1.0	2 – 15	15 – 25
200	0.05 – 0.50	1 – 10	5 – 15
400	≈ 0.05	1 – 5	3 – 10
1000	Cm	0.05 – 2	0.5 – 4

Sumber: Lehmann dan Green, 1999.

Tabel 2.7 Rekomendasi penggunaan sampling frekuensi

Frekuensi Antenna (MHz)	Rekomendasi Sampling Frekuensi (MHz)	Rekomendasi Trace Interval (m)
25	150 – 600	0.30 – 0.75
50	400 – 800	0.20 – 0.50
100	800 – 1800	0.10 – 0.30
200	1600 – 3500	0.03 – 0.10
400	3200 – 5000	0.02 – 0.10
1000	25000 – 110000	0.01 – 0.05

Sumber: Lehmann dan Green, 1999

2.4.4 Processing Data GPR

Terkadang terdapat beberapa komponen yang dapat merusak sinyal yang diperlukan, sinyal-sinyal ini menyebar secara acak. Oleh karena itu, sinyal tersebut harus dihilangkan untuk meningkatkan mutu hasil pencitraan (Daniels, 1996). Sehingga digunakan beberapa *sekuen filtering* dalam penerapannya. *Sekuen filtering* yang akan digunakan untuk pengolahan data GPR ini antara lain:

1. Static Correction

Proses filtering pertama kali adalah *static correction*, filter ini digunakan untuk setiap *trace*, tidak bergantung satu sama lain. Filter ini digunakan untuk mengoreksi data terhadap elevasi dan waktu tempuh gelombang akibat pengurangan kecepatan.

2. Subtract-mean (dewow)

Dewow merupakan salah satu noise frekuensi rendah yang terekam oleh system. Hal ini terjadi karena instrument elektronik tersaturasi oleh nilai amplitudo besar dari gelombang langsung dan gelombang udara (Van Overmeeran, 1997).

3. Gain

Filter ini digunakan karena pada lapisan tanah, frekuensi tinggi diserap lebih cepat dibandingkan dengan frekuensi rendah dan terjadi juga *spherical divergency*, yaitu gelombang yang menjalar berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat dari sumber dan hal ini sejalan dengan jarak dan waktu, maka untuk menghilangkannya dilakukan penguatan kembali amplitudo yang hilang

sehingga seolah-olah di setiap titik energinya sama. Tampilan setelah *static correction* merupakan *manual gain* yang menggunakan proses *energy decay* (Pasasa, 2011).

4. Background Removal

Proses pengolahan data dilanjutkan dengan *filter background removal* yang bertindak atas angka terpilih dari lintasan. Filter satu mengurangi lintasan rata-rata (*tracorage*) yaitu memberi jarak jangkauan secara actual pada suatu bagian. Filter melaksanakan pembersihan latar belakang. Untuk itu, hal ini didefinisikan sebagai waktu/ pemberian jarak jangkauan rata-rata.

5. Bandpass Butterworth

Filter ini berfungsi untuk menghilangkan frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan sinyal horizontal (Hugenschmidt, dkk., 1997).

6. F-K filter

Proses terakhir yaitu *F-K filter*. *Filtering* ini berfungsi untuk membatasi area yang akan difilter, dimana amplitudo spektrum F-K yang terpilih akan memperlihatkan profil asli (Sandmeier, 2012).

2.4.5 Interpretasi GPR

Pekerjaan akhir dalam penyelidikan geofisika adalah menerjemahkan data-data sinyal yang telah diperoleh dari akuisisi untuk kemudian diplot ke dalam suatu bentuk konfigurasi agar dapat dibaca dan diambil kesimpulan, pekerjaan ini adalah interpretasi. Beberapa hal yang lazim diperhatikan dalam penginterpretasian adalah:

a. Interpretasi Grafik

Kecepatan gelombang dapat diketahui dengan berasumsi pada suatu konstanta dielektrik relatif yang mendekati atau sesuai dengan nilai material yang diselidiki, dengan cara demikian *two-way travel time (TWT)* dapat diterjemahkan menjadi kedalaman, dan jika ditambahkan dengan pengidentifikasian sinyal pantulan dari target (refleksi), maka peta *TWT* dapat dihasilkan guna menunjukkan kedalaman, ketebalan, per lapisan, dll. Dari sini dapat diketahui nilai sebenarnya dari kecepatan gelombang.

b. Analisa Kuantitatif

Dengan menggunakan beberapa analisa, kedalaman interpretasi sinyal juga kedalamam target atau reflektor dapat dideterminasi tergantung kepada cukup tidaknya nilai yang diketahui dari analisa kecepatan juga variasi konstanta dielektrik relatif material yang dilewati, juga kepada analisa amplitudo dan koefisien refleksi.

2.5 Akuifer

Akuifer merupakan lapisan batuan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air. Beberapa jenis batuan dapat berfungsi sebagai akuifer. Akuifer yang umum dijumpai di lapangan adalah endapan pasir, kerikil, kerakal dan bernagkal yang belum terlitifikasi lanjut. Selain itu, yang cukup baik berfungsi sebagai akuifer adalah batu pasir, juga batu gamping. Batuan sedimen yang lain misalnya serpih (shale), batu gamping pejal tak berongga bukan merupakan akuifer yang baik.

Kemampuan akuifer untuk menyimpan dan mengalirkan air dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas (Mandel, 1981).

Porositas merupakan persentase dari pori-pori batuan yang dapat terisi oleh fluida. Porositas secara tidak langsung berhubungan dengan konduktivitas hidrolik. Akuifer dengan porositas yang tinggi akan memiliki nilai konduktivitas hidrolik yang tinggi pula. Porositas dapat terbentuk secara primer dan sekunder. Proses pembentukan porositas primer terjadi selama proses pengendapan berlangsung (*syngenetic*), yaitu terbentuknya ruang antar butiran komponen penyusun batuan sedimen. Sedangkan porositas sekunder terbentuk setelah litifikasi (*postgenetic*), baik melalui pelarutan (contoh: batu gamping) dan atau pengkekarangan (*joint*) akibat tekanan-tekanan oleh gejala tektonik). Oleh karena itu, baik batuan beku maupun metamorf, sepanjang memiliki porositas yang tinggi (baik primer maupun sekunder) akan mampu berfungsi sebagai akuifer (Mandel, 1981).

Hal penting lainnya yang menunjang sifat kelulusan air dari akuifera adalah permeabilitas. Permeabilitas adalah kemampuan batuan untuk mengalirkan air. Untuk itu diperlukan syarat adanya pori-pori yang saling berhubungan (*interconnected pores*) (Mandel, 1981).

Berdasarkan sifat fisik batuan, secara garis besar ada 2 jenis media penyusun akuifer, yaitu sistem media pori dan sistem media rekahan. Kedua sistem ini memiliki karakter air tanah yang berbeda satu sama lain. Pada sistem media berpori, air tanah mengalir melalui rongga antar butir yang terdapat dalam suatu batuan misalnya batu pasir dan batuan aluvial. Pada sistem media rekahan, air mengalir melalui rekahan-rekahan yang terdapat pada batuan yang terkena tektonik

kuat, pada batu gamping, batuan metamorf, dan lava. Rekahan terjadi selain akibat proses tektonik, juga akibat proses pelarutan pada batu gamping (Mandel, 1981).

Pembagian sistem akuifer dan air tanah di alam menurut Santosa dan Adji, 2004, yaitu:

1. Akuifer tertekan (*Confined Aquifer*) merupakan suatu jenis akuifer yang bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan bersifat kedap air akifug atau akiklud.
2. Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) merupakan suatu jenis akuifer yang dibatasi oleh 1 lapisan impermeabel di bagian bawahnya dan pada bagian atasnya tidak ada lapisan penutup/*impermeable layer*.
3. Akuifer semi (*Semi-confined Aquifer*) merupakan suatu jenis akuifer yang dibatasi oleh lapisan semi permeabel/lapisan akitard (di atas dan atau di bawahnya).
4. Akuifer melayang (*Perched Aquifer*) merupakan suatu jenis akuifer berupa bentuk lensa-lensa batuan yang dibatasi oleh lapisan *impermeable* (di atas dan di bawahnya).

2.6 Porositas Tanah

Porositas adalah proporsi ruang pori tanah (ruang kosong) yang terdapat dalam suatu volume tanah yang ditempati oleh air dan udara, sehingga merupakan indikator kondisi drainase dan aerasi tanah. Tanah yang *porous* berarti tanah yang cukup mempunyai ruang pori untuk pergerakan air dan udara masuk dan keluar tanah secara leluasa, sebaliknya jika tanah tidak *porous* (Hakim, 1996).

Tanah tersusun dari butiran tanah atau partikel lainnya dan rongga-rongga atau pori diantara partikel butiran tanah. Rongga-rongga terisi sebagian atau seluruhnya dengan air atau zat cair akan terisi oleh udara atau bentuk lain dari gas. Sifat-sifat mekanis penting tanah, seperti kekuatan (*strength*) dan pemampatan (*compressibility*), secara langsung berhubungan dengan atau paling tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor dasar seperti rapat massa (*density*), berat volume (*unit weight*), angka pori (*void ratio*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Porositas dibagi 2 berdasarkan asal usulnya:

1. Original (Primary) Porosity

Porositas yang terbentuk ketika proses pengendapan batuan (deposisi) tanpa ada faktor lain. Pada umumnya terjadi pada porositas antar butiran pada batupasir, antar Kristal pada batukapur, atau porositas oolitic pada batukapur.

- 2 Induced (Secondary) Porosity

Porositas yang terbentuk setelah proses deposisi batuan karena beberapa proses geologi yang terjadi pada batuan tersebut, seperti proses intrusi, fault, retakan, dan sebagainya. Proses tersebut akan mengakibatkan lapisan yang sebelumnya non-porosity/permeabelitas menjadi lapisan berporositas. Contohnya retakan pada shale dan batukapur, dan vugs atau lubang-lubang akibat pelarutan pada batukapur. Batuan yang berporositas original lebih seragam dalam karakteristik batumannya daripada porositas induced.

Porositas berdasarkan kualitas:

1. Intergranuler Pori-pori terdapat di antara butir.
2. Interkristalin: Pori-pori terdapat di antara kristal. – Celah dan rekah: Pori-pori terdapat di antara celah/rekahan.
3. Pin-point porosity: Pori-pori merupakan bintik-bintik terpisah-pisah, tanpa terlihat bersambungan.
4. Tight: Butir-butir berdekatan dan kompak sehingga pori-pori kecil sekali dan hampir tidak ada porositas.
5. Dense: Batuan sangat kecil sehingga hampir tidak ada porositas.
6. Vugular: Rongga-rongga besar yang berdiameter beberapa mili dan kelihatan sekali bentuk bentuknya tidak beraturan, sehingga porositas besar.
7. Cavernous: Rongga-rongga besar sekali yang merupakan gua-gua, sehingga porositasnya besar.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian penyelidikan rongga bawah tanah menggunakan GPR ini dilakukan di Desa Sumberasri, Kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia. Secara geografis lokasi terletak pada $114^{\circ}00'$ - $114^{\circ}26'$ BT dan $8^{\circ}00'$ - $8^{\circ}00'$ LS. Topografi di sekitar lokasi pengambilan data adalah terdiri dari pemukiman warga.

Pengolahan data akan dilakukan di labolatorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Cakupan area penelitian dilihat dari citra Google Maps.

Keterangan:  : Area Penelitian (300m x 150m)

3.2 Peralatan dan Software

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Control Unit

Berfungsi untuk membangkitkan sinyal pemicu secara serempak ke transmitter dan receiver;

2. Antena dengan frekuensi 38 MHz

Digunakan untuk membangkitkan pulsa gelombang EM

3. Laptop

Digunakan sebagai penampil data pada saat pengambilan data;

4. Accu

Digunakan sebagai sumber arus;

5. Roll meter

Digunakan untuk membantu penentuan panjang lintasan;

6. GPS

Digunakan untuk menentukan koordinat lokasi penelitian;

7. Kompas

Digunakan untuk menunjukkan arah pada saat penelitian.

8. Perangkat Lunak

Terdiri dari Google Earth dan Visualizer 3D

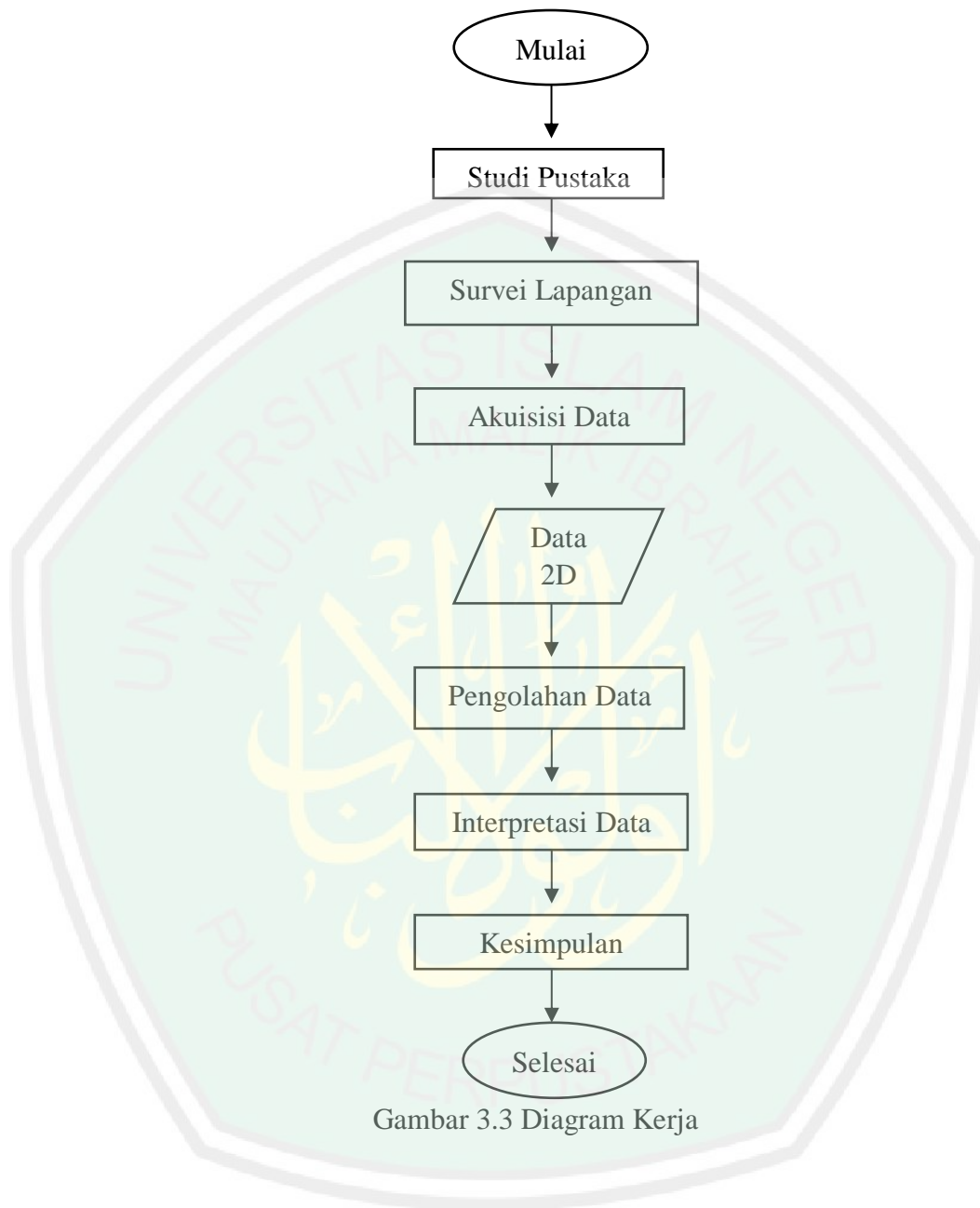
9. Seperangkat GPR Future Series 2005

Perangkat ini terdiri dari *power tank*, *control unit*, *Bluetooth*, *gagang probe*, *probe*, kabel pemancar dan penerima gelombang. Software Visualizer 3D



Gambar 3.2 Peralatan GPR Future Series 2005

3.3 Diagram Kerja Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Kerja

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Akuisisi Data

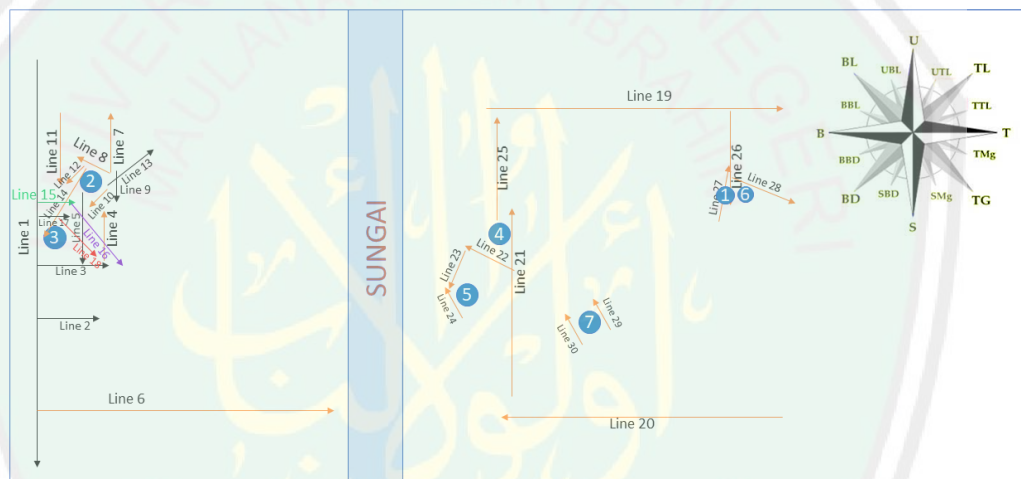
Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan pada akuisisi ini adalah:

1. Menentukan lintasan yang akan diukur.
2. Menyusun rangkaian alat GPR seperti pada Gambar 3.2

3. Setelah memastikan semua kabel telah terhubung dengan baik selanjutnyamenyalakan kontrol unit GPR.
4. Dengan *radar reflection profiling* dan *common mid-point* atau CMP. *Radars reflection profiling* dilakukan dengan membawa antena radar (*transmitter* dan *receiver*) bergerak bersamaan di atas permukaan tanah dimana nantinya hasil tampilan pada radargram merupakan kumpulan tiap titik pengamatan
5. Memilih *ground scan*
6. Memilih mode yang diinginkan (misalnya *live scan* atau *automatic scan*, jika memilih *automatic scan* pemilihan *impuls* harus disesuaikan dengan kebutuhan. Semakin besar *impuls* semakin lama waktu scannya dan semakin lebar area yang disurvei).
7. Setelah operator memilih mode pada alat GPR, *software* pada laptop dijalankansehingga akan muncul suatu menu yang nantinya dijadikan sebagai monitorperekam radar.
8. Menunggu indikator bunyi yang mengisyaratkan siap dimulai pengambilan data. Jika memilih *live scan* maka setiap satu titik pengukuran harus menekan enter pada laptop. Sedangkan pada pengukuran *automatic scan* cukup menekan enter pada awal dan akhir pengukuran pada sebuah lintasan.
9. Menyimpan data yang telah didapatkan

3.4.2 Pengambilan Data GPR

Pada penelitian ini ingin diketahui adanya rongga bawah tanah yang kemudian diindikasikan sebagai salah satu indikator adanya intrusi air laut terhadap air tanah yang terjadi di lokasi penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil beberapa sampel sumur. Pemilihan sampel sumur ini dilakukan dengan mengecek rasa air (tawar/ asin) dan rata-rata kedalaman sumur.



Gambar 3.4 Desain Lintasan Penelitian

3.5 Pengolahan Data

Tahapan 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 zona rawan amblesan tanah berdasarkan keberadaan zona *cavity* (zona kosong/rongga-rongga bawah permukaan tanah) dari daerah penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil pengambilan data di lokasi penelitian dan analisis data. Analisis dilakukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan secara geometri berdasar data georadar yang menunjukkan radiasi gelombang elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik ini erat kaitannya dengan konduktivitas dan konstanta dielektrik gelombang elektromagnetik serta data geologi yang diperoleh dari studi literatur peta geologi.

4.1 Hasil Survey

4.1.1 Akuisisi Data

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005*. Alat ini terdiri dari unit-unit pokok, diantaranya; gagang sensor, *power supply unit*, *control unit*, kabel penghubung untuk setiap unit, sensor, *roll meter*, *notebook*, *Bluetooth*, masing-masing berjumlah 1 buah.



Gambar 4.1 Seperangkat Alat GPR *Future Series 2005*



Gambar 4.2 Roll meter



Gambar 4.3 Laptop

Selanjutnya, seperangkat alat GPR *Future Series 2005* dirangkai agar dapat dioperasikan. Rangkaian pertama diawali dengan menyambungkan *power tank* dengan *control unit*. Lalu *control unit* dihubungkan dengan *Bluetooth* dan *headset*. Dengan menggunakan kabel penghubung, *receiver-transmitter* yang dipasang pada gagang dihubungkan pada *control unit* kemudian diatur panjang gagang agar nyaman digunakan oleh operator dan juga agar sensor *receiver – transmitter* tingginya tepat diatas permukaan tanah. Penting diperhatikan, pada perangkat sensor *receiver – transmitter* terdapat tanda panah segitiga yang berfungsi sebagai penanda ketika akan melakukan pengukuran, Ketika melakukan pengukuran, panah diatur untuk menghadap ke

permukaan tanah (ke bawah) agar sinyal impuls dapat dipancarkan fokus ke permukaan tanah.

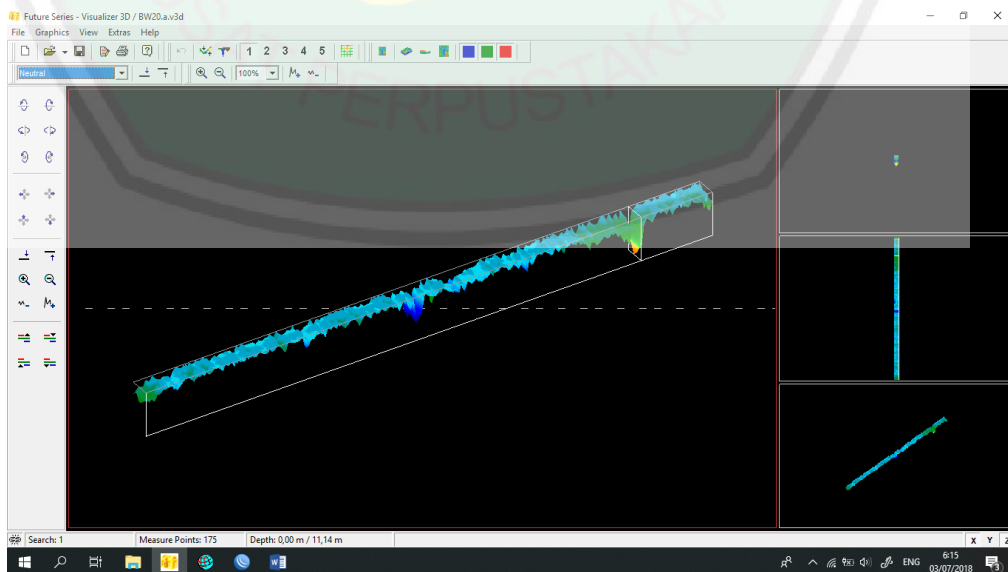


Gambar 4.4 Power Tank dihubungkan dengan Control Unit melalui kabel



Gambar 4.5 Transmitter-Receiver terpasang pada gagang dan dihadapkan ke bawah

Setelah semua perangkat berhasil dirangkai, selanjutnya adalah *switch-on* laptop yang sudah terinstal *software Visualizer 3D*. Berikut tampilan *software Visualizer 3D*.



Gambar 4.6 Tampilan software Visualizer 3D

Selanjutnya, pengukuran dilakukan dengan melakukan pengaturan pada *control unit*, setelah *control unit* tersambung dengan *power tank* lampu indikator led warna hijau akan menyala sebagai indikasi bahwa perangkat dalam keadaan “on”. (Di bawah *control unit* terdapat tombol *on-off* yang akan berbunyi “tit” jika ditekan. Tunggu sampai tidak berbunyi. Lalu akan muncul pilihan metode yang akan digunakan, pilih GROUND SCAN dengan cara memindahkan pilihan ke atas atau ke bawah dengan menggunakan tombol navigasi. Lalu klik ‘OK’ pada pilihan GROUND SCAN. Selanjutnya dilakukan pemilihan mode, terdapat pilihan mode otomatis dan manual. Perbedaan kedua mode ini adalah terlihat dari hasil scan yang didapatkan, apakah ditampilkan langsung pada monitor PC atau disimpan dahulu dalam memori. Untuk pilihan mode ini, kita pilih mode otomatis. Selanjutnya mengatur pengaturan impuls (banyaknya pemancaran gelombang yang digunakan.) Rentang yang digunakan adalah berkisar antara 10 – 200 impuls, lalu pilih ‘OK’. Setelah itu terdapat pesan untuk mode tampilan, yaitu; ‘transfer data ke komputer’ atau ‘ke memori’. Pada pilihan ‘transfer ke komputer’ klik ‘OK’. Monitor laptop akan memunculkan pesan *pop-up* berisi pemberitahuan konektivitas *Bluetooth* dari GPR ke komputer. Lalu klik pesan tersebut kemudian muncul menu *Bluetooth*, input password “OKM” (tanpa petik) lalu OK. Setelah terkoneksi dengan laptop, perangkat GPR siap dioperasikan untuk melakukan pengukuran. Pengukuran akan dimulai dengan menekan tombol berwarna hijau pada *control unit* dan transmitter akan memancarkan impuls.



Gambar 4.7 Control Unit Future Series 2005

Setiap pengukuran *line* baru, selalu dimulai dengan menekan tombol hijau pada *control unit*. Untuk membuat dokumen baru pada *software Visualizer 3D* digunakan perintah klik '*file*' – pilih '*new document*' lalu akan muncul menu pilihan pengukuran pada '*device*' dipilih '*Future Series 2005*' lalu klik OK.



Gambar 4.8 Tombol Hijau pada Control Unit



Gambar 4.9 Proses Pengambilan Data di Lapangan

4.1.2 Desain Survei

Proses pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi 2 area (lihat gambar 3.4) dikelompokkan berdasarkan kelompok sumur yang airnya tawar dan berasa asin. Jika dilihat dari desain rute penelitian yang tampak pada gambar 3.4, daerah yang terletak di bagian kiri sungai disebut sebagai area I, sedangkan daerah yang terletak di kanan sungai disebut sebagai area II. Masing-masing area I dan area II memiliki ukuran panjang yang membentang sepanjang 150 m dari sungai sebagai titik acuan.

Pada area I terdapat 2 sumur yang airnya tawar. Daerah ini terdiri dari perumahan warga dan tanah tegalan yang ditanami beberapa jenis tanaman musiman warga. Pengambilan data yang dilakukan terdiri dari 18 *line* dengan panjang lintasan yang berbeda pada masing-masing *line*. Hal ini dilakukan menurut pertimbangan medan yang dilalui. Salah satunya menghindari

menabrak bangunan dan menghindari semak-semak dan rerumputan yang jika diterobos akan terbaca sebagai *noise*.

Adapun rincian jumlah impuls yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Keterangan banyaknya impuls yang dipakai pada setiap line

No.	Line ke-n	Panjang Lintasan (m)	Impuls yang dipakai
1	Line 1 ^{*)}	96.25	200
2	Line 2	33.04	100
3	Line 3	53,79	150
4	Line 4	19,04	80
5	Line 5	28,95	60
6	Line 6	139,72	200
7	Line 7	25,03	60
8	Line 8	7,14	20
9	Line 9	1.98	20
10	Line 10	13.26	20
11	Line 11	26.85	70
12	Line 12	6.06	30
13	Line 13	1.13	20
14	Line 14	12.43	70
15	Line 15	8.21	50
16	Line 16	0.56	20
17	Line 17	2.42	30
18	Line 18	4.61	30

Sedangkan pada area II terdapat 5 sumur yang berasa asin airnya. Komposisi daerahnya tidak terlalu jauh berbeda dengan area I, terdapat perumahan warga dan tanah tegalan warga yang juga ditanami tanaman musiman daerah sekitar. Sehingga proses pengambilan data tidak jauh berbeda dengan dengan yang terdapat pada area I. Di area II dilakukan scan pada 14 line dengan panjang lintasan yang berbeda pada masing-masing *line*. Adapun rincian jumlah impuls yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Keterangan banyaknya impuls yang dipakai pada setiap line

No.	Line ke-n	Panjang Lintasan (m)	Impuls yang dipakai
1	Line 19 ^{*)}	160.50	230
2	Line 20	1,70	20
3	Line 21 ^{*)}	135.94	300
4	Line 22 ^{*)}	93.97	150
5	Line 23	21.91	50
6	Line 24	17.00	40
7	Line 25	1.88	20
8	Line 26	28.04	70
9	Line 27	38.24	100
10	Line 28	8.37	20
11	Line 29	9.30	30
12	Line 30	8.67	40

Penggunaan impuls ini, didasarkan pada:

$$\text{Impuls} = \frac{S \text{ line}}{S \text{ impuls}} \quad (4.1)$$

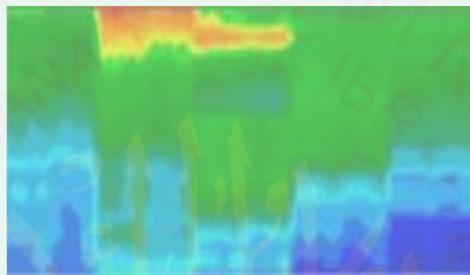
Semakin kecil jarak dalam range tersebut semakin baik hasil pencitraannya (M. Jol. Harry, 2009)

4.1.3 Pengolahan Data

Setelah melakukan akuisisi data di lapangan didapatkan beberapa data dalam format digital. Pengolahan data dilakukan dengan software Visualizer 3D yang merupakan paket bundling dengan perangkat GPR Future Series 2005. Data diperoleh dari pengambilan data secara langsung menggunakan satu set perangkat GPR Future Series 2005 yang terkoneksi secara *realtime* ke komputer jinjing (laptop) dengan memanfaatkan teknologi *bluetooth*.

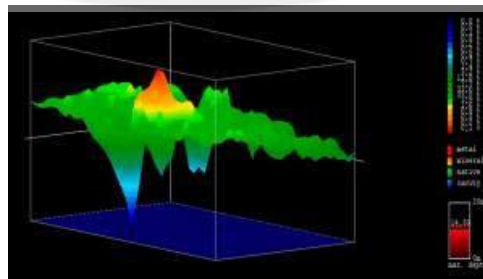
Saat antena diletakkan dekat dengan tanah, interaksi antena dengan tanah, interaksi antena – tanah sangat berpengaruh terhadap impedansi input antena,

bergantung jenis tanah dan elevasi antenanya. Pada paket software Future Series 2005, jenis- jenis tanah dapat terlihat dari pola warna yang muncul pada penampang data scan dari hasil pengambilan data. Berikut contoh output saat pengambilan data di daerah penelitian, pola-pola warna yang muncul bisa digambarkan sebagai berikut



Gambar 4.10 *Output 2D GPR Future Series 2005*

Apabila GPR Future Series 2005 dibawa berjalan (menurut garis lurus), gambar yang dihasilkan akan membentuk pola-pola tertentu, bergantung pada impuls yang ditumbuk oleh impuls elektromagnetik itu dan waktu tempuh sinyal (yang bergantung pada kedalaman objek). Berikut ini adalah contoh gambar keluaran dari GPR Future Series 2005 beserta sedikit penjelasan tentang pola-pola gambar didalamnya, yang disebut sebagai difraksi.



Gambar 4.11 *Output 3D GPR Future Series 2005*

Sumbu horizontal adalah sampling impuls yang dipancarkan. Sumbu vertikal adalah jarak kedalaman atau waktu tempuh sinyal impuls dari pemancar ke penerima. GPR memiliki keterbatasan kehandalan operasi hanya sampai beberapa meter di bawah permukaan. Semakin konduktif objek yang ditumbuk, maka akan semakin jelas sinyal yang ditangkap. Kabel listrik adalah tembaga yang berkonduktivitas sangat baik, sehingga akan memberikan pola yang jelas pada gambar keluaran GPR. Pada contoh gambar tersebut adalah anomali yang ditunjukkan oleh warna biru yang menunjukkan *cavity area* (daerah rongga), warna merah menunjukkan adanya logam di daerah tersebut, warna kuning menunjukkan daerah tersebut adalah daerah kering, sedangkan warna kuning kemerah-merahan menunjukkan adanya mineral pada daerah tersebut, warna hijau cerah menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah karst kering dan warna hijau yang agak gelap menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah karst basah.

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 dan resistivitasnya semakin besar.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Interpretasi Kualitatif

Dalam mengidentifikasi daerah berongga bawah permukaan yang menyatakan hubungan sumur bawah tanah di daerah penelitian digunakan perangkat GPR Future Series 2005.

Interpretasi secara kualitatif dilakukan terhadap hasil visualisasi yang ditunjukkan dengan difraksi warna-warna yang berbeda. Warna biru mengindikasikan pengukuran bernilai negatif dan diinterpretasikan sebagai keberadaan rongga-rongga (*cavities zone*), deposit air, penimbunan atau penggalian pada tanah, pada penelitian ini warna biru diinterpretasikan sebagai adanya rongga-rongga (*cavities zone*), warna kuning mengindikasikan area tersebut adalah daerah kering, warna orange mengindikasikan terjadinya mineralisasi di dalam permukaan tanah, warna merah diinterpretasikan sebagai adanya logam yang terkubur di dalam permukaan tanah, warna hijau mengindikasikan nilai pengukuran yang normal dari suatu permukaan tanpa adanya anomali, selanjutnya warna hijau muda diinterpretasikan sebagai daerah karst/ gamping kering.

Dalam penelitian ini, pencatatan titik koordinat tiap line digunakan perangkat GPS, yang kemudian masing-masing koordinat yang didapat diinput pada perangkat lunak Google Earth untuk mendapatkan citra lokasi. Kemudian dilakukan *overlay* hasil scan (pelapisan citra scan GPR) pada lokasi pengambilan data menggunakan perangkat lunak CorelDraw X8. Berikut hasil scan setelah melalui proses *overlay*:

Berikut data yang didapat dari pencatatan koordinat sumur di daerah penelitian.

Tabel 4.3 Koordinat Sumur pada area penelitian

No	Koordinat sumur rasa asin	Koordinat sumur rasa tawar
1	8° 32.489' LS dan 114° 15.780' LU	8° 32.485' LS dan 114° 15.832' LU
2	8° 32.495' LS dan 114° 15.768' LU	8° 32.478' LS dan 114° 15.703' LU
3	8° 32.487' LS dan 114° 15.834' LU	
4	8° 32.499' LS dan 114° 15.799' LU	
5	8° 32.488' LS dan 114° 15° .689'LU	

Adapun hasil scan perangkat GPR Future Series 2005 di daerah penelitian adalah sebagai berikut:

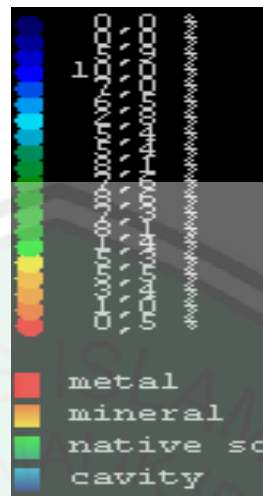


Gambar 4.12 Hasil scan kedua area yang di *overlay* dengan peta perangkat lunak Google Earth-CorelDraw X8

4.2.2 Analisa Visualisasi 2D

A. Analisa Area I

Area sebelah kiri (kotak merah) yang ditunjukkan pada gambar 4.13 merupakan area I, yaitu terletak di sebelah barat sungai yang dalam survey lapangan ditemukan dua sumur yang airnya tidak berasa (tawar).



Gambar: 4.13 Legenda Pada Output GPR *Future Series* (Astutik dalam Bahri, 2009)

Untuk mengetahui pembacaan gradasi warna yang terbentuk dari hasil scan digunakan acuan sebagaimana tampak pada gambar 4.14. Pada legenda GPR *Future Series* 2005 (gambar 4.14) 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 dan resistivitasnya semakin besar. Artinya untuk warna biru memiliki konduktivitas rendah dan resistivitas tinggi karena warna biru mewakili zona *cavity* (area kosong/rongga) sedangkan warna merah mewakili adanya logam sehingga memiliki konduktivitas tinggi dan resistivitas rendah, oleh sebab itu warna biru selalu di atas dan warna merah selalu di bawah

Pada area 1 tidak menunjukkan adanya dominasi pola-pola warna tertentu. Pola warna yang ditunjukkan hampir sama. Pola berwarna hijau yang berarah utara-selatan yang mengindikasikan sebagai daerah yang didominasi oleh timbunan karst/gamping basah dan karst/gamping

kering. Selain itu, area 1 juga didominasi oleh pola-pola berwarna biru terdapat pada pinggiran sumur yang mengindikasikan sebagai daerah yang didominasi oleh rongga-rongga (*cavities*). Pada area 1 ini juga menunjukkan adanya pola-pola berwarna kuning dan orange kemerah-merahan yang menunjukkan adanya mineralisasi-mineralisasi dan logam-logam kecil yang tertimbun disekitar daerah kering.

B. Analisa Area II

Area sebelah kanan (kotak hijau) yang ditunjukkan pada gambar 4.14 merupakan area II, yaitu terletak di sebelah timur sungai yang dalam survey lapangan yang dilakukan sebelum dilakukan scan GPR ditemukan lima sumur yang airnya berasa asin.

Sebagaimana area I, Hasil scan yang didapat pada area II juga tidak menunjukkan dominasi pola-pola warna tertentu. Pola warna yang ditunjukkan hampir sama. Pola berwarna hijau mengindikasikan daerah yang didominasi oleh timbunan karst/gamping basah dan karst/gamping kering. Pola-pola berwarna biru terdapat pada pinggiran sumur yang mengindikasikan sebagai daerah yang didominasi oleh rongga-rongga (*cavities*). Pada area II ini juga menunjukkan adanya pola-pola berwarna kuning dan orange kemerah-merahan yang menunjukkan adanya mineralisasi-mineralisasi dan logam-logam kecil yang tertimbun disekitar daerah kering.

Perbedaan yang mencolok antara dua area ini adalah bagian yang melintang dari arah barat ke timur, area I bagian yang melintang ini

berwarna dominan kuning dan orange kemerah-merahan yang menunjukkan adanya mineralisasi-mineralisasi dan logam-logam kecil yang tertimbun disekitar daerah kering. Sedangkan pada bagian melintang dari arah ke barat pada area II menunjukkan dominasi pola warna biru dan hijau, dimana warna biru mengindikasikan daerah dominan rongga. Dan pola hijau sebagai gamping basah/ kering.

Jika dilihat kembali pada peta geologi daerah penelitian (gambar 2.1), arah selatan area penelitian di batasi pantai. Terjadinya perbedaan kualitas airtanah di daerah penelitian ini disebabkan adanya rembesan air laut yang tersimpan di dalam cekungan-cekungan atau goa di bawah permukaan. Struktur batuan di daerah penelitian merupakan batu pasir dan gamping. Batu pasir dan gamping menurut sifatnya adalah batuan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air. Sifat fisik (rasa) air di daerah penelitian ini sangat tergantung pada cuaca, dimana ketika cuaca kemarau kondisi airtanah akan terintrusi air laut karena kemampuan air laut menembus lapisan batuan gamping yang menyebabkan airtanah menjadi asin.

4.2.3 Analisa Pola Saluran Bawah Permukaan

Menurut data sumur litologi bawah permukaan berupa batuan gamping (*karst*). Karst adalah sebuah bentuk permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan adanya depresi tertutup (*closed depression*), *drainase* permukaan, dan goa. Daerah ini dibentuk terutama oleh pelarutan batuan, kebanyakan batu gamping. Kawasan karst banyak dijumpai goa dan sungai

bawah tanah yang juga menjadi pemasok ketersediaan airtanah yang sangat dibutuhkan oleh kawasan yang berada di bawahnya. Termasuk di dalamnya ketersediaan air tawar (dan bersih) bagi kehidupan manusia, baik untuk keperluan harian maupun untuk pertanian dan perkebunan.

Setelah dilakukan survey GPR di lokasi penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.13 ternyata sulit untuk didapatkan pola hubungan saluran bawah tanah di lokasi penelitian. Dibutuhkan metode geofisika yang lain untuk bisa menarik pola hubungan sumur bawah permukaan, seperti diantaranya yaitu metode geolistrik.

4.3 Integrasi Penelitian dengan Al-Qur'an

Daerah penelitian tersusun atas jenis batuan karst (kapur). Kawasan batuan kapur banyak dijumpai goa dan sungai bawah tanah yang juga menjadi pemasok ketersediaan airtanah yang sangat dibutuhkan oleh kawasan yang ada di bawahnya. Termasuk di dalamnya ketersediaan air tawar bagi kehidupan manusia, baik untuk keperluan harian maupun untuk pertanian. Terdapatnya goa pada susunan batuan kars menyebabkan adanya rembesan air laut tersimpan di dalamnya sehingga adanya fenomena terobosan bawah permukaan menghentikan aliran air laut yang menyusup ke dalam goa. Adanya goa yang seharusnya menjadi timbunan air tawar tercampur dengan air laut tidak bisa menyatu karena perbedaan tekanan. Sebagaimana sudah dijelaskan dalam firman Allah surat Al-Furqon 53:

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَحْجُورًا ﴿٥٣﴾

“dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan); yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi”. (QS: Al-Furqon, 53).

Surat Al-Furqon ayat 53 menjelaskan tentang kekuasaan Allah tentang penciptaan dua lautan yang memiliki Jenis air berbeda rasanya. Ada air tawar yang segar (*‘adzbun furat*) dan air asin (*milhun ujjaj*), kedua jenis air ini berada pada lokasi yang berbeda akan tetapi apabila berada pada satu lokasi yang sama kedua air ini tidak bisa menyatu. Kemudian dalam dua ayat tersebut digunakan kalimat *barzakh* sebagai pemisah atau pembatas antara keduanya.

Dua lautan yang keduanya tercerai berai oleh adanya pembatas. Sifat lautan yang saling bertemu, akan tetapi tidak bercampur satu sama lain ini telah ditemukan oleh para ahli kelautan baru-baru ini. Hal ini disebabkan adanya gaya fisika yang dinamakan tegangan permukaan, air laut yang tidak dapat bersatu karena perbedaan masa jenis, tegangan permukaan mencegah lautan dari bercampur satu sama lain, seolah ada dinding tipis memisahkan keduanya (Davis, 1972). Perbedaan suhu, kadar garam, dan kerapatan airnya (densitas). air laut didaerah laut tengah(mediterrania) memiliki kerapatan dan kadar garam yg lebih tinggi dari air laut. menurut sifatnya, air akan bergerak dari kerapatan tinggi ke rendah.

Intrusi air asin adalah pergerakan air asin ke akuifer air tawar yang dapat mengkontaminasi sumber air minum. Intrusi air asin dapat terjadi secara alami hingga derajat tertentu pada sebagian besar akuifer pantai, dikarenakan adanya hubungan hidrolis antara airtanah dan air laut. Karena air asin memiliki kadar mineral yang lebih tinggi dari air tawar, maka air laut memiliki massa jenis yang lebih tinggi dan tekanan air yang lebih besar. Sehingga air asin bergerak menuju air

tawar. Berbagai aktivitas manusia, terutama pemompaan airtanah dari akuifer pantai, dapat meningkatkan intusi air laut karena tekanan airtanah berkurang dan menjadi relatif lebih kecil dibandingkan tekanan dari air laut. Penyebab intrusi air asin lainnya yaitu kanal navigasi dan drainase yang menciptakan celah bagi air laut bergerak ke daratan melewati permukaan dan melalui pasang surut air. Intrusi air laut juga dapat terjadi pada kondisi cuaca ekstrem seperti badai dan ombak besar.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil survei, pengolahan dan interpretasi data yang dilakukan dengan metode *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005* di daerah Sumberasri, Banyuwangi dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan hasil dari scanning di lapangan output yang ditunjukkan alat GPR menunjukkan gradasi warna yang kemudian diinterpretasi secara kualitatif (mengacu pada visualisasi 2D) menunjukkan beberapa adanya daerah celah berongga yang dilewati air laut, sehingga mengakibatkan sumur 1, sumur 4, sumur 5, sumur 6 dan sumur 7 terasa asin.
2. Setelah dilakukan penelitian dengan menggunakan perangkat GPR tidak didapatkan pola hubungan saluran bawah permukaan. Hal ini dimungkinkan oleh penyusunan desain survey pengambilan data yang tidak maksimal.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan survei dengan metode yang berbeda untuk mengetahui secara detail sistem akuifer daerah penelitian, misalnya metode Geolistrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, N.T., Helmi, M., Santosa, L.W., Budi, S., dan Djaka M., 2004. *Teknik Inverse Modelling Untuk Pendugaan Potensi dan Proses Hidrogeokimia Airtanah pada Berbagai Kondisi Akuifer. Laporan Penelitian. Hibah Bersaing XII. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Yogyakarta: Lembaga Penelitian, Universitas Gadjah Mada.*
- Al-Atsari, Abu ihsan dan M. Abdul Ghoffar E.M. 2008. *Tafsir Ibnu Katsir*. Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Arcone, S.A., 1984. *Dielectric Costant And Layer Thickness Interpretatio Of Helicopter - Borne Short Pulse Radar Waveforms Reflected from Wet and Dry River – Ice*, IEE Trans. Geoscience and Remote Sensing.
- Astutik S. 1997. *Penggunaan Ground Penetrating Radar (GPR) Sebagai Metal Detector*. Jurnal ILMU DASAR, Vol.2 No. 1 : 9-16, MALA GeoScience.
- Bahri S. Ayi. 2009. *Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunungkidul dengan Metode Ground Penetrating Radar*. Surabaya: ITS.
- Bemmelen, Van R. W. 1970. *The Geology of Indonesia, Vol I A, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago. 2nd E*. Matinus Nijhoff, The Haque.
- Daniels, D., 1996. *High resolution radar detection of buried anti-personnel mines for humanitarian clearing operations*. Proceedings of the 6th International Symposium on Measurement and Control in Robotics _ISMCR'96. London: The IEE Press
- Eko Haryono. 2001. Nilai Hidrologi Bukit Karst. *Seminar Nasional Eko-Hidrolik*. Yogyakarta 28-29 Maret 2001. Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Eko Haryono. 2004. Geomorfologi Karst, dalam Eko Haryono dan Tjahyo Nugroho Adji (ed). 2004. *Pengantar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Eko Haryono. 2011. *Atmospheric Carbon Dioxide Sequestration Trough Karst Denudation Prosesses*. Artikel. Proceedings Asian Trans-Disciplinary Karst Conference.
- Frank Lehmann and Alan G. Green (1999). "Semi-automated Georadar Data Acquisition in Three Dimensions. Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology, Institute of Geophysics, ETH-Honggerberg, CH-8093 Zurich
- Hakim, Nurhajati dkk. 1996. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. UNILA, Lampung.

Hugenschmidt, J., Maser, K., and Dawley, C.B., 1997. *GPR Inspection of a Mountain Motorway in Switzerland*. Switzerland: Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research EMIPA, ueberlandstasse, 129, 8600, Duebendorf,

KBBI, 2018. *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)*. [Online] Available at: <http://kbbi.web.id/air> [Diakses 21 Juni 2017].

Linus A. Pasasa and Rahmat Sule. 2011. Comparing Models GRM, Refraction Tomography and Neural Network to Analyze Shallow Landslide, *ITB Journal of Science*, 43:3

Mandel, S. dan Shiftan, Z. L. 1981. *Groundwater Resources: Investigation and Development*. London. Academic Press. 256 hal

Nahrowi, N.Y. & Suratman. 1978. Aspek stratigrafi, sedimentologi dan petrografi endapan turbidit (studi kasus: Formasi Kerek & Anggota Banyak daerah Kedungjati, Jawa Tengah). *Proc. 19th Ann. Conv. Indon. Assoc. Geol. (IAGI)*.

Muhyi, Sumarsono, 2009. *Deteksi Kabel Listrik Bawah Tanah dengan Otomata*, STMIK. Indonesia: Jakarta

Sandmierer. K.J., 2012. *Reflexw Untuk Ground Penetrating Radar*. Jerman: Karlsruhe,

Sidarto, Suwarti, T., Sudana, D., 1993, *Peta Geologi Regional Lembar Banyuwangi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Situmorang, R. 2004. *Pendeteksian Intrusi Air Laut Di Sekitar Kawasan Industri Kimia Medan (KIM) Dengan Metode Konduktivitas Listrik*, Tesis, Medan: Program Pasca Sarjana USU

Sosrodarsono, S. dan Takeda, S. (2003). *Hidrologi untuk Perairan*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Supriyanto. 2007. *Perambatan Gelombang Elektromagnetik*. Jakarta: Fisika-FMIPA Universitas Indonesia.

Sutikno dan Eko Haryono. 2000. *Perlindungan Fungsi Kawasan Karst. Seminar Perlindungan Penghuni wilayah Karst: masa lalu, masa kini dan masa yang akan datang terhadap Fungsi Lingkungan Hidup*. PLSM UNS. Surakarta 11 November 2000.

Sutikno. 1997. *Geomorfologi sebagai Dasar Perlindungan dan Pencagaran Kawasan Karst*. Makalah Seminar Hidrologi Pengelolaan Kawasan Karst. Yogyakarta 25-26 Oktober 1997. MAKARTI Fakultas Geografi UGM.

Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff & D. A. Keys. 1990. *Applied Geophysics*. London: Cambridge University Press.

Tjahyo Nugroho Adji, Eko Haryono dan Suratman Worosuprojo. 1999. *Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia*. Seminar Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geograf Indonesia. Jakarta 26-27 Oktober 1999. Universitas Indonesia.

Tjahyo Nugroho Adji. 2004. Hidrologi Karst, dalam Eko Haryono dan Tjahyo Nugroho Adji (ed). 2004. *Pengantar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Van Overmeeraan, R.A. Gehrels, J.C, Sariowa. 1997. Ground Penetrating Radar for Determining Volumetric Soil Water Content: Result of Comparative Measurement at Two Test Site. Austria: European Association of Exploration Geophysics

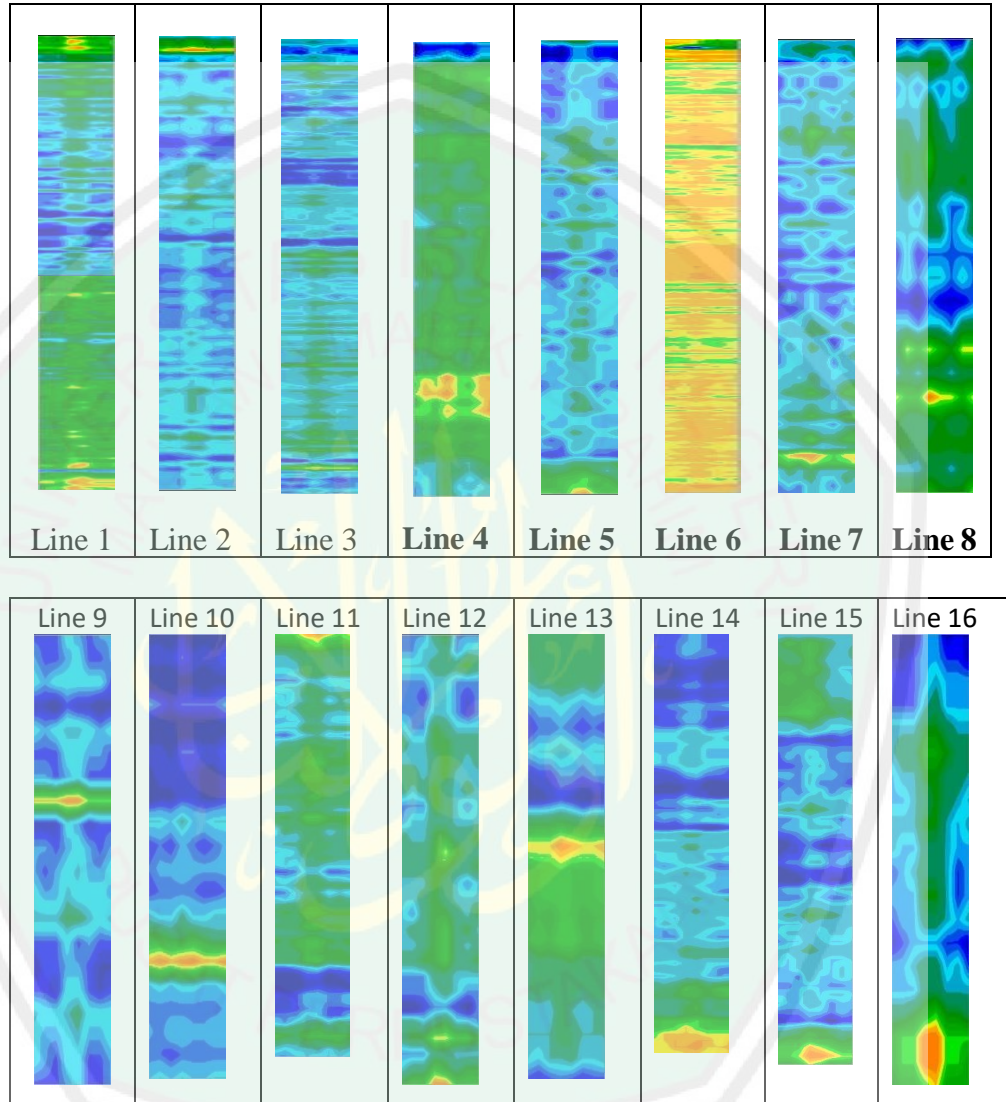


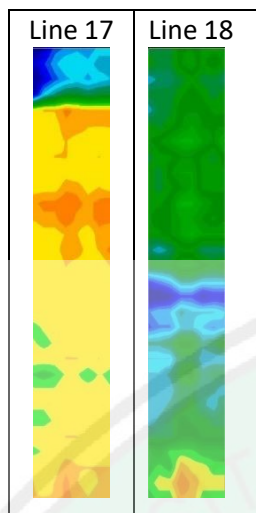


LAMPIRAN

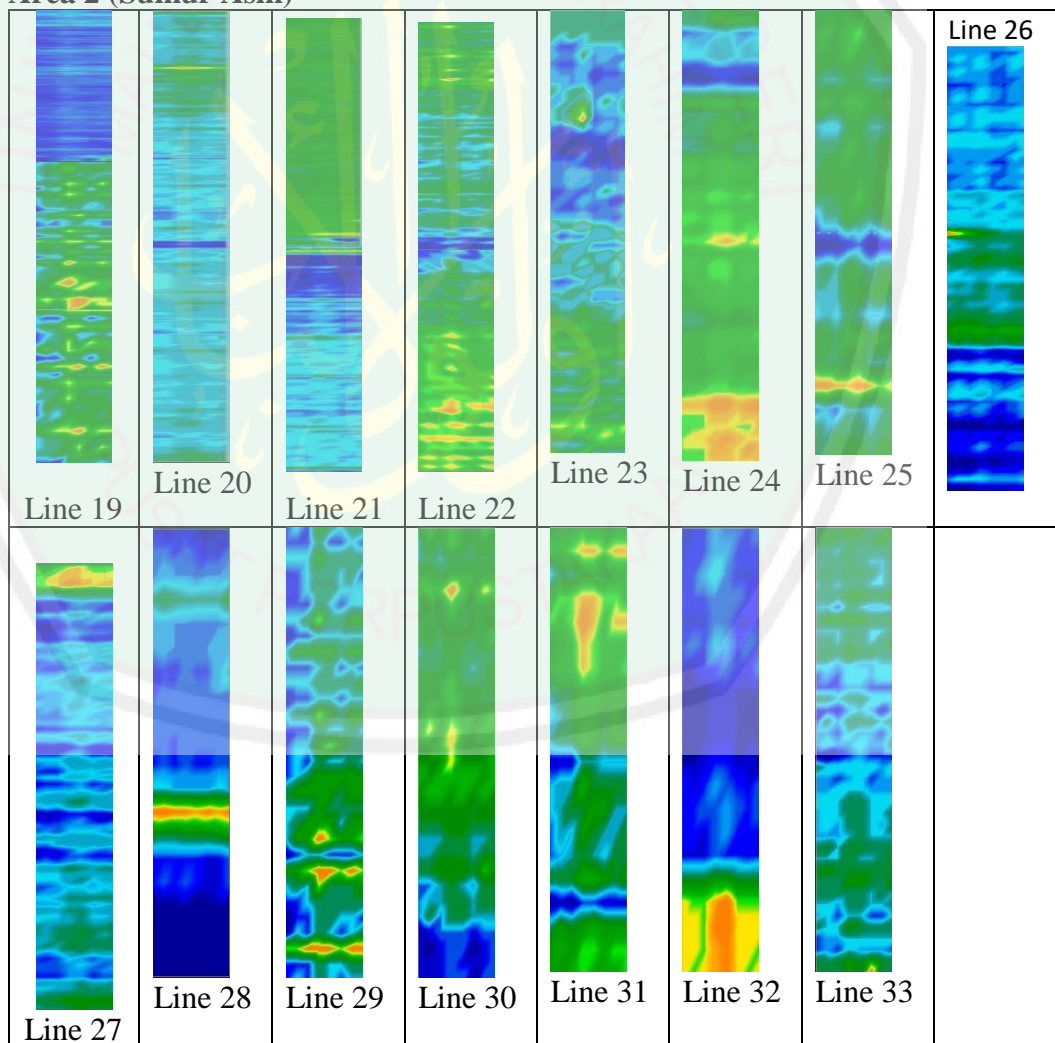
Lampiran 1 Data Visualisasi 2D

1. Area 1 (Sumur Tawar)



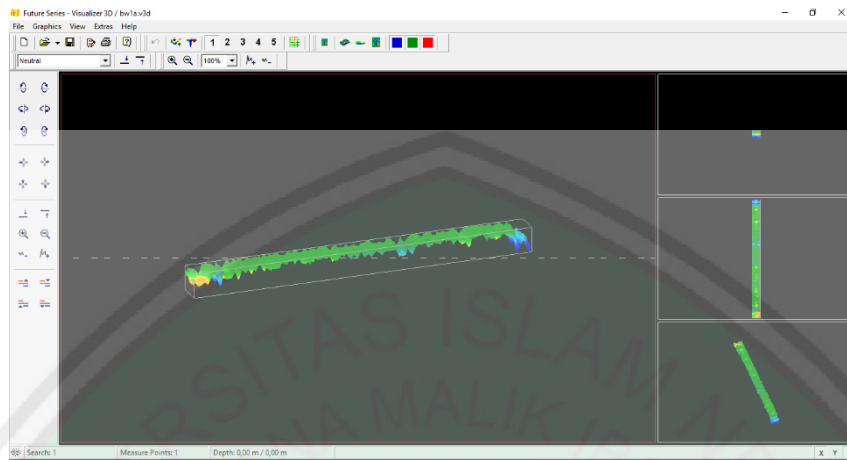


2. Area 2 (Sumur Asin)

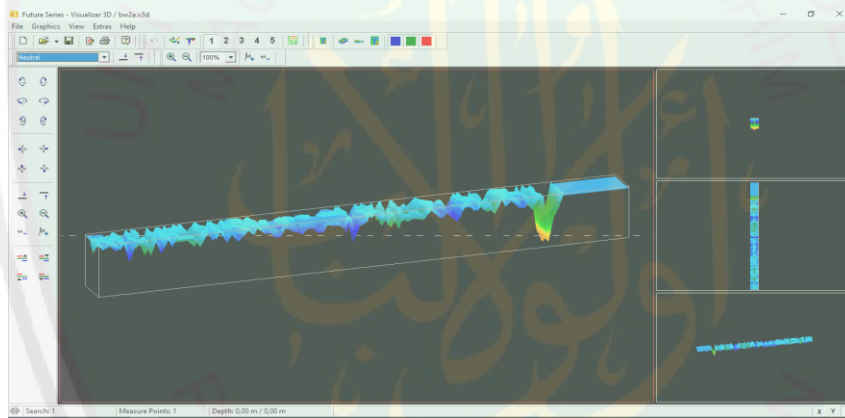


Lampiran 2 Data Visualisasi 3D

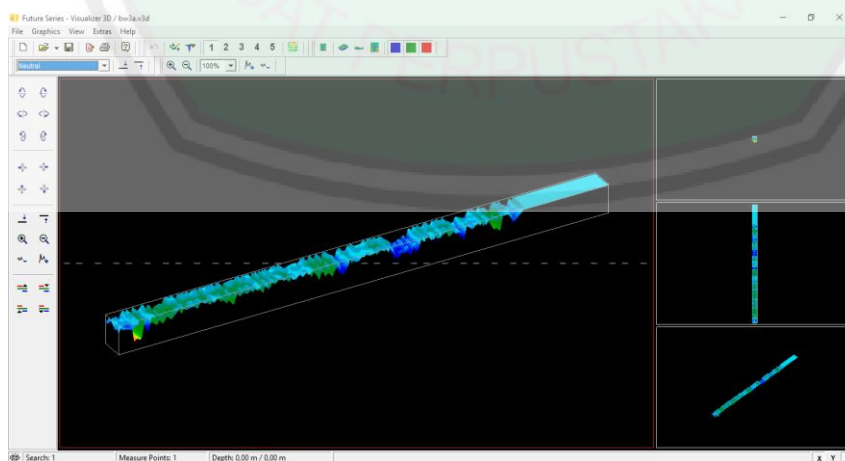
1. Area 1 (Sumur Tawar)



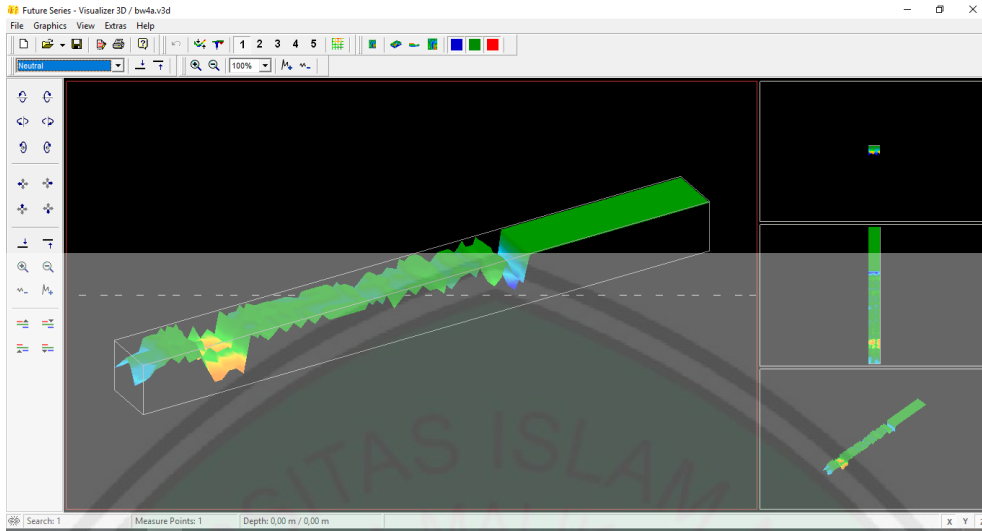
Line 1



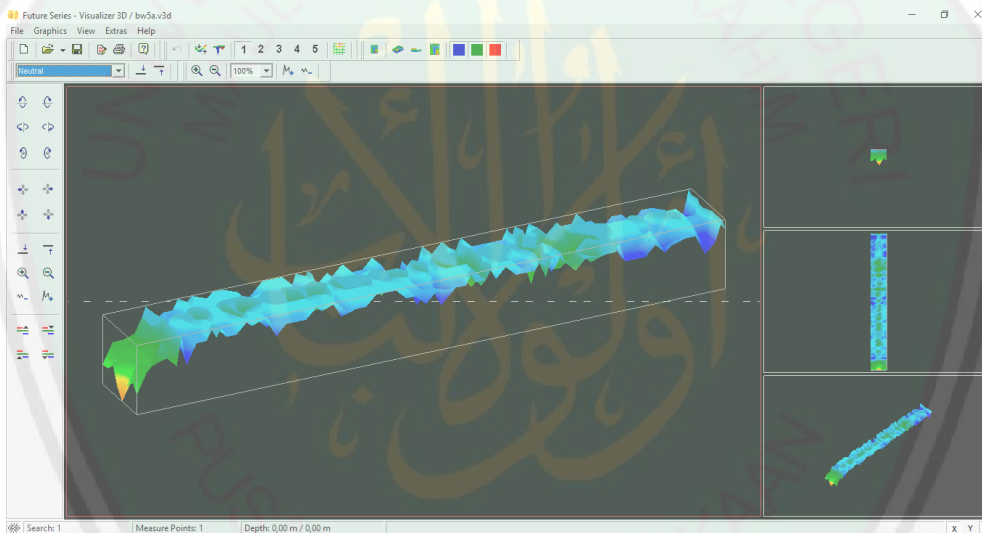
Line 2



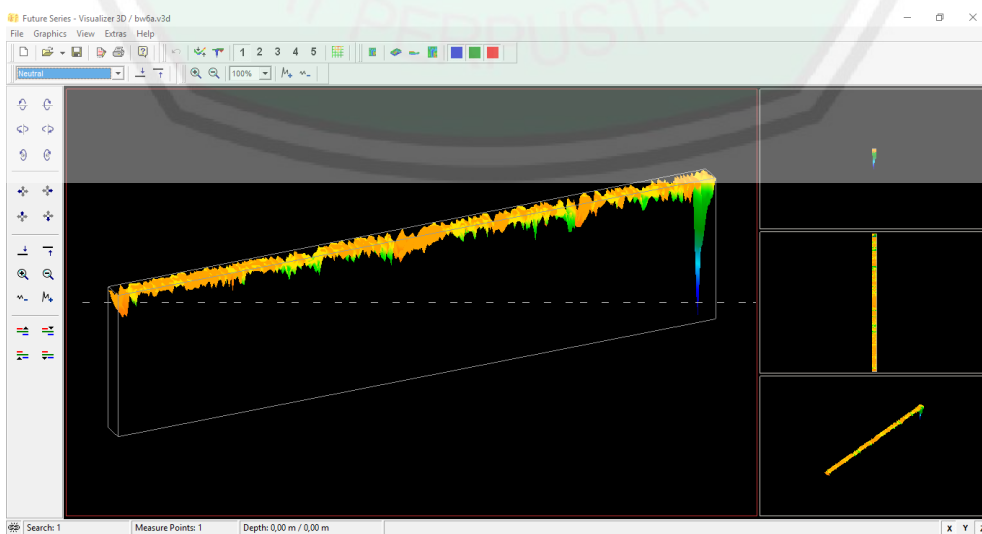
Line 3



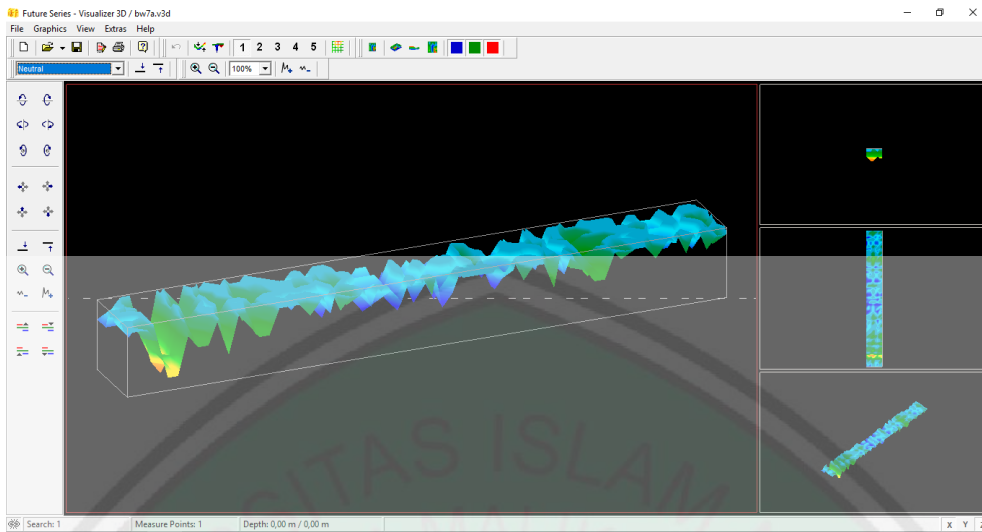
Line 4



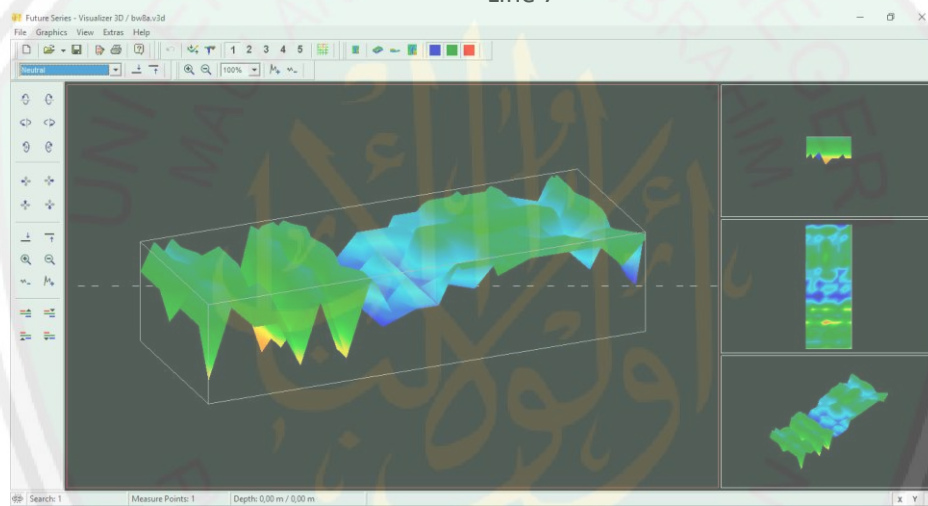
Line 5



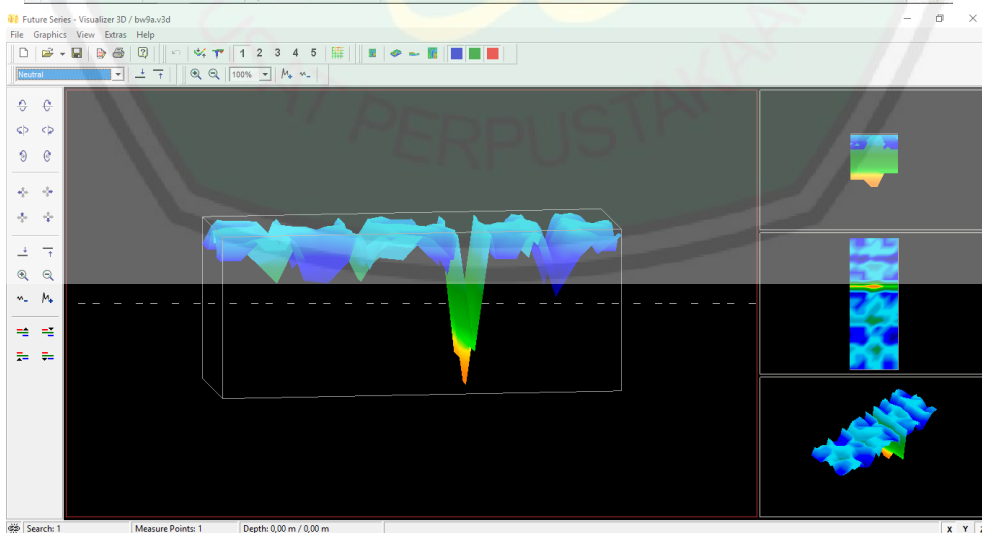
Line 6



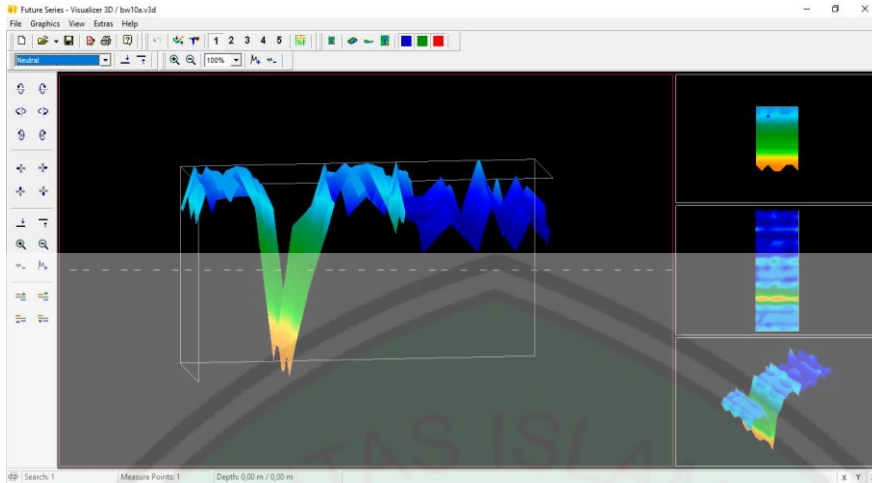
Line 7



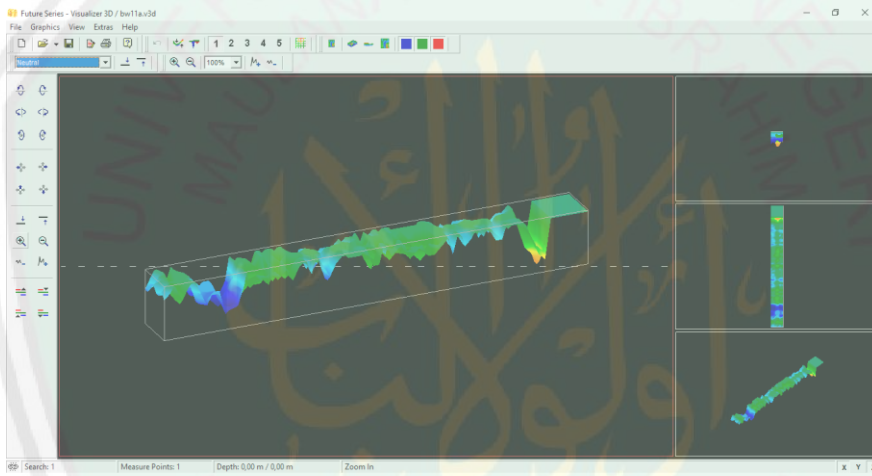
Line 8



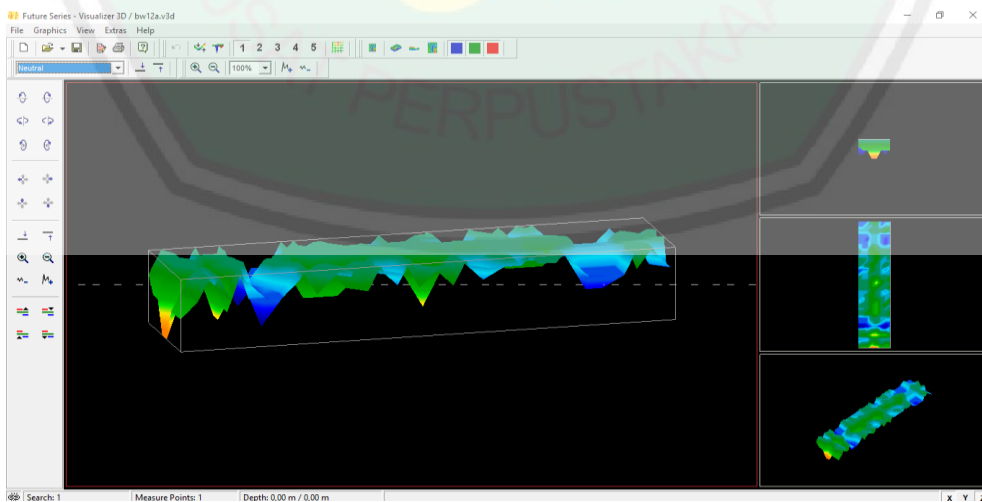
Line 9



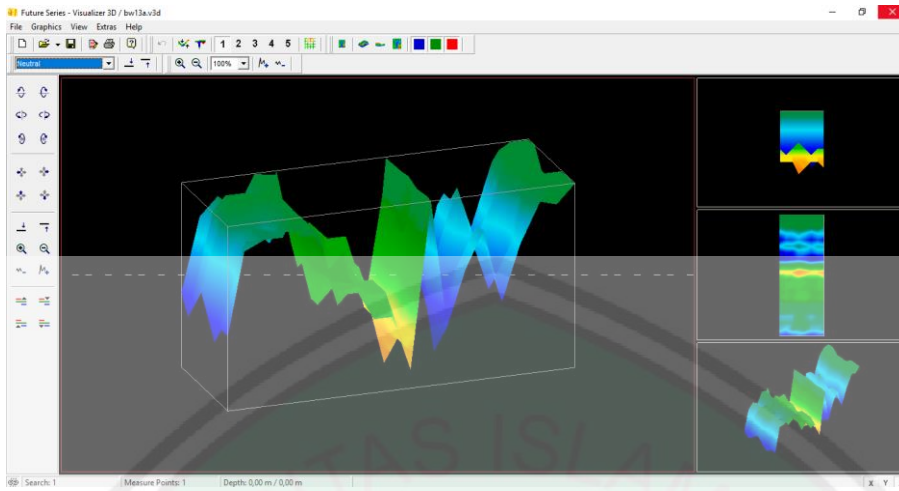
Line 10



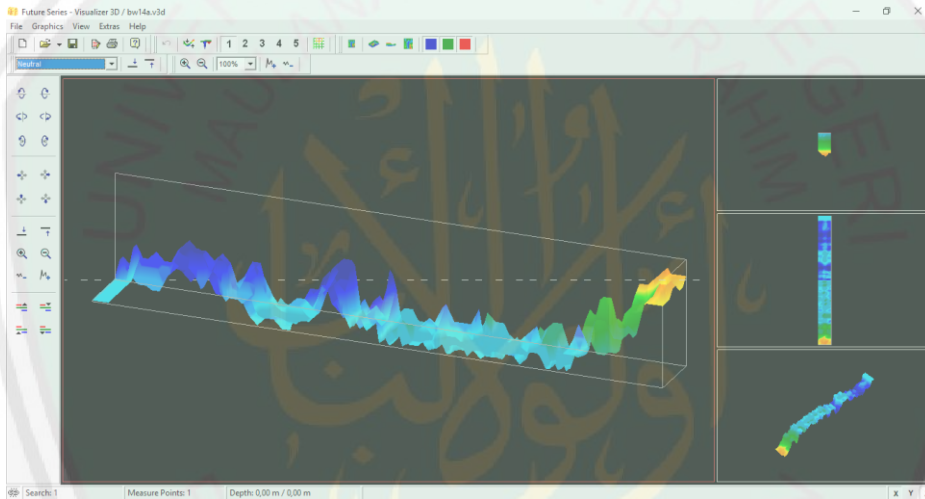
Line 11



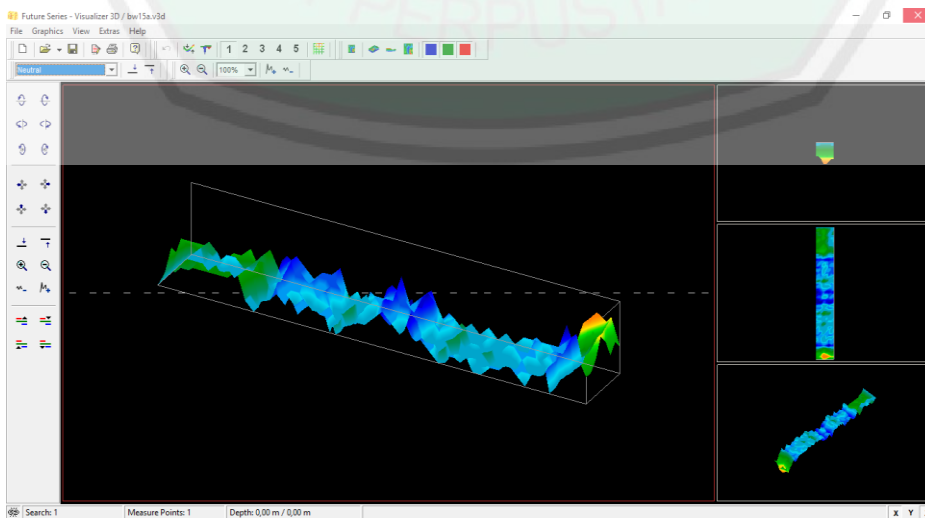
Line 12



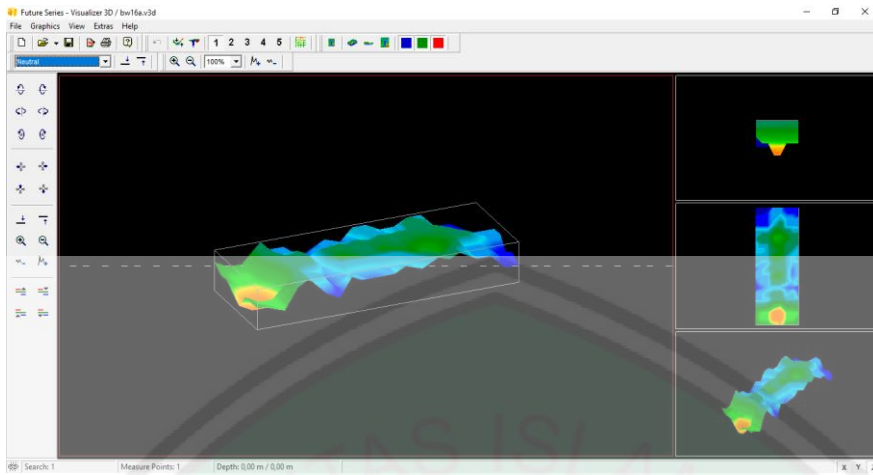
Line 13



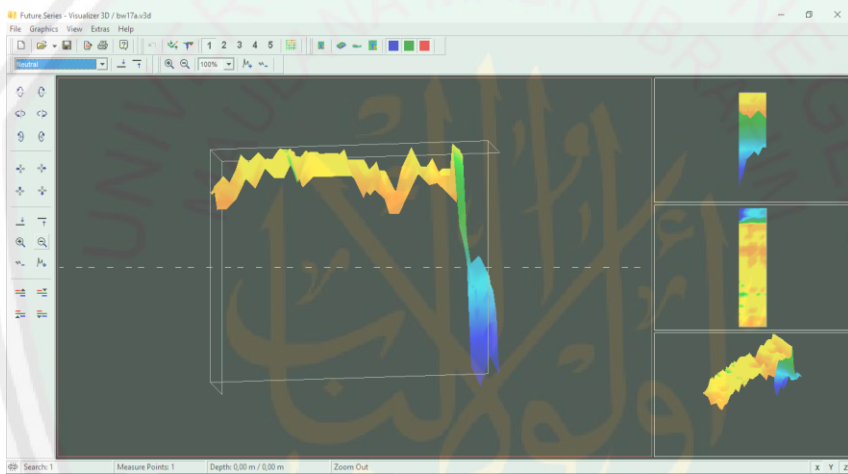
Line 14



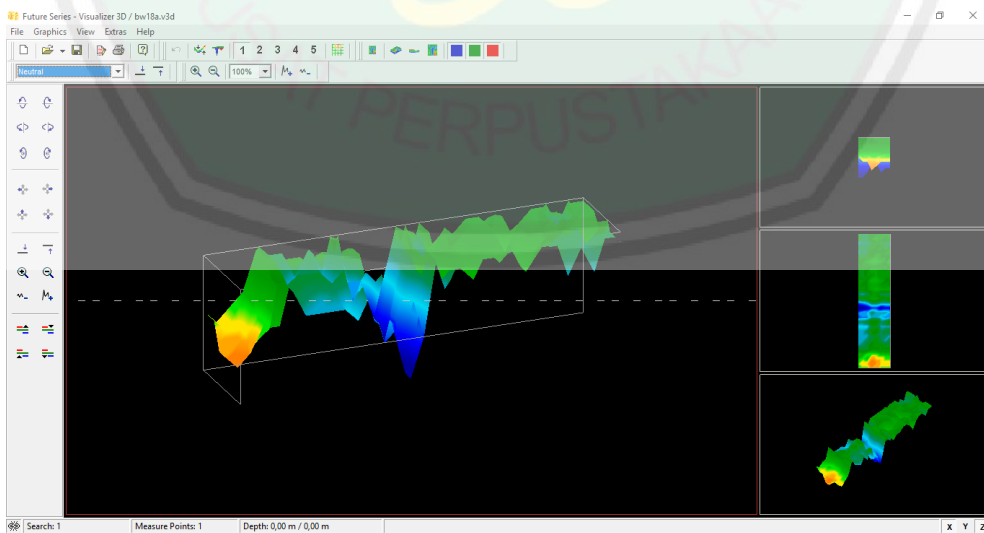
Line 15



Line 16

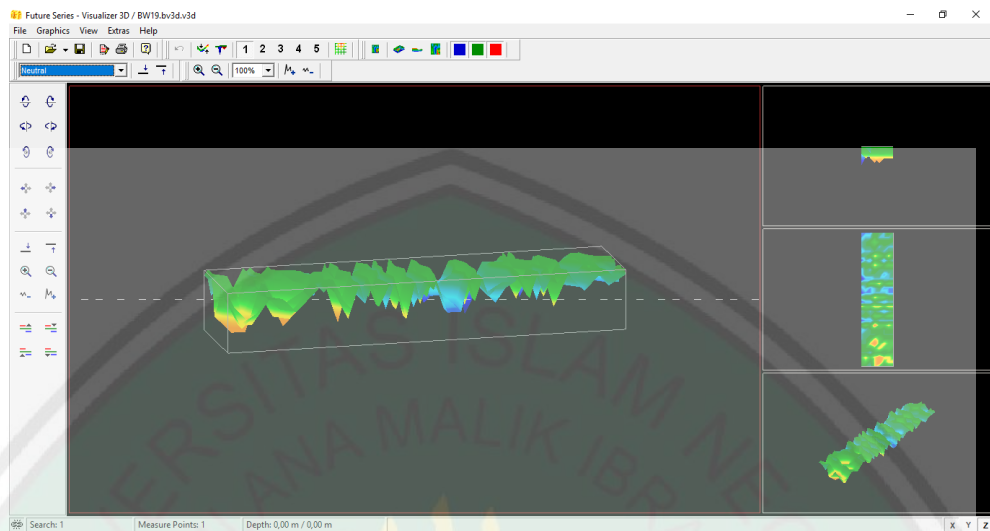


Line 17

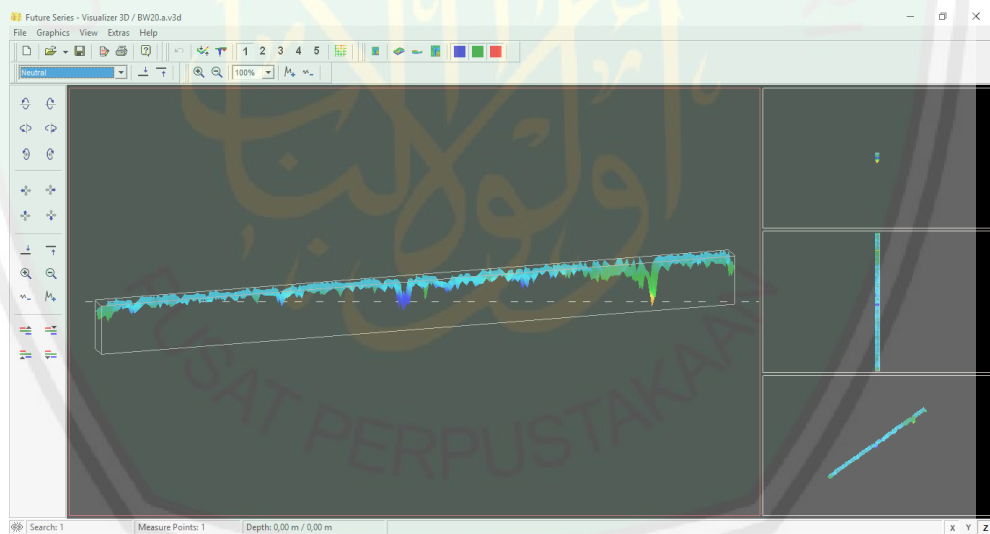


Line 18

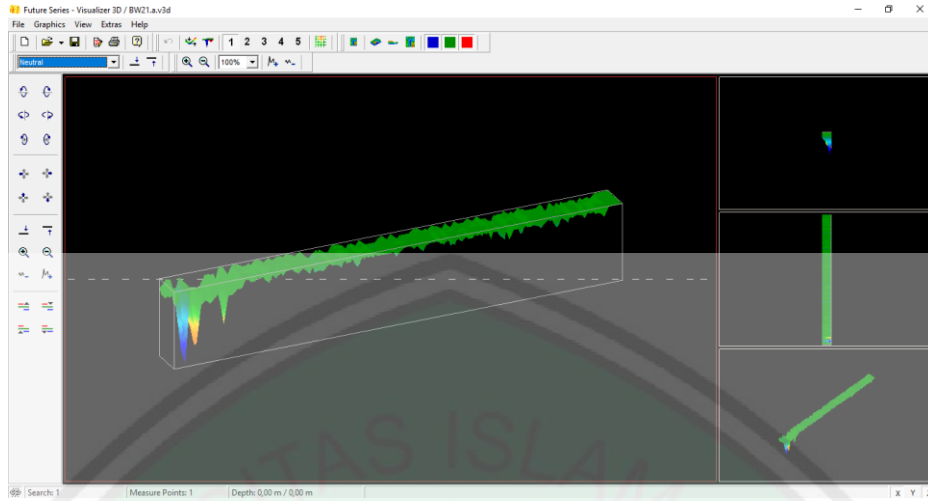
2. Area 2 (Sumur Asin)



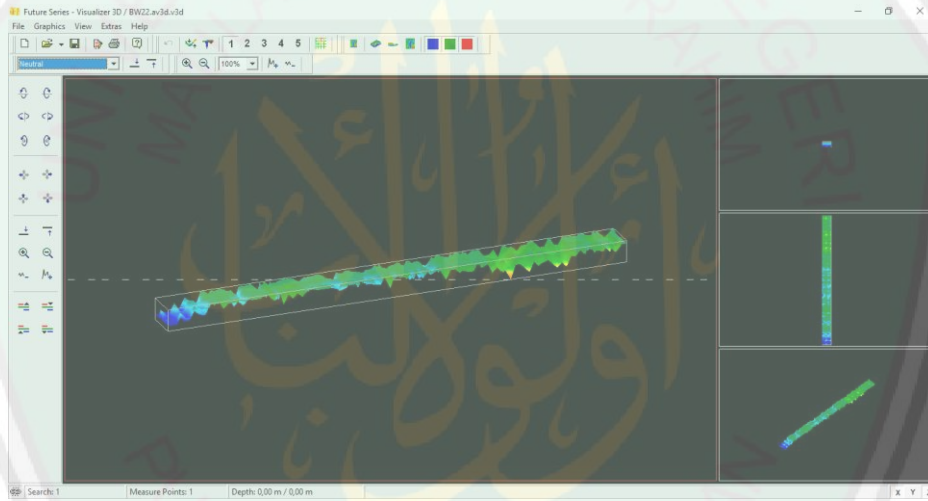
Line 19



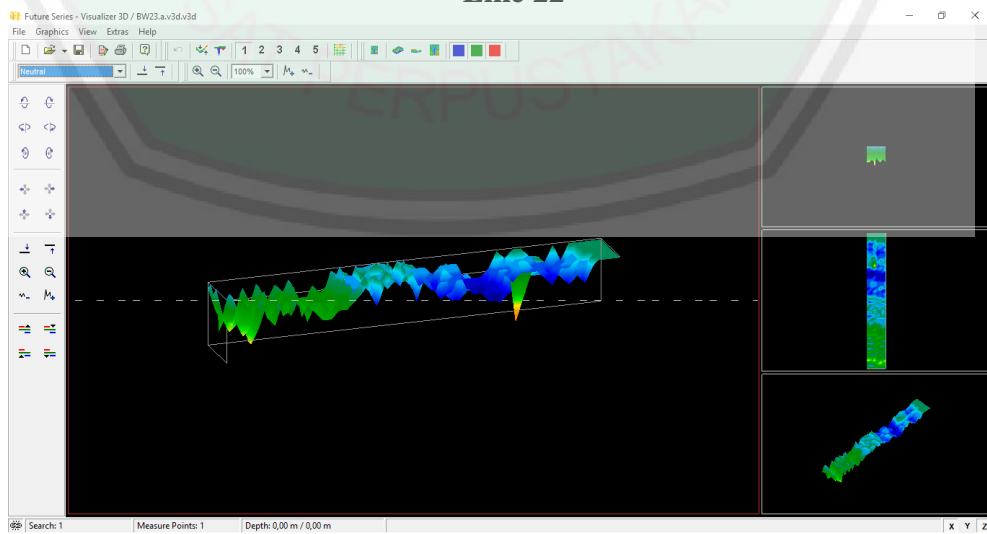
Line 20



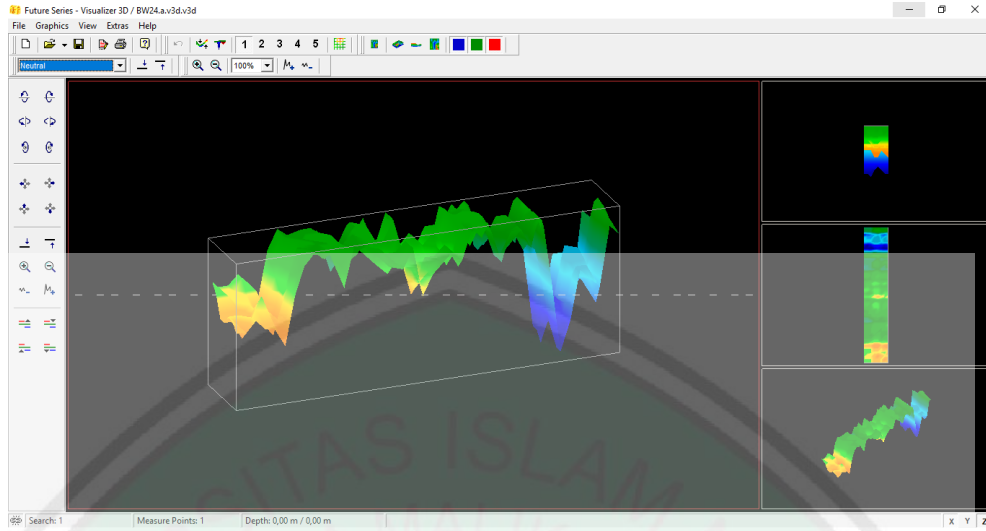
Line 21



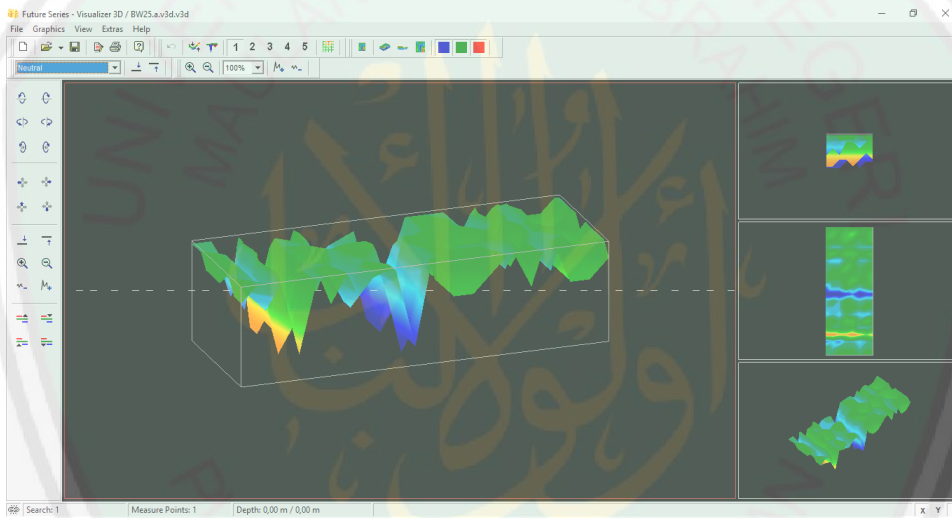
Line 22



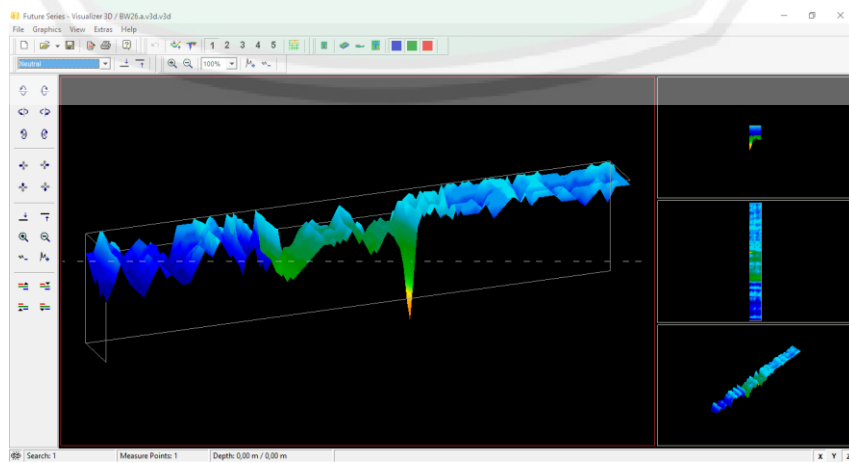
Line 23



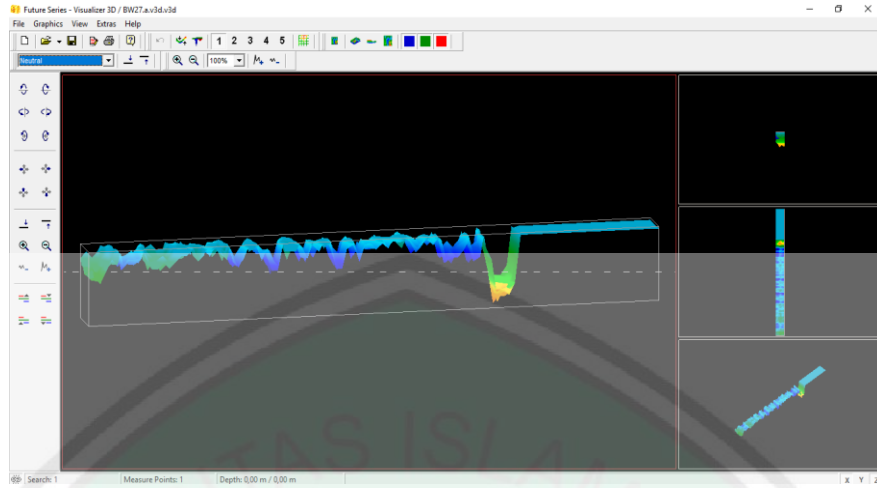
Line 24



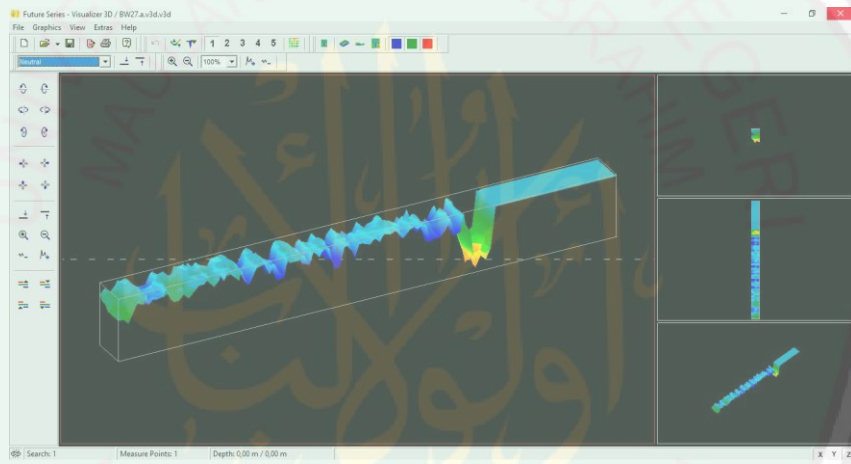
Line 26



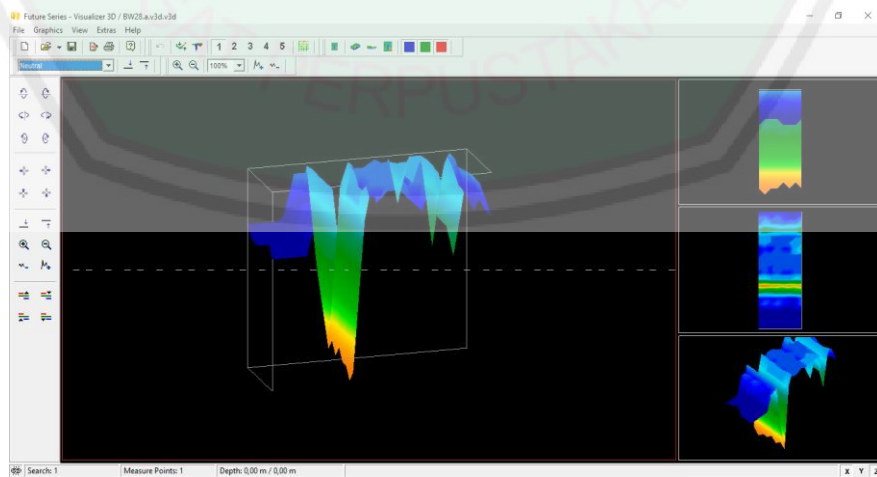
Line 27



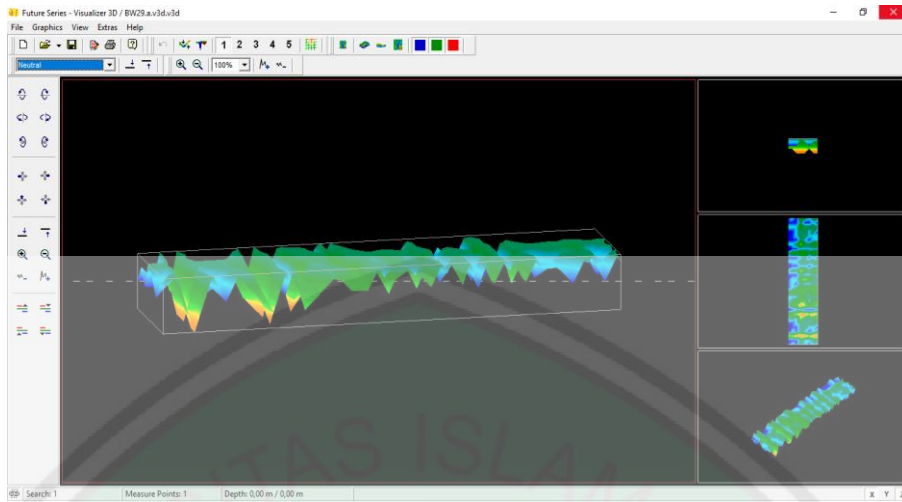
Line 28



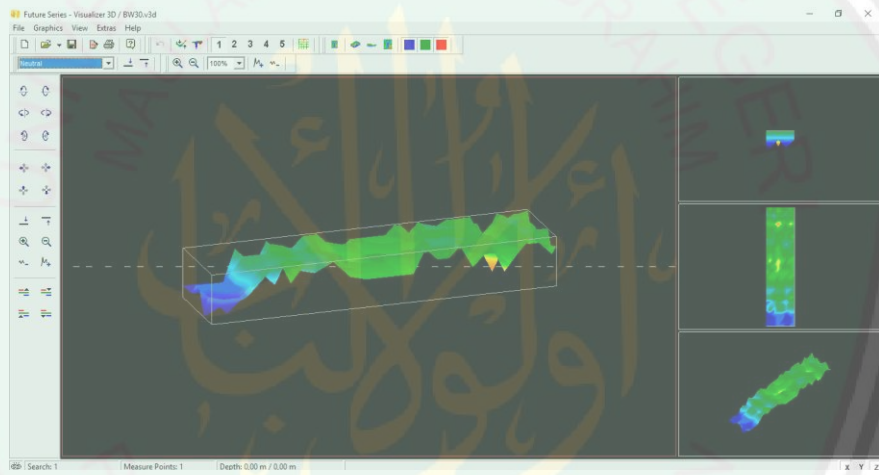
Line 29



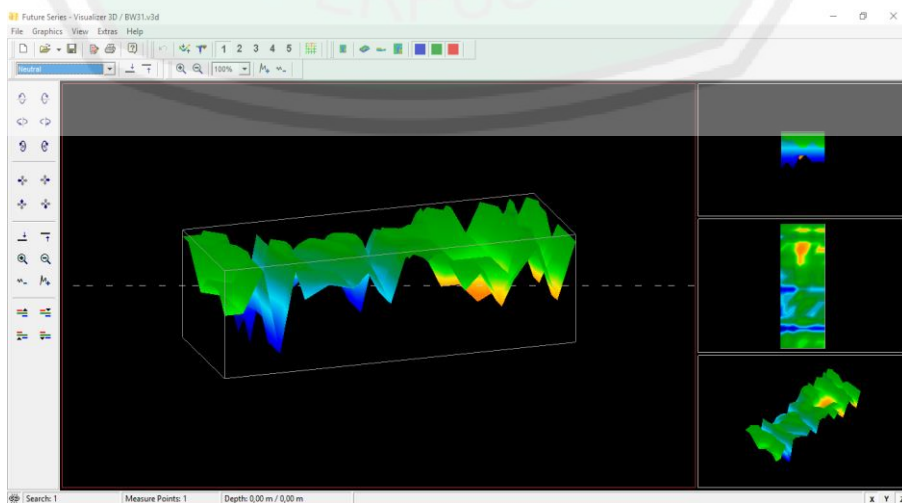
Line 30



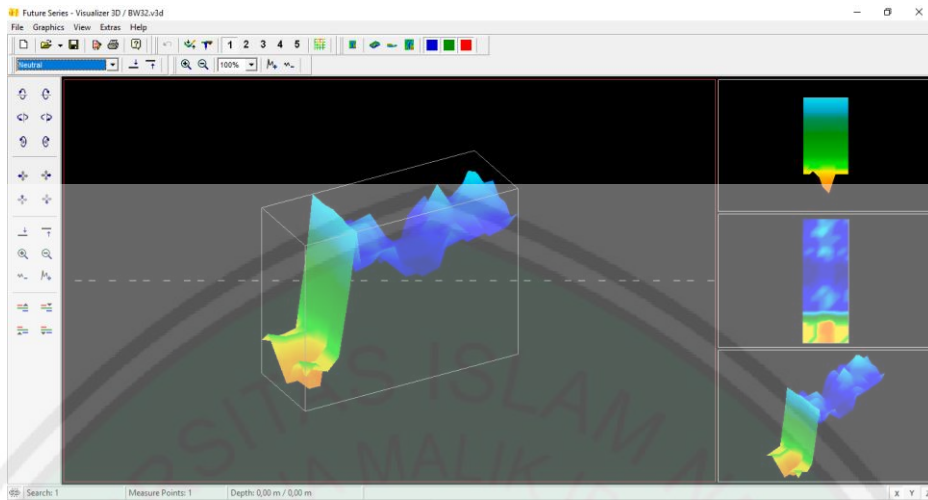
Line 31



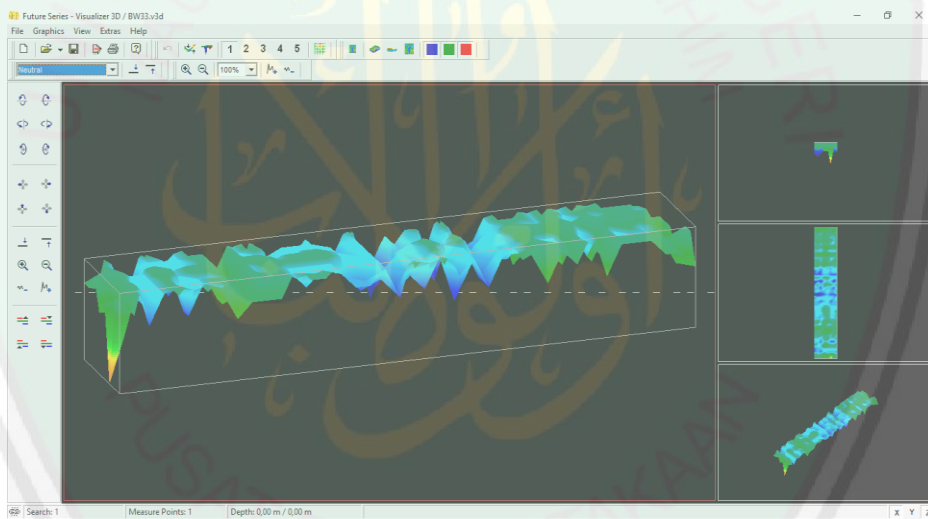
Line 32



Line 33



Line 34



Line 35

Lampiran 3 Aplikasi *Ground Penetrating Radar (GPR) Future Series 2005*

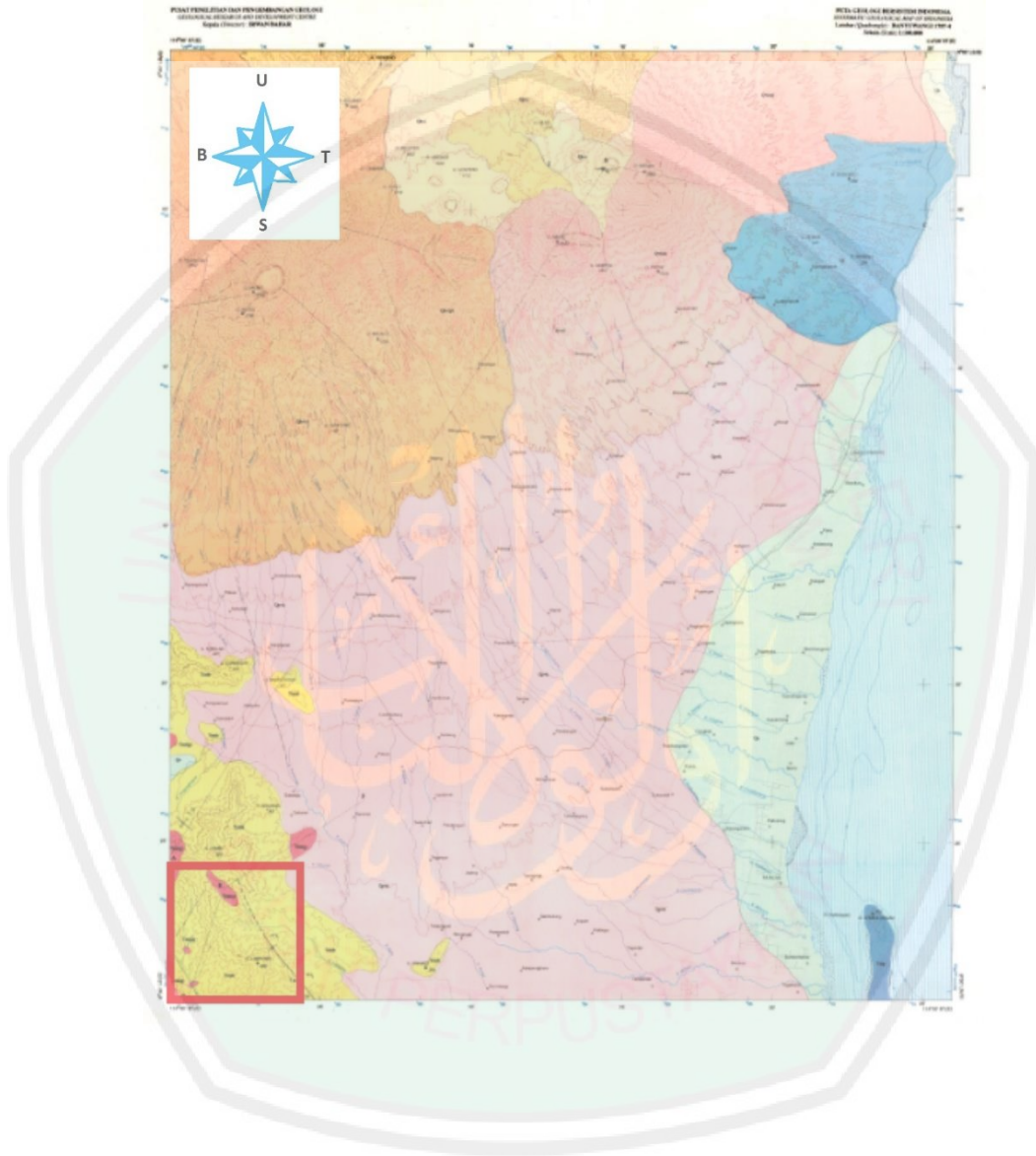
1. Alat GPR

1. *External Power Supply*
2. *Control Unit OKM*
3. *Gagang Probe*
4. *USB Bluetooth* (untuk menghubungkan laptop dan alat)
5. *Probe*
6. *Laptop* dengan perangkat lunak *visualizer 3D*

2. Langkah Awal Alat GPR

1. Dipastikan *Power Supply* telah di *charge* hingga penuh.
2. Dipasangkan *Probe* dengan Gagang *Probe*.
3. Dipasangkan *Probe* dengan *Control Unit*.
4. Disambungkan *Power Supply* (9V) dengan *Control Unit*.
5. Dipasangkan *Bluetooth* ke *Control Unit*.
6. Dipasangkan *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*.
 - *Measure, equipment* = Future Series 2005.
 - *Transfer Method* = *Wireless Connection*.
 - *Work Mode* = *Ground Scan*/ sesuai desain akuisisi data.
 - *Pulse* = Sesuai desain akuisisi data.
 - *Function* = Sesuai desain akuisisi data.
 - *COM Port* = Dilihat pada bagian “*Bluetooth Devices*” → Klik kiri → *Open Bluetooth Setting* → *Tab COM Ports* → Dilihat *COM Port* berapa saja yang tersedia, kemudian dicoba masing-masing *COM Port* yang tersedia.
 - 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” (tanpa tanda petik, seluruhnya memakai huruf besar).
16. Setelah terkoneksi tekan tombol hijau pada *Control Unit*.
17. Scan GPR Dilakukan.
18. Disimpan gambar hasil scan untuk diinterpretasikan.

Lampiran 4 Peta Geologi Lembar Banyuwangi



Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



Gambar 1 Persiapan Akuisisi Data



Gambar 3 Akuisisi Data



**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 : Nur Khamidah
NIM : 11640030
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Penyelidikan Rongga Bawah Tanah di Sekitar Sumur
Pemukiman Warga Menggunakan Metode Ground
Penetrating Radar (GPR) (Studi Kasus Desa
Sumberasri) Kecamatan Purwoharjo Kabupaten
Banyuwangi
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	25 Desember 2016	Konsultasi BAB I, II, III	
3	8 Maret 2018	Konsultasi BAB I, II, III, IV dan V	
4	8 April 2018	ACC BAB I, II, III, IV dan V	
5	16 Mei 2018	Konsultasi Kajian Agama	
6	8 Juni 2018	ACC Kajian Agama	

Malang, 07 Juli 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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