

**APLIKASI METODE *GROUND PENETRATING RADAR* UNTUK
IDENTIFIKASI GUA BAWAH TANAH**

SKRIPSI

Oleh :

FARIIDATUL MUNIROH

NIM 16640061



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**APLIKASI METODE *GROUND PENETRATING RADAR* UNTUK
IDENTIFIKASI GUA BAWAH TANAH**

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:

**Fariidatul Muniroh
NIM 16640061**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

APLIKASI METODE *GROUND PENETRATING RADAR* UNTUK
IDENTIFIKASI GUA BAWAH TANAH

SKRIPSI

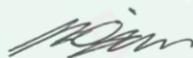
Oleh :

Fariidatul Muniroh

NIM 16640061

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal 7 Desember 2020

Pembimbing I



Irjan, M.Si

NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II



Ahmad Abtokhi, M.pd

NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003





HALAMAN PENGESAHAN

APLIKASI METODE *GROUND PENETRATING RADAR* UNTUK
IDENTIFIKASI GUA BAWAH TANAH

SKRIPSI

Oleh :
Fariidatul Muniroh
NIM 16640061

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : Desember 2020

Penguji Utama :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Rusli, M.Si</u> NIDT. 19880715 20180201 1 245	
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

HALAMAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fariidatul Muniroh
NIM : 16640061
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Aplikasi Metode *Ground Penetrating Radar*
Untuk Identifikasi Gua Bawah Tanah

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 kutip dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 7 Desember 2020
Yang Membuat Pernyataan



Fariidatul Muniroh
16640061

MOTTO

Learn from the mistakes in the past, try by using a different way, and always hope for a successful future

Do your best at any moment that you have

Always be yourself no matter what they say and never be anyone else even if they look better than you



HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini dengan penuh rasa cinta, syukur dan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk :

1. Kedua orang tuaku tercinta Ibu Eni Suntari dan Bapak Suharto yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, kasih sayang serta pengorbanan yang begitu luar biasa untuk masa depanku.
2. Untuk kakakku Roihanatul Ummah dan adikku Sayyida Faizatul serta seluruh keluarga besar Bani Mustari terimakasih atas do'a dan dukungannya.
3. Para dosen dan pembimbing, yang telah memberikan petunjuk, pengetahuan, bimbingan dan pengarahan selama penyusunan penulisan sehingga mampu menyelesaikan skripsi dengan baik.
4. Teruntuk sahabatku Sulvian Ayu Vita, Ratih Widya P.S, Icha Nur Rohma, Meylia Santana dan Ainina Farah Fauziah yang selalu memberiku semangat dan motivasi selama ini.
5. Teman-teman seperjuangan Fisika 16 dan terutama keluarga besar Geofisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan semangat dan doa selama ini hingga terselesaikannya skripsi ini.

Untuk semua pihak yang saya sebutkan, terima kasih atas semuanya. Semoga Allah SWT senantiasa membalas setiap kebaikan kalian. Serta kehidupan kalian semua juga dimudahkan dan diberkahi selalu oleh Allah SWT.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

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

Skripsi yang berjudul “**Aplikasi Metode *Ground Penetrating Radar* Untuk Identifikasi Gua Bawah Tanah**” disusun untuk memenuhi tugas akhir sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam menyelesaikan penulisan laporan penelitian ini, penulis menyadari bahwasanya dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk memberikan petunjuk, pengetahuan, bimbingan dan pengarahan selama penyusunan penulisan sehingga mampu menyelesaikan skripsi dengan baik.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing integrasi yang telah membimbing, serta mengarahkan penulis dengan sabar dalam penulisan skripsi.

6. Segenap Civitas Akademik Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, laboran dan staf karyawan yang bersedia membantu, menyediakan waktu bagi penulis untuk berbagi ilmu dan memberikan bimbingan.
7. Orang tua serta segenap keluarga yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian penulisan skripsi.
8. Teman-teman fisika dan Geofisika serta para sahabat yang selalu memberikan motivasi, bantuan, inspirasi, dan menjadi penyemangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama. Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih yang tidak terhingga pada semua pihak yang terlibat, dengan harapan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat tidak hanya untuk penulis tetapi juga untuk para pembaca.

Malang, 7 Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Batasan Masalah	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Daerah Penelitian	11
2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi	11
2.1.2 Stratigrafi	12
2.2 Karst	15
2.2.1 Pembentukan Karst	15
2.2.2 Karstifikasi	19
2.3 Gua Bawah Tanah	20
2.4 Gelombang Elektromagnetik	24
2.5 Gelombang Radar	28
2.6 GPR (<i>Ground Penetrating Radar</i>)	33
2.6.1 Prinsip Kerja GPR (<i>Ground Penetrating Radar</i>)	36
2.6.2 Persamaan yang Mendasari Pengukuran GPR	38
2.6.3 Tipe Konfigurasi Akuisisi Data GPR	40
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	43
3.2 Data Penelitian	44
3.3 Peralatan Penelitian	44
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	50
3.4.1 Proses Akuisisi Data GPR	50
3.4.2 Pengolahan Data GPR	51
3.4.3 Interpretasi Data GPR	55
3.5 Diagram Alir	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Survei	59
4.1.1 Hasil Akuisisi Data	59

4.1.2 Pengolahan Data.....	60
4.1.3 Interpretasi Gua Bawah Tanah dan Litologi Bawah Permukaan	61
4.2 Integrasi Penelitian dengan Al-Quran dan Hadist	65
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Geologi Daerah Penelitian	14
Gambar 2.2	Empat Klasifikasi Dolin	17
Gambar 2.3	Tipe-Tipe Polje	18
Gambar 2.4	Skema Proses Pelarutan Batugamping.....	19
Gambar 2.5	Pembagian Zona Gua	21
Gambar 2.6	Pola Radargram Air	36
Gambar 2.7	Ketebalan Beberapa Medium Dalam Tanah	39
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian.....	43
Gambar 3.2	Seperangkat Alat GPR OKO AB-90.....	44
Gambar 3.3	Set GPR <i>Transmitter</i>	45
Gambar 3.4	Set GPR <i>Receiver</i>	46
Gambar 3.5	Odometer	46
Gambar 3.6	<i>Power Supply</i> BP-9/12	47
Gambar 3.7	<i>Power Supply</i> BP-2/12	47
Gambar 3.8	Control Unit	48
Gambar 3.9	Laptop	48
Gambar 3.10	Kabel-Kabel GPR OKO	49
Gambar 3.11	Meteran	49
Gambar 3.12	GPS Garmin.....	49
Gambar 3.13	Proses Pengambilan Data	51
Gambar 3.14	Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 4.1	Profil Radargram Pada Masing-Masing Lintasan	60
Gambar 4.2	Sinyal Hasil Pengolahan Data Menggunakan <i>Software</i> <i>Reflex2DQuick</i>	61
Gambar 4.3	Hasil Penentuan Posisi Gua dan Litologi Batuan Menggunakan <i>Software Reflex2DQuick</i>	63
Gambar 4.4	Hasil Penentuan Posisi Gua dan Penentuan Jenis Batuan 3 Dimensi	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kelajuan dan Konstanta Dielektrik Berbagai Medium.....	33
Tabel 2.2	Penentuan Frekuensi Antena Yang Digunakan.....	42
Tabel 2.3	Rekomendasi Penggunaan Sampling Frekuensi	42



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 2 Peta Geologi Lembar Turen
- Lampiran 3 Data Penelitian
- Lampiran 4 Perhitungan
- Lampiran 5 Gua Penelitian



ABSTRAK

Muniroh, Fariidatul. 2020. **Aplikasi Metode *Ground Penetrating Radar* Untuk Identifikasi Gua Bawah Tanah**. 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 : Metode GPR, Kecepatan Gelombang Radar, Gua Bawah Tanah

Penelitian geofisika dengan metode *Ground Penetrating Radar* telah dilakukan untuk identifikasi gua bawah tanah di Sumbermanjing Pletes, Kabupaten Malang. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait gua bawah tanah pada daerah penelitian dengan menggunakan GPR OKO AB-90. Hasil dari metode ini berupa citra 2D dalam bentuk radargram yang terbaca pada *software Geoscan32*. Pengolahan data menggunakan *software Reflex2DQuick*. Pengambilan data dilakukan di sekitar mulut gua yang telah teridentifikasi diantaranya gua Gedang, gua Seneri dan gua Pletes dengan luas area penelitian sekitar 1.202,19 m² dengan scanning 4 line. Hasil dari rekaman GPR terdapat sinyal yang berbentuk lurus atau sinyal tidak ada refleksi dan amplitudo, sehingga sinyal yang tidak ada refleksi dan amplitudo diinterpretasikan sebagai posisi gua. Berdasarkan hasil interpretasi tersebut posisi gua pada semua line dengan diameter sumbu lateral gua berkisar 1-4 meter. Interpretasi jenis batuan berdasarkan nilai kecepatan perambatan gelombang radar didapatkan hasil berupa batu gampingpasiran dan batugamping.

ABSTRACT

Muniroh, Fariidatul. 2020. **The Implementation of Ground Penetrating Radar Method for Underground Cave Identification.** Thesis: Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang. Thesis Advisor: (I) Irjan, M.Si, (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Key Words: GPR Method, Radar Wave Velocity, Underground Cave

Geophysical studies using the Ground Penetrating Radar method have been done to identify the underground caves in Sumbermanjing Pletes Village, Sumbermanjing Wetan Subdistrict, Malang Regency. This study was aimed to provide information related to underground caves in the research area using GPR OKO AB-90. The result of this method was a 2D image in the form of a Radargram that is displayed in the Geoscan32 software. In addition, data processing utilized Reflex2DQuick software. Moreover, data were collected around the mouth of the caves that have been identified including Gedang cave, Seneri cave, and Pletes cave with an area of research around 1,202.19 m² with four lines scanning. The result of the GPR recording describes that there is a straight signal or the signal has no reflection and amplitude, so that the signal without reflection and amplitude is interpreted as a cave position. Based on the results of this interpretation, the position of the cave in all lines with a depth ranging from 2- 4.5 meters from the ground and the cave diameter ranging from 1-4 meters. Also, the type of material interpretation which is based on the value of the radar wave propagation speed points out sandy limestone and limestone.

المستخلص

المنيرة، فريدة. 2020. تطبيق رادار استكشاف باطن الأرض لتعرف الكهف تحت الأرض. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم افسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) إرجان، الماجستير؛ (2) أحمد أبطحي، الماجستير

الكلمات المفتاحية: طريقة GPR، الكهف تحت الأرض، سرعة سيل الموج

انعقد البحث الجيوفيزيائي عن طريقة رادار استكشاف باطن الأرض لتعرف الكهف تحت الأرض بسومير مانجنيج بليتس، دائرة مالانج. يهدف هذا البحث إلى تقديم المعلومات عن الكهف تحت الأرض في نطاق البحث باستخدام طريقة GPR نوع OKO AB-90. فنتيجة هذه الطريقة هي المسح الثنائي الأبعاد بشكل رادارغرام المقروؤ في برنامج GeoScan32 وتمت إدارة البيانات بـ Reflex2Dquick. يتم أخذ البيانات حول باب الكهوف المعروفة، منها كهف بليتس، كهف غدانج، وكهف سنيري بسعة نطاق البحث 1.202،19 متر مربع بأربع سطور. فنتائج GPR تدل على أن هنالك إشارة مستمدة بمعنى ليس له الانعكاس والذبذبة. وافترضت هذه الظاهرة كموقف الكهف. استنادا على نتيجة التأويل، توجد مواقع الكهوف في جميع السطور بعمق 2—4،5 مترا وبقطر 1—4 مترا. ودل تأويل نوع الحجارة تبعا إلى سرعة سيل موج رادار على وجود الحجر الكلسي والحجر الكلسي العضوي.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan yang mempunyai potensi sumber daya alam yang melimpah baik di darat maupun di laut. Salah satu kekayaan yang menarik dan belum banyak diketahui potensinya adalah kawasan karst.. Sekilas keadaan fisik kawasan karst memang tidak menarik, keadaannya kering dan gersang karena sedikit air yang ada di permukaan, namun karst merupakan fenomena alam yang menarik, berupa bentang alam yang berkembang pada batuan yang mudah larut oleh air, khususnya pada batugamping. Air hujan yang turun pada batuan gamping di wilayah karst akan melarutkan batugamping, sehingga dalam jangka panjang permukaan wilayah ini membentuk bukit dan lembah. Di bawah permukaan, sebagai proses pelarutan tersebut akan terbentuk dan berkembang gua dengan berbagai bentuk ornamen yang indah dan juga di dalamnya terbentuk sungai bawah tanah. Proses pelarutan tersebut sebagai perwujudan karstifikasi, terjadi secara alami selama ribuan tahun bahkan jutaan tahun.

Proses pelarutan batugamping umumnya diikuti oleh proses lainnya seperti runtuh (misalnya longsoran dan amblesan di permukaan tanah), retakan, dan transport dalam bentuk larutan melalui saluran bawah permukaan tanah. Kawasan karst dimanfaatkan untuk melestarikan fungsi hidrologi, proses geologi, keberadaan flora dan fauna serta nilai-nilai sejarah dan budaya. Di Jawa Timur daerah kawasan karst berkembang baik di Kabupaten Malang, Kediri, Blitar, Trenggalek, Banyuwangi, dan Tulungagung.

Kawasan karst di Indonesia mencakup luas sekitar 15,4 juta hektar dan tersebar hampir di seluruh Indonesia. Keberadaan kawasan ini menunjukkan bahwa pulau-pulau di Indonesia banyak yang pernah menjadi dasar laut, namun kemudian terangkat dan mengalami pengerasan. Wilayah karst biasanya berbukit-bukit dengan banyak gua. Sebagian besar kawasan karst di Indonesia tersusun oleh batuan karbonat, dan hampir tidak ada yang tersusun oleh batuan lain seperti gipsum, batugaram, maupun batuan evaporit. Hampir di setiap pulau di Indonesia memiliki batuan karbonat, tetapi tidak semuanya terkarstifikasi menjadi kawasan karst. Karst di Indonesia tersebar di sebagian besar pulau-pulau di Indonesia, namun demikian tidak semuanya berkembang dengan baik.

Kabupaten Malang merupakan salah satu daerah yang terdapat kawasan karst cukup luas. Kabupaten Malang berada pada pegunungan Selatan Jawa yang membujur mulai dari wilayah Yogyakarta di bagian barat hingga daerah Blambangan di ujung timur Jawa Timur. Perbukitan Malang Selatan merupakan kawasan yang didominasi karst dan tektonik dengan batuan induk berupa batugamping. Kawasan perbukitan Malang Selatan merupakan kawasan yang mudah terdegradasi disebabkan oleh kondisi alamiah itu sendiri maupun pengaruh aktivitas manusia sehingga bisa dikategorikan sebagai kawasan mudah rusak.

Gua-gua yang banyak ditemukan di Pulau Jawa dan Pulau lainnya di Indonesia, sebagian adalah gua batugamping atau gua karst. Gua merupakan sebuah bentukan alami berupa ruangan karst yang terbentuk pada medan batugamping di bawah tanah baik yang berdiri sendiri maupun saling terhubung dengan ruangan-ruangan lain sebagai hasil proses pelarutan oleh air maupun aktivitas geologi yang terjadi pada suatu daerah. Secara sederhana gua terbentuk karena larutnya material

batu gamping dan meninggalkan jejaknya berupa rongga-rongga. Rongga-rongga ini bila kemudian saling berhubungan akan berkembang melebar dan memanjang akibat berlanjutnya pelarutan dan aliran air bawah tanah hingga akan terbentuklah gua-gua. Gua dapat dikembangkan menjadi berbagai macam pemanfaatan seperti wisata, penyimpanan air, pertambangan, dan habitat makhluk hidup. Oleh karena itu, gua merupakan salah satu aset yang harus didata. Ketersediaan GIS dan peta sangat penting untuk menentukan pemanfaatan yang tepat bagi gua tertentu (Angriani,2018).

Daerah penelitian tersusun atas jenis batuan karst. Kawasan batuan karst banyak dijumpai gua, yang paling banyak dijumpai adalah jenis gua karst. Gua karst ini terbentuk oleh batuan karst (batugamping) yang terbentuk di dasar laut dalam kawasan yang luas. Ketebalan batugamping itu bervariasi hingga mencapai ratusan meter, proses pembentukan memerlukan waktu hingga ribuan tahun. Demikian pula dengan proses pemunculannya ke permukaan yang berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Allah menjelaskan gua bawah tanah dalam QS Al-Kahfi ayat 10 dan ayat 16 yang berbunyi :

إِذْ أَوْى الْفِتْيَةُ إِلَى الْكَهْفِ فَقَالُوا رَبَّنَا آتِنَا مِنْ لَدُنْكَ رَحْمَةً وَهَيِّئْ لَنَا مِنْ أَمْرِنَا رَشَدًا ۝ ١٠

“(Ingatlah) tatkala pemuda-pemuda itu mencari tempat berlindung ke dalam gua, lalu mereka berdoa: “Wahai Rabb kami, berikanlah kepada rahmat kepada kami dari sisi-Mu, dan sempurnakanlah bagi kami petunjuk yang lurus dalam urusan kami (ini)” (Qs. Al-Kahfi :10) (Al-Quran dan Terjemahan, 2008).

وَإِذِ اعْتَرَزْتُمُوهُمْ وَمَا يَعْبُدُونَ إِلَّا اللَّهَ فَأْوُوا إِلَى الْكَهْفِ يَنْشُرْ لَكُمْ رَبُّكُمْ مِنْ رَحْمَتِهِ وَيُهَيِّئْ لَكُمْ مِنْ أَمْرِكُمْ مَرْفَقًا ۝ ١٦

“Dan apabila kamu meninggalkan mereka dan apa yang mereka sembah selain Allah, maka carilah tempat berlindung ke dalam gua itu, niscaya Rabbmu akan melimpahkan sebagian rahmat-Nya kepadamu dan menyediakan sesuatu yang berguna bagimu dalam urusan kamu” (QS. Al-Kahfi :16) (Al-Quran dan Terjemahan, 2008).

Berdasarkan ayat di atas, Allah SWT menjelaskan tanda-tanda kekuasaan-Nya lewat ciptaan kekayaan alamnya yaitu gua, di dalam ayat tersebut Allah SWT mulai menguraikan kisah Ashhabul Kahfi kepada Rasulullah SAW. Allah SWT mengingatkan kepada Rasul-Nya bahwa ketika zaman dahulu beberapa pemuda keturunan bangsawan di suatu negeri, karena takut penganiayaan rajanya, pemuda itu mencari tempat berlindung ke dalam gua pada sebuah gunung. Tindakan itu mereka tujukan untuk menjaga dan membentengi dirinya dari fitnah kaumnya terhadap mereka. Di dalam gua inilah mereka membulatkan tekadnya, menghabiskan masa remajanya untuk mengabdikan kepada Allah SWT. Selain itu, mereka juga memohon agar Allah memudahkan bagi mereka jalan yang benar untuk menghindari godaan dan kezaliman orang-orang kafir. Seiring berkembangnya zaman gua bawah tanah sudah beralih fungsi sebagai tempat destinasi wisata, tempat penambangan mineral, tempat penyimpan cadangan air dan sebagainya. Sehingga kita sebagai makhluk Allah yang paling mulia dengan diciptakan akal supaya kita berfikir dan mempelajari apa yang telah diciptakan di atas langit dan di kedalaman bumi untuk mengingat kebesaran kuasa-Nya, sudah menjadi keharusan manusia untuk melestarikan dan menjaga alam ciptaan-Nya, yakni dengan mempelajari dan mengembangkan kekayaan alam semesta seperti gua bawah tanah menjadi hal yang lebih baik dan bermanfaat bagi khalayak.

Allah SWT menciptakan kawasan / daerah berstruktur gamping (karst) lengkap dengan kondisi geologinya yang menawan juga memiliki maksud dan tujuan. Kondisi geologi karst identik dengan gua-gua bawah permukaan yang di dalamnya terkadang ada aliran-aliran sungai bawah permukaan yang nantinya akan menjadi sumber mata air yang sangat bermanfaat bagi kehidupan makhluk-Nya

tidaklah luput dari sifat kemurahan sang kholik terhadap kholifahnya. Belum lagi dengan kesuburan tanah pada kawasan karst yang merupakan nikmat Allah yang patut disyukuri karena dengan kondisi tanah yang subur segala jenis tumbuhan yang berguna bagi kehidupan manusia akan tumbuh subur pada kawasan tersebut. Melihat nikmat Allah yang tiada tara tersebut maka dihimbau bagi seluruh makhluk penghuni muka bumi ini terkhusus penghuni kawasan karst agar mau melestarikan kawasan karst karena kawasan karst tersebut memiliki potensi sumberdaya alam yang luar biasa untuk dikembangkan.

Melihat kondisi lingkungan yang terjadi saat ini, dalam Al-qur'an Allah menyuruh kita untuk melakukan perjalanan di muka bumi dan menengok kembali kisah-kisah umat terdahulu yang binasa karena ingkar kepada Allah SWT. Banyak kisah-kisah orang terdahulu seperti cerita para nabi, sahabat-sahabat rasul dan tabi'in. Pada masa itu manusia juga banyak melakukan kerusakan di bumi. Sampai akhirnya Allah SWT memusnahkannya. Usaha yang dapat kita lakukan untuk memelihara dan melestarikan lingkungan hidup diantaranya; Rehabilitasi sumberdaya alam berupa hutan, tanah dan air yang rusak. Pendayagunaan daerah pantai, wilayah laut dan kawasan udara perlu dilanjutkan dan makin ditingkatkan tanpa merusak mutu dan kelestarian lingkungan hidup. Membudidayakan tanaman dan hidup bersih. "kebersihan adalah sebagian dari iman", maka rawatlah bumi ini dan sadarlah kita sebagai khalifah yang tugasnya untuk merawat, mengelola dan memanfaatkan apa yang ada di bumi ini. Seperti yang dijelaskan dalam surat Ar-Ruum ayat 41 berikut:

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

Artinya : “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS. *Ar-Ruum* :41).

Ayat di atas menyebutkan bahwa bencana atau musibah yang terjadi adalah karena ulah tangan manusia sendiri. Tingkah laku / ulah manusia itu ada beberapa jenis, salah satunya adalah ulah manusia secara fisik. Contoh umumnya seperti kerusakan kawasan karst akibat penambang gamping yang tidak bertanggungjawab dan eksploitasi airtanah yang berlebihan sehingga menjadikan bencana alam seperti tanah longsor, banjir, amblesan tanah dan lain-lain yang sangat berbahaya dan merugikan manusia. Maka dari itu Allah SWT menciptakan khalifah di muka bumi untuk menjaga bumi dan melestarikannya agar terhindar dari kerusakan. Khalifah yang dimaksud disini juga merupakan seorang manusia yang dianggap mampu memimpin dan menegakkan hukum-hukum Allah SWT. Maka dari itu, peran khalifah sangat penting dalam menjaga dan melestarikan bumi sebagai tempat tinggalnya dan Allah melarang kita untuk merusak bumi setelah diciptakan. Kawasan karst memiliki kekayaan potensi dan sumberdaya yang berlimpah akan tetapi sangat rentan terhadap resiko kerusakan lingkungan. Sebelum kemerosotan fungsi kawasan karst mencapai titik paling rendah perlu dicari alternatif untuk mencegahnya. Oleh sebab itu, kita harus menjaga kelestarian kawasan karst tersebut karena kawasan karst memiliki potensi sumberdaya alam yang luar biasa untuk dikembangkan.

Penelitian ini berada pada gua Gedang, gua Seneri dan gua Pletes yang terletak di Desa Sumbermanjing Pletes, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang. Gua Gedang terletak pada koordinat 08°15'35.73'' LS dan 112°40'55.80'' BT, gua Seneri terletak pada koordinat 08°15'35.84'' LS dan

112°40'55.14'' BT dan gua Pletes terletak pada koordinat 08°15'35.1'' LS dan 112°40'56.0'' BT. Keberadaan gua ini belum pernah terdata sebelumnya dan masih belum diketahui litologi bawah permukaan, kedalaman gua dan panjang gua belum tereksplorasi secara menyeluruh, karena belum adanya penelitian terdahulu di gua tersebut.

Survei geofisika bertujuan untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi khususnya dalam hal ini adalah kondisi sistem gua bawah tanah di kawasan karst. Salah satu metode yang akan digunakan dalam penelitian kali ini yaitu metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) yakni untuk mengidentifikasi gua bawah tanah. Metode GPR merupakan salah satu metode survei dan eksplorasi kondisi di bawah tanah yang menggunakan prinsip geofisika elektromagnetik. Metode GPR ini memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi objek yang terkubur di dalam tanah dan mengevaluasi kedalaman objek tersebut, juga untuk mengetahui litologi bawah permukaan dangkal dengan melihat kontras konduktivitasnya. Keberadaan gua bawah tanah di daerah karst dapat diketahui dengan cara ketika sinyal elektromagnetik yang ditembakkan mengenai suatu benda yang berbeda (heterogen) maka sinyal yang dipantulkan akan besar dan perbedaan cepat rambat yang terekam akan terlihat jelas. Kedalaman gua bawah tanah juga dapat diketahui karena dalam alat georadar juga merekam kecepatan gelombang elektromagnetik dan waktu tempuh sinyal sewaktu gelombang mulai ditembakkan hingga gelombang tersebut mengenai objek dan memantul kembali ke antena perekam. Sehingga dengan menggunakan metode ini, kita dapat memetakan struktur bawah permukaan bumi.

Keunggulan menggunakan metode georadar adalah terkait dalam hal keakurasian data yang didapat. Metode georadar telah menggunakan teknologi alat yang lebih canggih sehingga keakurasian data yang didapat jauh lebih baik dibandingkan dengan metode geofisika yang lain. Cara pengoperasian di lapangan juga lebih mudah karena frekuensi yang digunakan sangat tinggi (MHz) maka resolusi yang diperoleh sangat tinggi, dan juga teknik akuisisi metode GPR bisa dilakukan pada arah horizontal maupun vertikal. Selain itu metode ini juga bersifat *non-destructive* sehingga cocok untuk pemetaan objek seperti mengidentifikasi gua bawah permukaan karst tanpa merusak struktur gua.

Aplikasi GPR dapat digunakan untuk survei benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton. Survei GPR untuk benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal dapat dilakukan oleh satu orang dan antena GPR dapat ditarik dengan menggunakan tangan atau ATV. GPR ini dapat digunakan untuk mencari lokasi pipa, tank, drum, pencitraan beton, dan studi arkeologi. Untuk survei GPR pada kedalaman yang jauh menggunakan antena GPR dengan frekuensi rendah. Survei GPR ini dapat digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya sumber air di bawah tanah, mempelajari lapisan tanah, kedalaman batuan dasar dan melaksanakan penelitian arkeologi.

Identifikasi gua bawah tanah menggunakan metode GPR pernah dilakukan oleh Shofiana, 2016 yang bertujuan untuk mengidentifikasi gua bawah tanah dan memetakan zona rawan amblesan atau zona *cavity* (rongga-rongga) yang diduga salah satu penyebab adanya potensi amblesan tanah berupa luweng / *sinkhole* profil 2D horizontal. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan

difokuskan pada penyajian data GPR dalam profil 2D vertikal, sehingga diharapkan objek gua dapat teramati baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Apakah metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) dapat mengidentifikasi gua bawah tanah di daerah penelitian ?
2. Bagaimana litologi bawah permukaan di daerah penelitian berdasarkan interpretasi data GPR (*Ground Penetrating Radar*) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengidentifikasi gua bawah tanah di daerah penelitian berdasarkan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*).
2. Untuk mengetahui litologi bawah permukaan di daerah penelitian berdasarkan interpretasi data GPR (*Ground Penetrating Radar*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Sebagai bahan informasi bagi pemangku kepentingan (*stakeholder*) agar dapat mengambil langkah-langkah nyata dalam melestarikan keberadaan gua bawah tanah untuk pengembangan wisata alam.

2. Dapat menambah wawasan pengetahuan khususnya dalam bidang fisika tentang penggunaan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) yang menggambarkan litologi bawah permukaan di gua bawah tanah.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini akan dilakukan pada 4 lintasan dengan panjang lintasan yang berbeda. Line A-A' terletak pada koordinat A ($8^{\circ}15'34.63''$ LS dan $112^{\circ}40'55.62''$ BT) – A' ($8^{\circ}15'34.66''$ LS dan $112^{\circ}40'56.46''$ BT). Line B-B' pada koordinat B ($8^{\circ}15'35.52''$ LS dan $112^{\circ}40'55.92''$ BT) – B' ($8^{\circ}15'35.46''$ LS dan $112^{\circ}40'54.90''$ BT). Line C-C' pada koordinat C ($8^{\circ}15'34.87''$ LS dan $112^{\circ}40'55.63''$ BT) – C' ($8^{\circ}15'34.90''$ LS dan $112^{\circ}40'56.47''$ BT). Line D-D' terletak pada koordinat D ($8^{\circ}15'35.10''$ LS dan $112^{\circ}40'55.65''$ BT) – D' ($8^{\circ}15'35.12''$ LS dan $112^{\circ}40'56.46''$ BT).
2. Pengambilan data pada penelitian menggunakan metode *Radar Reflection Profiling* dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPR (*Ground Penetrating Radar*) OKO unit antena AB-90. Data yang diperoleh diolah menggunakan *software Geoscan32* dan *software Reflex2DQuick*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Daerah Penelitian

2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi

Dataran tinggi terkenal sebagai “Dataran Malang” menempati daerah di sekitar kota Malang, dan meluas ke arah selatan pada lembar Turen, dicirikan oleh dataran hampir rata dengan tonjolan atau bukit rendah dan diapit oleh dua deretan pegunungan yaitu Pegunungan Arjuna – Kutugan di sebelah barat dan Pegunungan Tengger – Semeru di sebelah timur. Ketinggiannya terletak antara 400 m dan 600 m di atas muka laut. Tonjolan atau bukitnya diantaranya Gunung Bret (+601 m), Gunung Betung (+585 m) dan Gunung Macan. Sungainya berpola aliran memancar, sejajar dan meranting bersifat sementara dan berkala. Sungai utamanya Sungai Brantas, Sungai Yilu, Sungai Bango dan Sungai Pakel. Dataran ini ditempati oleh batuan epiklastika terutama tuf dan merupakan daerah lahan pertanian, perkebunan dan pemukiman.

Wilayah Desa Sumbermanjing Pletes Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang merupakan wilayah yang masuk ke dalam peta geologi lembar Turen. Fisiografi regional daerah Malang Selatan masuk ke dalam zona pegunungan selatan. Zona pegunungan selatan terletak pada bagian selatan dan relatif sejajar dengan pantai selatan Pulau Jawa. Pegunungan selatan umumnya merupakan blok yang terangkat dan agak miring ke arah selatan. Pada bagian barat merupakan pegunungan dengan dominan batuan karst (kapur) yang umumnya disebut dengan pegunungan seribu (Gunung Sewu), sedangkan bagian timur selain tersusun oleh batugamping juga oleh aktivitas vulkanik yang berkomposisi asam-

basa (Bammelen, 1949). Pola morfologi pegunungan selatan Jawa Timur banyak dikontrol oleh litologi dan struktur geologi sehingga menimbulkan tiga kenampakan morfologi yaitu dataran alluvial, perbukitan dengan relief landai dan pegunungan dengan relief tinggi. Dataran alluvial pada umumnya menempati daerah-daerah penurunan yang terjadi oleh adanya graben pada daerah tersebut. Daerah perbukitan dengan relief landai ditempati oleh batupasir dan batugamping. Daerah pegunungan dengan relief tinggi dibentuk oleh batuan tufa, breksi, lava dan batuan intrusi (Nahrowi dkk, 1978).

2.1.2 Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi lembar Turen yang berada di daerah Sumbermanjing Wetan dan sekitarnya mencakup lima formasi yang berurutan dari tua ke muda, yaitu formasi mandalika, formasi wuni, formasi nampol, formasi wonosari dan endapan tuf gunungapi. Tatanan stratigrafi regional menunjukkan bahwa formasi tertua berumur Oligosen akhir yaitu formasi mandalika, di atasnya diendapkan secara tidak selaras formasi wuni yang berumur Miosen tengah, secara menjari selaras diendapkan formasi nampol yang berumur sama, di atasnya diendapkan formasi wonosari berumur Miosen tengah sampai Miosen akhir dan secara tidak selaras di atasnya diendapkan formasi yang termuda yaitu formasi endapan tuf gunungapi yang berumur Kwartir (Sujanto dkk, 1992).

Stratigrafi regional daerah penelitian pada Desa Sumbermanjing Pletes, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang termasuk ke dalam formasi wonosari (TMWL). Formasi wonosari (TMWL) terdiri dari batugamping, napal pasiran, dan sisipan batulempung. Batugamping umumnya terdiri dari batugamping terumbu, batugamping kristalin dan batugampingpasiran, sebagian pejal sebagian

berlapis. Pada beberapa batugamping dijumpai fosil foraminifera, koral, *brachiopoda*, *gastropoda* dan *moluska*. Batuan ini ke arah atas berangsur-angsur berubah menjadi batugamping berlapis yang kaya akan foraminifera dan batugamping terumbu yang pejal membentuk topografi karst. Fosil-fosil yang dikenali dalam formasi ini adalah *Lepidocyclina Sumatrensis brady*, *Miogypsina sp*, *Globigerinoides sp*, *Globiquadrina sp*, *Amphitegina sp*, dan *Operculina sp* yang menunjukkan kisaran umur dari Miosen Awal sampai Miosen Tengah (Santosa dan Suwarti, 1992).

Formasi Wonosari (Tmwl) terdiri dari 4 batuan yaitu:

1. Batugamping:

- a. Batugamping koral, warna putih keruh kelabu, banyak mengandung fosil foram, ganggang, dengan permukaan kasar dan tajam, tebal lapisannya berkisar 3-50 meter.
- b. Batugamping lempungan, warna kelabu-kehitaman, berfosil foram sebagai persilangan dengan lainnya dan tebalnya beberapa puluh centimeter.
- c. Batugamping tufan, warna kelabu terang, setempat berbentuk fosil moluska, algae, sebagai persilangan dengan batugampingpasiran, tebal lapisan 0,5-20 centimeter.
- d. Batugampingpasiran, Fasies batugamping pasiran memiliki struktur sedimen berlapis sejajar. Penamaan fasies ini merujuk pada penamaan batuan campuran silisiklastik-karbonat. Fasies ini berwarna segar abu-abu kecoklatan dengan warna lapuk coklat gelap. Ukuran butir pasir sedang - kerakal, bentuk butir angular, kemas tertutup. Komposisi didominasi oleh cangkang fosil berupa koral, *red algae*, *moluska*, *lepidocyclina* jenis

neprolepidina, *myogipsina sp.*, *sorites sp.*, *spaerogypsina globula*, *paleonumulites sp.*, *moluska* dan *miliolina* kecil. Fragmen lainnya berupa material *silisiklastik* terutama kuarsa, *feldspar* dan fragmen batuan, dan tebal lapisan 0,5-2 meter.

2. Bahan Batu Napal

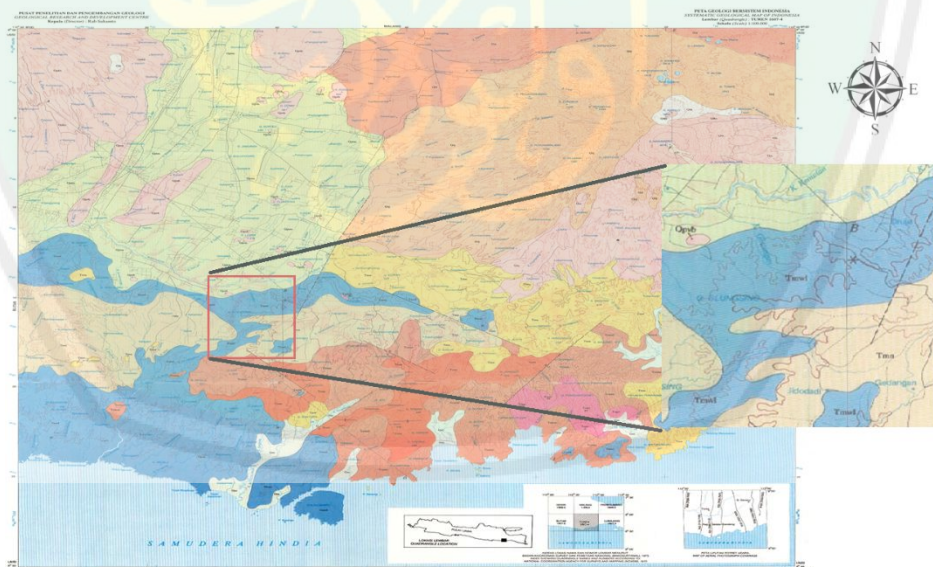
Warna kelabu sampai putih kehijauan, berlapis tipis 3-10 cm, berfosil foram, moluska hingga sisa tumbuhan, sebagai sisipan batugamping.

3. Bahan Batu Lempung

Warna hitam, setempat terdapat moluska air tawar, sisa tumbuhan dan bersisipan lapisan tipis gambut.

4. Bahan Batu Kalsirudit

Warna coklat merah, tebal lapisan antara 5 dan 20 cm, sebagai sisipan dalam batugamping.



Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Sujanto dkk, 1992)

Keterangan: TMWL (warna biru) merupakan formasi wonosari meliputi : batugamping, napal pasiran dan sisipan batulempung.

2.2 Karst

2.2.1 Pembentukan Karst

Karst adalah area yang memiliki karakteristik unik baik dalam segi geomorfologi dan hidrologi. Ford dan Williams (1992) mengartikan karst sebagai suatu medan dengan karakteristik hidrologi dan bentuk lahan yang diakibatkan oleh kombinasi batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang dengan baik, seperti batuan gipsum dan batugaram. Namun demikian, karena batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat. Beberapa faktor yang menyebabkan pembentukan karakteristik karst adalah adanya lembah tertutup yang memiliki bentuk ukuran berbeda, kelangkaan drainase permukaan dan adanya gua dari sistem aliran bawah tanah (Summerfield, 1991). Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang berarti lahan gersang berbatu. Istilah ini di negara asalnya sebenarnya tidak berkaitan dengan batugamping dan proses pelarutan, namun saat ini istilah karst telah diganti untuk istilah bentuk lahan hasil proses pelarutan.

Beberapa ilmuwan lain menyebutkan pula bahwa asal mula ditemukannya daerah yang akhirnya dinamakan karst adalah akibat adanya perumputan (*grassing*) oleh ternak pada suatu kawasan, sehingga tersingkaplah batuan dan fenomena di dalamnya yang ternyata sangat khas dan unik. Ciri utama kawasan karst adalah terdapatnya cekungan-cekungan tertutup yang disebut sebagai dolin, dolin saling menyatu membentuk uvala. Di beberapa tempat, dolin dapat terisi air membentuk danau dolin. Kenampakan permukaan daerah karst selain dolin dan uvala adalah polje, ponor, pinnacle, menara karst, atau kubah karst. Kombinasi dolin dan kubah

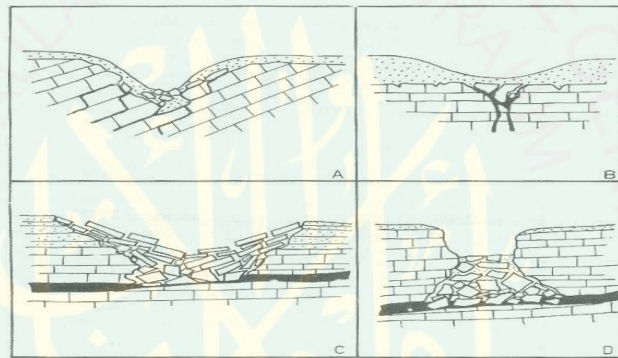
menyebabkan panorama karst menjadi unik dengan bukit-bukit yang terhampar luas.

a. Dolin dan Uvala

Dolin merupakan bentuk lahan yang paling banyak dijumpai di kawasan karst. Bahkan di daerah beriklim sedang, karstifikasi selalu diawali dengan terbentuknya dolin utama akibat dari proses pelarutan yang terkonsentrasi. Tempat konsentrasi pelarutan merupakan tempat konsentrasi kekar, tempat konsentrasi mineral yang paling mudah larut, perpotongan kekar, dan bidang perlapisan batuan miring. Dolin-dolin tunggal akan berkembang lebih luas dan akhirnya dapat saling menyatu. Secara singkat dapat dikatakan bahwa karstifikasi (khususnya di daerah iklim sedang) merupakan proses pembentukan dolin dan gua-gua bawah tanah, sedangkan bukit-bukit karst merupakan bentukan sisa / residual dari perkembangan dolin.

Berdasarkan cara pembentukannya dolin diklasifikasikan menjadi empat dolin sebagai berikut: 1) Dolin pelarutan terbentuk karena pelarutan yang terkonsentrasi akibat dari keberadaan kekar, pelebaran pori-pori batuan, atau perbedaan mineralogi batuan karbonat. Dolin pelarutan terbentuk hampir di sebagian besar awal proses karstifikasi; 2) Dolin alluvial pada dasarnya merupakan dolin pelarutan, namun dalam kasus ini batugamping tertutup oleh endapan alluvial. Cekungan tertutup yang terbentuk di endapan alluvial disebabkan oleh terbawanya endapan alluvium yang berada di atas rekahan hasil pelarutan ke sistem drainase bawah tanah. Infiltrasi melalui endapan alluvium membawa material halus ke sistem kekar di bawahnya yang berhubungan dengan gua-gua dalam tanah, sehingga endapan di atasnya menjadi cekung; 3)

Dolin amblesan terjadi apabila lapisan batugamping ambles secara perlahan-lahan karena di bawah lapisan batugamping terdapat rongga; 4) Dolin runtuh terbentuk apabila gua atau saluran dekat permukaan runtuh karena tidak mampu menahan atapnya. Dolin runtuh terjadi bila runtuh terjadi seketika, sedangkan dolin amblesan terjadi secara perlahan-lahan (Bogli, 1980). Dolin majemuk (*compound doline*) atau sering disebut dengan uvala. Uvala merupakan gabungan dari dolin-dolin yang terbentuk di karst pada stadium perkembangan karst agak lanjut. Ukuran uvala berkisar antara 500-1000 meter dengan kedalaman 100-200 meter dengan ukuran tidak teratur (Sweeting, 1972).

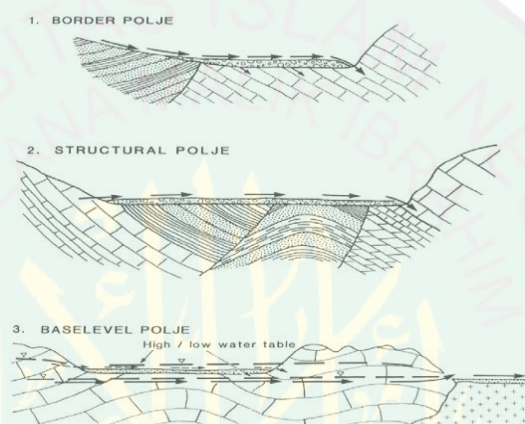


Gambar 2.2 Empat Klasifikasi Dolin (Ford dan Williams, 1992)

b. Polje

Polje merupakan istilah karst dinaric yang berasal dari bahasa Slovenia yang berarti ladang yang dapat ditanami. Istilah polje di negara asalnya tidak mempunyai kaitan dengan bentuk lahan karst. Polje menurut Cvijic merupakan bentuk lahan karst yang mempunyai elemen cekungan yang lebar, dasar yang rata, drainase karstik, bentuk memanjang yang sejajar dengan struktur lokal dan dasar polje mempunyai lapisan batuan tersier (Haryono, 2004). Klasifikasi polje menjadi tiga kelompok, yaitu *border polje*, *structural polje*, dan *baselevel polje*. Polje perbatasan (*border*) terbentuk apabila sistem hidrologi didominasi oleh

masuk air alogenik (dari luar sistem karst). Polje tipe ini berkembang apabila muka air tanah di batuan non karst terhampar hingga batuan karbonat. Polje struktural terbentuk karena pengaruh struktur (graben atau sesar miring) dengan batuan impermeabel di dalamnya. Polje baselevel terbentuk apabila regional muka air tanah memotong permukaan tanah. Polje tipe ini pada umumnya terbentuk di bagian bawah (*outflow*) dari kawasan karst (Ford dan Williams, 1992).



Gambar 2.3 Tipe-Tipe Polje (Ford dan Williams, 1992)

Keunikan lain dari kawasan karst adalah keberadaan gua dan sungai bawah tanah. Gua-gua tersebut pada umumnya bertingkat dengan ukuran kurang dari satu meter hingga ratusan meter persegi dengan bentuk vertikal miring maupun horizontal. Gua-gua karst hampir semuanya dihiasi dengan ornamen (*speleothem*) yang sangat beragam dari mulai yang sangat kecil (*helectite*) hingga yang sangat besar (*column*) dengan bentuk dan warna yang bervariasi (Tjahyo dkk, 1999).

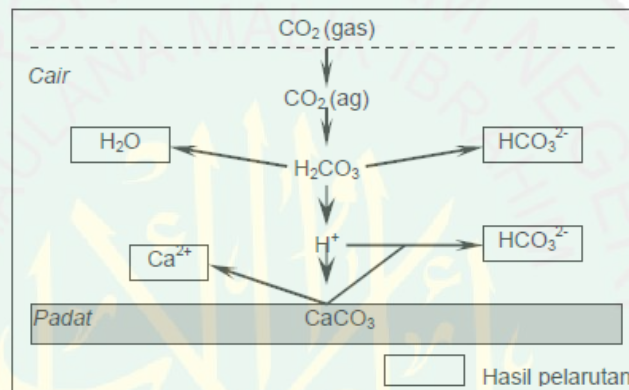
Ciri-ciri karst sebagai berikut (Ford dan Williams, 1989):

1. Terdapatnya cekungan tertutup atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk.
2. Terdapat sedikit atau tidak ada sungai permukaan.

3. Terdapatnya gua dari sistem drainase bawah tanah.

2.2.2 Karstifikasi

Karstifikasi menurut Ford dan Williams (1989) merupakan proses pembentukan bentuk lahan karst didominasi oleh proses pelarutan. Awal pembentukannya yaitu larutan CO_2 di dalam air membentuk H_2CO_3 . Larutan H_2CO_3 tidak stabil terurai menjadi H^+ dan HCO_3^{2-} . Ion H^+ inilah yang selanjutnya menguraikan CaCO_3 menjadi Ca^{2+} dan HCO_3^{2-} .



Gambar 2.4 Skema Proses Pelarutan Batugamping (Trudgil, 1985)

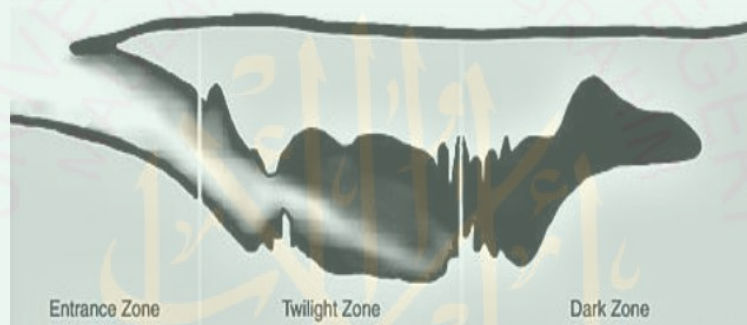
Karstifikasi dipengaruhi oleh dua kelompok faktor yaitu faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan ada tidaknya proses karstifikasi berlangsung, terdiri atas batuan yang mudah larut, kompak, tebal dan mempunyai banyak rekahan; curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun); dan batuan terekspos di ketinggian yang memungkinkan perkembangan sirkulasi air / drainase secara vertikal. Sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi, terdiri atas temperatur dan penutupan lahan (Haryono, 2004).

2.3 Gua Bawah Tanah

Gua merupakan sebuah bentukan alami berupa ruangan karst yang terbentuk pada medan batugamping di bawah tanah baik yang berdiri sendiri maupun saling terhubung dengan ruangan-ruangan lain sebagai hasil proses pelarutan oleh air maupun aktivitas geologi yang terjadi pada suatu daerah. Proses pembentukan gua di suatu kawasan karst melibatkan air dan udara. Air berperan sebagai zat pelarut dan pengikis mineral-mineral karbonat, sedangkan udara berperan sebagai zat yang dapat menciptakan sifat asam di air tersebut. Saat air bekerja di dalam batugamping, maka proses-proses pelarutan, pengendapan, runtuh, dan evolusi gua akan terjadi. Sebagaimana diketahui bahwa proses pelarutan batugamping akan lebih cepat dengan adanya gas CO_2 di dalam air. Proses pembentukan sebuah gua juga dipengaruhi oleh jenis batuan dan struktur geologi. Menurut Bahagiarti (2004), gua yang terdapat di kawasan karst terbentuk oleh proses disolusi yang dilakukan oleh air yang bersifat asam terhadap batugamping. Keasaman air dipengaruhi oleh banyaknya kandungan gas CO_2 yang terlarut di dalamnya. Sebagaimana diketahui reaksi antara CO_2 dengan air akan membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Gua yang terdapat di Indonesia sebagian besar terbentuk di batuan yang mengandung karbonat tinggi atau sebagian besar terbentuk di wilayah yang tersusun oleh batuan kapur (batugamping).

Beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya gua adalah fisiografi regional, sistem percelahan-rekahan, struktur dari batuan karbonat, tektonisme setempat, sifat petrologi dan kimiawi batuan karbonat, volume air yang dilalui, jenis dan jumlah sedimentasi, runtuh, iklim masa kini dan masa lalu, vegetasi di atas lorong, bentuk semula dari gua tersebut dan tindakan manusia.

Lingkungan gua dapat dibagi menjadi tiga zona, yaitu *entrance zone*, *twilight zone*, dan *dark zone*. *Entrance zone* merupakan zona yang berada dekat mulut gua sehingga tergolong zona yang terkena sinar matahari penuh, suhu dan kelembapan bervariasi, serta masih memungkinkan terdapat vegetasi. *Twilight zone* merupakan zona dengan sedikit cahaya, minimnya keberadaan kehidupan tanaman, terjadi perubahan suhu dan kelembapan minor. Dan *dark zone* adalah zona dimana tidak ada cahaya yang menembus serta suhu dan kelembapan konstan (Natuschka, 2012). Menurut Langer (2001) terdapat zona lain setelah *dark zone*, yaitu *stagnant zone* yang merupakan zona yang benar-benar kecil adanya oksigen.



Gambar 2.5 Pembagian Zona Gua (Langer, 2001)

Menurut (Nuraini, 2012), gua dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya menjadi tiga, yaitu:

- a. *Pit caves*, adalah gua yang terbentuk akibat proses perkembangan ponor yang semakin melebar dan berkembang ke arah vertikal. Pembentukannya dari perkembangan *shaft* secara terus menerus sampai terbentuk suatu *sistem protocave*.
- b. *Phreatic cave* (*flank margin cave* dan *banana hole*), adalah gua yang berkembang pada daerah muka air tanah akibat pelarutan oleh air tanah, atau kemudian dinding gua runtuh sehingga memiliki mulut gua yang lebar. *Flank margin caves* terbentuk oleh proses pelarutan pada daerah tepi lensa muka air

tanah yang berbatasan dengan muka air laut, proses pelarutan yang terjadi dipengaruhi oleh dua tenaga, yaitu tenaga air tanah dan tenaga air laut. *Banana hole* terbentuk akibat adanya tenaga pelarutan yang bekerja secara horizontal akibat aliran air tanah.

- c. *Fracture caves*, gua yang terbentuk akibat sesar atau patahan pada zona patahan dan berkembang baik secara vertikal maupun horizontal.

Gua memiliki dua jenis berdasarkan bentuk lorongnya yaitu horizontal dan vertikal. Sedangkan berdasarkan letak dari mulut gua dibedakan menjadi tiga bagian yaitu *tophill* adalah mulut gua yang terdapat di puncak suatu puncak. *Swallowhole* adalah mulut gua yang terdapat di ketinggian suatu bukit tetapi belum mencapai puncak. Dan *dolin* adalah mulut gua yang berada di bawah dari kedua buah bukit atau berada pada aliran sungai.

Speleothem berasal dari bahasa Yunani yang artinya endapan gua. Kesepakatan dalam klasifikasi speleothem memiliki dua hirarki; form (bentuk) dan style (corak). Form adalah speleothem dengan bentuk dasar yang dapat membedakan berdasar pada perilaku pertumbuhan mineral atau mekanisme dasar deposisinya. Style adalah klasifikasi lanjutan dari form yang menjelaskan bentuk berbeda yang merupakan hasil dari perbedaan tingkat aliran, tingkat deposisi, dan faktor lainnya. Terdapat beberapa jenis ornamen yang dapat terbentuk di dalam gua yaitu Stalactite, Stalagmite, Draperies dan Flowstone (Gillieson, 1996).

- a. Stalactite

Stalactite terbentuk karena pengendapan mineral di atap gua. Air yang mengandung kalsium karbonat muncul di atap gua menggantung sebentar sebelum jatuh ke lantai gua. Selama menggantung tersebut, CO₂ menghilang ke

atmosfir gua; larutan menjadi sangat jenuh air; dan bahan mineral yang sangat sedikit jumlahnya akan tertinggal melingkar dengan ukuran sama dengan tetesannya. Lingkaran tersebut akan tumbuh ke bawah dengan diameter konstan dan materialnya bertambah terus sampai sebuah tube yang ramping terbentuk. Tube ini agak porous sehingga air dapat merembes melalui antar butirannya dan sepanjang retakan untuk mengendapkan material di bagian luar. Porositas ini disebabkan karena bahan yang diendapkan tersebut menggantung dan terkena gaya gravitasi sehingga antar butir tidak terikat dengan kuat. Keragaman corak stalactite disebabkan oleh terhambatnya saluran dan karena variasi musim. Panjang stalactite dipengaruhi oleh berat yang dapat didukung sehingga stalactite rusak dan jatuh ke bawah akibat bebannya sendiri adalah hal yang umum (Gillieson, 1996).

b. Stalagmite

Stalagmite merupakan ornamen yang berada di lantai gua, memiliki bentuk seperti stalactite. Air tetesan yang jatuh ke lantai gua akan mengendapkan material dan membangun suatu gundukan yang disebut stalagmite. Stalagmite akan tumbuh membentuk silinder yang semakin tinggi. Radius pertumbuhannya dibatasi oleh tingkat tetesan karena terjadi penurunan tingkat jenuh air atau penguapan sempurna lapisan tipis embun yang tersebar di sekitar titik jatuhnya. Diameternya yang seragam menunjukkan bahwa adanya kondisi yang konstan selama periode waktu yang panjang.

c. Draperies

Draperies adalah ornamen yang terbentuk oleh aliran air yang masuk ke dalam gua. Jika air celah dan air perlapisan tersebut muncul dan mengalir di atap

gua dan membentuk sebuah ornamen maka disebut draperies. Ornamen ini memiliki bentuk menyerupai sirip ikan hiu.

d. Flowstone

Flowstone adalah ornamen yang terbentuk oleh aliran air yang masuk ke dalam gua. Jika air celah dan air per lapisan tersebut muncul dan mengalir di dinding-dinding gua dan membentuk sebuah ornamen maka disebut flowstone. Bentuk ini merupakan ornamen gua yang indah, menyerupai payung (*canopy*) atau tirai.

2.4 Gelombang Elektromagnetik

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

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

Persamaan Maxwell terdiri atas empat persamaan medan. Persamaan Maxwell menjelaskan bagaimana medan listrik dan medan magnet dapat terjadi. Sejauh ini kita telah menggunakan hukum ini yang merupakan turunan dari hukum listrik dan medan magnet (Griffiths, 1999) :

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

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

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

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

Keterangan :

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

ρ = Tahanan jenis (Ωm)

\mathbf{B} = Medan magnet (T)

\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).

Energi gelombang elektromagnetik bergerak dalam ruang hampa (*vacuum*) dengan kecepatan cahaya, yaitu $c_0 = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$. Kecepatan ini dipengaruhi oleh permeabilitas dan permitivitas dalam *vacuum*, dengan persamaan (Foster, 2003):

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.5)$$

Keterangan :

μ_0 = Permeabilitas ruang hampa = $4\pi \times 10^{-7}$ henry/m

ϵ_0 = Permeabilitas elektrik *vacuum* = $8,854 \times 10^{-12}$ farad/m

c_0 = Laju perambatan gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa

Dengan hasil ini maka Maxwell mengatakan bahwa cahaya termasuk gelombang elektromagnetik seperti gelombang mekanik maka cahaya mengalami gejala gelombang pada umumnya yaitu refleksi (pemantulan), refraksi (pembiasan), interferensi, difraksi serta polarisasi (Foster, 2003).

Kecepatan gelombang elektromagnetik pada suatu material (yang menjadi perambatan) lebih kecil daripada kecepatannya pada ruang hampa (*vacum*). Besar kecepatan ini ditentukan oleh indeks refraktif yang dimiliki oleh material tersebut. Indeks refraktif suatu material adalah faktor dimana kecepatan radiasi elektromagnetik mengalami perlambatan pada material tersebut, relatif terhadap kecepatannya dalam ruang hampa. Indeks refraktif untuk suatu material sebagai berikut (Foster, 2003) :

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{\mu_0\varepsilon_0}} = \sqrt{\mu_r\varepsilon_r} \quad (2.6)$$

Material diasumsikan linear, isotropik dan *non dispersive*. Dalam hal ini, kecepatan gelombang elektromagnetik dalam medium adalah (Foster, 2003) :

$$v = \frac{c_0}{\eta} \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.6) ke persamaan (2.7) maka :

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}} \quad (2.8)$$

Untuk material non magnetik (non metalik) nilai permeabilitasnya mendekati nilai permeabilitas *vacum*, sehingga nilai diambil sama dengan satu (Supriyanto,2007). Dengan demikian kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik pada material menjadi :

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

v = Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik pada material (m/ns)

C_0 = Kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik di ruang hampa (m/s)

ε_r = Konstanta dielektrik material (tak berdimensi)

2.5 Gelombang Radar

وَلَقَدْ آتَيْنَا دَاوُدَ مِنَّا فَضْلًا ۚ يُجِبَالٌ أَوْبِي مَعَهُ وَالطَّيْرَ ۚ وَالنَّا لَهُ الْحَدِيدَ

Artinya : 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 دَاوُدَ الْجِبَالَ يُسَبِّحْنَ وَالطَّيْرَ ۚ وَكُنَّا فَاعِلِينَ

Artinya : 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 تَجْرِي بِأَمْرِهِ رُخَاءً حَيْثُ أَصَابَ

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

Berdasarkan ayat-ayat di atas 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. Kata ” أَوْبِي ” dalam ayat QS. Saba ayat 10, diterjemahkan “kembali atau pengulangan suara,” mengingatkan 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 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 objek 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 objek 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 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. Pencitraan radar pada saat ini digunakan untuk mengamati dunia pada setiap saat dan perkembangan yang terjadi di bumi sehingga dapat terus dipantau. Selain itu, data dapat dikumpulkan tentang ciri-ciri fisik di bumi, seperti pegunungan, gletser, dan lautan, dan juga tentang benda-benda buatan manusia, seperti rumah, jembatan dan mobil. Cara bahwa prinsip operasi dan bahan yang digunakan dalam teknologi canggih tercatat dalam Al Qur'an 1400 tahun yang lalu menunjukkan bahwa Al Qur'an merupakan wahyu Allah SWT, yang menciptakan masa lalu dan masa depan sebagai momen tunggal dan tak terkekang oleh waktu.

Radar merupakan singkatan kata dari *radio detection and ranging*, yang berarti pendeteksian dengan menggunakan jangkauan gelombang radio (Davis dan Anan, 1989). Secara umum, radar terdiri dari tiga komponen utama yang merupakan sistem radar yaitu: pemancar sinyal (*transmitter*), penerima sinyal (*receiver*), unit pengolah sinyal (*control unit*). Sistem radar akan mengirimkan gelombang dengan cara yang bervariasi dan bergantung pada panjang gelombang yang dikirimkan. Bila panjang gelombang yang dikirimkan sangat kecil dibandingkan ukuran objek, maka gelombang akan dipantulkan. Sinyal pantulan ini akan diolah pada control unit sehingga akan memberikan informasi keberadaan objek.

Radar sering digunakan untuk mendeteksi keberadaan benda-benda di permukaan bumi, baik di udara maupun di dalam tanah, seperti pesawat terbang, kapal laut, bahkan untuk tujuan eksploitasi dangkal dan pencarian hasil tambang

bawah permukaan tanah, tanpa harus melakukan kontak langsung dengan benda-benda tersebut. Oleh karena itu sistem ini disebut pengindraan jauh pasif.

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 : Lereng permukaan secara makro (topografi) menyebabkan perbedaan rona karena perbedaan arah menghadap ke sensor, kekasaran permukaan yang menyebabkan perbedaan pantulan pulsa radar dan perbedaan kompleks (Supriyanto, 2007).

Waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radar dari *transmitter* menuju suatu material dan kembali ke *receiver* disebut waktu tempuh dua arah (*two-way travel time*). Jika kedalaman material dan waktu tempuh sinyal dua arah diketahui, maka kecepatan perambatan gelombang radar pada material dapat dihitung dengan persamaan 2.10 di bawah ini (Handayani, 2007) :

$$v = \frac{2d}{t} \quad (2.10)$$

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) :

$$V_m = \frac{c}{\left[\left(\frac{\epsilon_r \mu_r}{2}\right)(1+p^2)-1\right]^{1/2}} \quad (2.11)$$

Keterangan :

- c = Kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- ϵ_r = Konstanta dielektrik relatif
- μ_r = Permeabilitas magnetik relatif
- P = *loss factor*, dimana $P = \sigma / \omega \epsilon$, σ adalah konduktifitas

Untuk material dengan *loss factor* rendah ($P = 0$), maka berlaku persamaan berikut (Reynolds, 1997) :

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/ns} \quad (2.12)$$

Nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) masing-masing material di bawah permukaan tanah tidak sama dan sangat bervariasi. Untuk lebih jelasnya nilai konstanta dielektrik beberapa material ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini. Nilai konstanta dielektrik sangat mempengaruhi kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik dan dapat mengurangi energinya. Apabila konstanta dielektrik (ϵ_r) semakin kecil, maka kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik pada

material (v) akan semakin besar. Akibatnya energi yang dipancarkan akan semakin berkurang (Supriyanto,2007).

Tabel 2.1 Kelajuan dan Konstanta Dielektrik Berbagai Medium (Reynolds, 1997)

Medium	ϵ_r	Kecepatan [m/ns]
<i>Udara</i>	1	0,30
<i>Air tawar</i>	81	0,33
<i>Batugamping</i>	7-16	0,11-0,12
<i>Granit</i>	5-7	0,13
<i>Garam kering</i>	5-6	0,13
<i>Basalt</i>	9	0,11
<i>Lempung</i>	4-16	0,15-0,16
<i>Lumpur</i>	9-23	0,055
<i>Pasir kering</i>	4-30	0,12-0,15
<i>Bauksit</i>	9	0,06
<i>Es</i>	3-4	0,16

2.6 GPR (*Ground Penetrating Radar*)

Ground penetrating radar atau georadar pertama kali digunakan ketika metode radar mula-mula dikembangkan. *Ground penetrating radar* itu sendiri berasal dari dua kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *radar* singkatan dari *radio detection and ranging* (Davis dan Anan, 1989). Jadi arti harfiahnya adalah alat pelacak bumi menggunakan gelombang radio. *Ground penetrating radar* merupakan sistem yang sangat berguna untuk proses pendeteksian objek-objek yang berada di dalam tanah alat yang digunakan adalah GPR. Hasil pencitraan GPR dapat ditampilkan dalam citra dua dimensi maupun tiga dimensi dan bisa memunculkan informasi seperti ketebalan permukaan aspal jalan, jalur pipa bawah tanah, kedalaman pipa bawah tanah, dan lain-lain. Selain itu metode ini juga sangat

cocok untuk pencarian situs atau harta karun, dengan catatan bahwa tempat tersebut benar-benar diyakini terdapat barang tambang yang letaknya tidak terlalu dalam.

GPR (*Ground Penetrating Radar*) merupakan metode geofisika dengan menggunakan teknik elektromagnetik yang dirancang untuk mendeteksi objek yang terkubur di dalam tanah dan mengevaluasi kedalaman objek tersebut. GPR juga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan karakteristik permukaan bawah tanah tanpa mengebor ataupun menggali tanah. Penerapan dari pendeteksi posisi atau *radar imaging* salah satu contohnya adalah untuk aplikasi GPR. GPR yang memiliki prinsip kerja sama seperti radar, dan merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses deteksi benda-benda yang terkubur di bawah tanah atau di balik tembok dengan tingkat kedalaman tertentu dengan menggunakan gelombang radio. Untuk mendapatkan resolusi kedalaman yang baik maka ukuran pulsa haruslah sependek mungkin, itulah sebabnya *monocycle* digunakan (Arcone, 1984).

Adapun faktor yang berpengaruh dalam menentukan tipe antena yang digunakan, sinyal yang ditransmisikan, dan metode pengolahan sinyal yaitu (Arcone, 1984) :

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

Dari proses pendeteksian oleh GPR, maka akan didapatkan suatu citra dari letak dan bentuk objek yang terletak di bawah tanah atau di permukaan tanah. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus memenuhi empat persyaratan sebagai berikut (Arcone, 1984) :

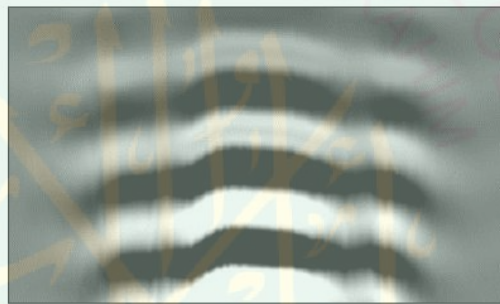
- a. Kopling radiasi yang efisien ke dalam tanah.
- b. Penetrasi gelombang elektromagnetik yang efisien.
- c. Menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang besar dari objek yang dideteksi.
- d. *Bandwidth* yang cukup untuk menghasilkan resolusi yang baik.

GPR (*Ground Penetrating Radar*) mendeteksi perbedaan dari permitivitas, permeabilitas dan resistivitas dari suatu benda yang terkubur di dalam tanah. GPR juga memiliki kemampuan untuk mendeteksi benda metal dan non-metal. Hal mendasar terkait dengan deteksi target yang terkubur adalah pencapaian kedalaman penetrasi dan resolusi sasaran tersebut secara bersamaan, karena untuk level kedalaman yang mampu ditembus oleh sistem GPR (*Ground Penetrating Radar*) itu nantinya tergantung pada frekuensi antenna yang digunakan dan jenis tanah atau bebatuan di daerah survei, sebab atenuasi sinyal elektromagnetik dalam tanah meningkat sesuai dengan meningkatnya frekuensi (Arcone, 1984).

Sinyal elektromagnetik dengan frekuensi tinggi akan semakin rendah daya tembus gelombang elektromagnetik tersebut, jika dibandingkan dengan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang lebih rendah. Sebagai hasilnya, kemampuan penetrasi yang maksimal akan tercapai dengan frekuensi yang lebih rendah. Namun hal ini tidak selalu benar karena dengan menggunakan frekuensi tinggi dapat digunakan untuk menyelesaikan rincian posisi target dan juga untuk mencapai resolusi yang lebih baik. Sehingga kedalaman penetrasi dan resolusi merupakan dua faktor yang saling bertentangan untuk desain pada sebuah sistem GPR (*Ground Penetrating Radar*) sehingga perlunya sebuah target tujuan yang hendak dicapai untuk mendapatkan kinerja yang memuaskan untuk desain pada sebuah sistem GPR (*Ground Penetrating Radar*) (Arcone, 1984).

Sinyal-sinyal yang memiliki panjang gelombang relatif pendek dapat dibangkitkan dan diradiasikan ke dalam tanah untuk mendeteksi beberapa anomali yang terdapat pada sifat dielektrik material geologi. Ini merupakan salah satu keuntungan menggunakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di bawah permukaan tanah (Chamberlain, 2000).

Hasil dari pencatatan GPR berupa data radargram berwarna hitam dan putih yang merupakan intensitas gelombang pantul. Warna hitam menunjukkan fase gelombang ketika amplitudo negatif, sedangkan warna putih menunjukkan fase gelombang ketika amplitudo positif.



Gambar 2.6 Pola Radargram Air (Merill, 2008)

2.6.1 Prinsip Kerja GPR (*Ground Penetrating Radar*)

Pada dasarnya prinsip kerja dan pengoperasian GPR adalah sama dengan prinsip yang diterapkan pada radar yaitu memanfaatkan pantulan sinyal untuk mengetahui kedalaman objek dan waktu tempuhnya dengan menggunakan panjang gelombang yang pendek sehingga ketelitiannya akan semakin tinggi. Sinyal gelombang elektromagnetik akan dipancarkan oleh *transmitter* secara berkala ke bawah permukaan tanah dalam bentuk *prf* (*pulse repetition frequency*) yaitu jumlah pulsa yang ditransmisikan perdetik. Penentuan *prf* dilandasi dengan kedalaman maksimum yang ingin dicapai. Semakin dalam

bawah permukaan, maka *prf* akan semakin berkurang sehingga waktu tempuh akan menjadi semakin lama (Handayani,2007). Sinyal ini akan mengalami berbagai fenomena yang umumnya terjadi pada sebuah gelombang ketika dijajarkan ke dalam tanah yaitu mengalami pemantulan, pembiasan, maupun penguraian sinyal jika sudah menyentuh bidang batas antara satu medium dengan medium yang lainnya. Ketika sinyal mengenai suatu objek dengan nilai konstanta dielektrik tertentu di dalam tanah, maka sinyal dari *transmitter* akan dipantulkan dan di terima oleh *receiver*. Sinyal pantulan yang diterima oleh *receiver*, selanjutnya akan diteruskan ke *control unit* untuk diolah dan ditampilkan pada *data display* dalam bentuk gambar atau irisan-irisan tertentu.

Prinsip dasar dari skema kerja metode GPR ini yakni dengan jalan memancarkan gelombang radio berfrekuensi tinggi ke bawah permukaan melalui pemancar (*transmitter*). Hasil penjalaran gelombang ini akan dipantulkan kembali ke permukaan dan selanjutnya diterima oleh antena penerima (*receiver*), dan hasil dari penerima kemudian ditampilkan dalam sebuah diagram (*radargram*) yang langsung dapat tersajikan dalam bentuk visualisasi 2 dimensi pada monitor penerima (*display*). Sedangkan untuk prinsip kerja alat GPR yaitu dengan mentransmisikan gelombang radar (*Radio Detection and Ranging*) ke dalam medium target dan selanjutnya gelombang tersebut dipantulkan kembali ke permukaan dan diterima oleh alat penerima radar (*receiver*), dari hasil refleksi itulah berbagai macam objek dapat terdeteksi dan terekam dalam radargram.

Kemampuan penetrasi GPR tergantung pada frekuensi sinyal, efisiensi radiasi antena 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).

Masing-masing set alat GPR mempunyai jangkauan kedalaman yang berbeda-beda. Perbedaan jangkauan kedalaman tersebut dikarenakan masing-masing set alat GPR mempunyai spesifikasi antena dengan frekuensi yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pemilihan antena GPR harus disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing orang. Pemilihan antena GPR harus didasarkan pada ukuran objek yang ingin dideteksi, kedalaman yang ingin dicapai, dan penetrasi kedalaman maksimum yang dibatasi oleh sifat elektrik objek bawah permukaan tanah (Benson, AK, 1995). Untuk penetrasi kedalaman dangkal, frekuensi antena yang digunakan $\geq 500 \text{ MHz}$, sedangkan untuk penetrasi kedalaman yang lebih dalam digunakan antena dengan frekuensi $\leq 500 \text{ MHz}$.

2.6.2 Persamaan yang Mendasari Pengukuran GPR

Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara pemancar dan penerimaan pulsa. Dalam selang waktu tertentu, pulsa ini akan bolak-balik dari antena ke objek dan kembali lagi ke antena. Jika selang waktu dinyatakan dalam t dan kecepatan propagasi gelombang elektromagnetik dalam tanah v , maka kedalaman objek yang dinyatakan dalam h adalah (Bahri, 2009) :

$$h = \frac{1}{2}tv \quad (2.13)$$

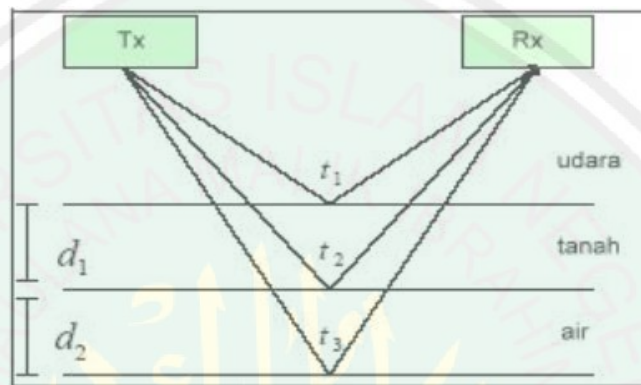
Untuk mengetahui kedalaman objek yang dideteksi, kecepatan perambatan dari gelombang elektromagnetik haruslah diketahui. Kecepatan perambatan (v)

tersebut tergantung kepada kecepatan cahaya di udara (c), konstanta dielektrik relatif medium perambatan (ϵ_r) yaitu (Bahri,2009) :

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.14)$$

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

$$d_1 = \frac{(t_2 - t_1)C}{2\sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad \text{dan} \quad d_2 = \frac{(t_3 - t_2)C}{2\sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (2.15)$$



Gambar 2.7 Ketebalan Beberapa Medium Dalam Tanah (Bahri,2009)

Keberhasilan dari metode GPR bergantung pada variasi bawah permukaan yang dapat menyebabkan gelombang tertransmisikan. Perbandingan energi yang direfleksikan disebut koefisien refleksi (R) yang ditentukan oleh perbedaan cepat rambat gelombang elektromagnetik dan lebih mendasar lagi adalah perbedaan dari konstanta dielektrik relatif dari media yang berdekatan. Radiasi elektromagnetik yang direfleksikan material bergantung pada kontras konstanta dielektrik relatif per lapisan-perlapisan yang berdekatan. Jika kontras tersebut besar, maka jumlah energi gelombang radar yang direfleksikan juga besar. Koefisien refleksi (R) didefinisikan sebagai perbandingan energi yang dipantulkan dan energi yang datang. Besar R ditentukan oleh kontras kecepatan dielektrik relatif dari medium. Dalam semua kasus magnitudo R berada pada rentang ± 1 . Bagian energi yang ditransmisikan sama dengan $1-R$, sedangkan

daya koefisiensi refleksi sama dengan R^2 (Astutik, 1997). Amplitudo koefisien refleksi diberikan oleh persamaan berikut (Kunz dan Luebbers, 1993) :

$$R = \frac{(v_1 - v_2)}{(v_1 + v_2)} = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}} \quad (2.16)$$

Dimana V_1 merupakan cepat rambat gelombang elektromagnetik pada lapisan 1, V_2 adalah cepat rambat gelombang elektromagnetik pada lapisan 2, dan $V_1 < V_2$, sedangkan ε_1 dan ε_2 yaitu konstanta dielektrik relatif lapisan 1 dan lapisan 2 (Kunz dan Luebbers, 1993).

2.6.3 Tipe Konfigurasi Akuisisi Data GPR

Profil penggambaran bawah permukaan hasil pengolahan data GPR sangat ditentukan oleh pengaturan metode dan parameter pengambilan data lapangan karena akan menentukan tingkat keberhasilan penggambaran bawah permukaan. Akuisisi data dalam metode GPR dilakukan dengan tiga cara penggunaan pengukuran sistem radar, yaitu (Reynolds, 1997) :

a. *Radar Reflection Profiling*

Cara ini dilakukan dengan membawa antenna radar (*transmitter* dan *receiver*) bergerak bersamaan di atas permukaan tanah dimana nantinya tampilan pada radargram merupakan tiap titik pengamatan yang terpisah pada jarak yang sama. Dalam hal ini bahwa kedua antenna bergerak menjauhi satu sama lain dengan titik tengah pada posisi yang tepat. Teknik pengukuran ini menghasilkan interpretasi struktur bawah permukaan bumi (Reynolds, 1997).

b. *Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR)* atau *Common-Mid Point (CMP)*

Cara WARR *sounding* ini dilakukan dengan meletakkan *transmitter* pada posisi yang tetap dan *receiver* di bawah pada area penyelidikan. WARR *sounding* diterapkan pada kasus dimana bidang *reflector* relatif datar atau memiliki kemiringan yang rendah. Karena asumsi ini tidak selalu benar pada kebanyakan kasus, maka digunakan cara *CMP sounding* untuk mengatasi kelemahan tersebut. *CMP sounding* kedua antena bergerak menjauhi satu sama lainnya dengan titik tengah pada posisi yang tetap.

c. *Transillumination* atau *Radar Tomography*

Metode ini dilakukan dengan cara menempatkan *transmitter* dan *receiver* pada posisi yang berlawanan. Sebagai contoh jika *transmitter* diletakan pada satu sisi, maka *receiver* diletakan 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 (Reynolds, 1997).

Pemilihan frekuensi antena ditentukan oleh tujuan survei yaitu tergantung pada ukuran target, aproksimasi kedalaman, aproksimasi maksimum kedalaman penetrasi atau resolusi yang dibutuhkan dan kondisi material setempat. Semakin tinggi resolusi yang dibutuhkan maka frekuensi antena yang digunakan semakin tinggi (Reynolds, 1997).

Tabel 2.2 Penentuan Frekuensi Antena Yang Digunakan (Lehmann dkk, 1999).

Frekuensi Antena (MHz)	Ukuran Target Minimum yang Terdeteksi (m)	Aproksimasi Range Kedalaman (m)	Penetrasi Kedalaman Maksimum (m)
25	≥ 1.0	5-30	35-60
50	≥ 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	≈ 0.05	1-5	3-10
1000	0.01	0.05-2	0.5-4

Tabel 2.3 Rekomendasi Penggunaan Sampling Frekuensi (Lehmann dkk, 1999).

Frekuensi Antena (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	25000-11000	0.01-0.05

Pada penelitian ini pengambilan data di lapangan menggunakan sistem *Radar Reflection Profiling*. Hal ini dilakukan dengan cara membawa antena radar (*transmitter* dan *receiver*) bergerak bersamaan di atas permukaan tanah dimana nantinya hasil tampilan pada radargram merupakan kumpulan tiap titik pengamatan yang terpisah pada jarak yang sama. Teknik pengukuran ini fokus pada hasil interpretasi struktur bawah permukaan bumi.


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian identifikasi gua bawah tanah menggunakan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) OKO dengan antenna AB-90 dilaksanakan pada bulan Agustus 2020. Lokasi penelitian terletak pada gua Gedang, gua Seneri dan Gua Pletes di Desa Sumbermanjing Pletes Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang. Secara geografis lokasi gua Gedang terletak pada koordinat $08^{\circ}15'35.73''$ LS dan $112^{\circ}40'55.80''$ BT, gua Seneri terletak pada koordinat $08^{\circ}15'35.84''$ LS dan $112^{\circ}40'55.15''$ BT dan gua Pletes terletak pada koordinat $08^{\circ}15'35.1''$ LS dan $112^{\circ}40'56.0''$ BT. Topografi di sekitar gua adalah lahan perkebunan masyarakat. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Google Earth, 2020)

Keterangan luasan penelitian :  (1.202,19 m²) Inline

3.2 Data Penelitian

Data yang diambil pada penelitian ini meliputi:

1. Koordinat lintang dan bujur
2. Frekuensi gelombang radar
3. Ketinggian titik ukur
4. Panjang lintasan
5. Tipe konfigurasi
6. Panjang gua
7. Kedalaman gua
8. Jenis material

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPR (*Ground Penetrating Radar*) OKO AB-90 dengan memanfaatkan sifat elektromagnetik berupa *travel time* dari gelombang radio. Perangkat antena OKO mencakup frekuensi dari 50 MHz untuk survei geologi yang dangkal hingga 3000 MHz untuk survei geologi yang dalam.



Gambar 3.2 Seperangkat Alat GPR OKO AB-90

Alat GPR (*Ground Penetrating Radar*) OKO AB-90 yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Set generator GPR AB-90 Ser. No 031 (*Transmitter*)

Berfungsi sebagai penghasil gelombang radar dan biasanya sudah dilengkapi dengan radargram dan antena *transmitter*. Antena *transmitter* bisa memancarkan sinyal ke objek dengan syarat objek yang akan dikenali lebih besar dari panjang gelombang yang digunakan. Adapun generator ini letaknya di depan yang berfungsi sebagai penghasil sinyal dan selanjutnya dipancarkan oleh antena *transmitter*. Di bagian atas set generator GPR AB-90 terdapat tiga terminal: a) Terminal untuk *converter* (dengan Ser. No 372) yang disambungkan ke laptop; b) Terminal DP untuk membangun odometer; c) Terminal IZP untuk sambungan ke set generator ke set generator AB-90 Ser. No 032 (*receiver*) / bagian belakang.



Gambar 3.3 Set GPR Transmitter

2. Set generator GPR AB-90 Ser No. 032 (*Receiver*)

Set generator ini terletak di bagian belakang, memiliki bentuk yang sama dengan *transmitter* di bagian atas terdapat baterai dan sebuah terminal IZP untuk sambungan ke generator bagian depan.



Gambar 3.4 Set GPR Receiver

3. Odometer DP-32 Ser. No 312

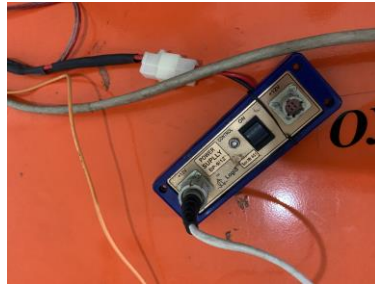
Komponen ini dipasangkan pada bagian belakang set generator AB-90 Ser. No 031, di bagian atas terdapat sebuah terminal DP. Fungsi dari odometer adalah untuk mengukur panjang lintasan (m) yang dilalui GPR.



Gambar 3.5 Odometer

4. *Power supply* BP-9/12 Ser. No 651

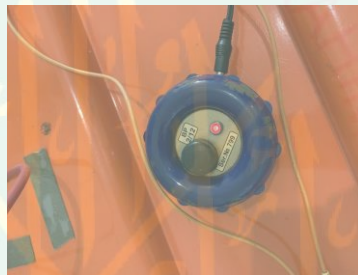
Power supply ini bisa dioperasikan selama kurang lebih sekitar tiga jam. Komponen ini mempunyai dua terminal dengan pilihan dua beda potensial sama serta terdapat satu saklar dan dilengkapi dengan indikator berupa lampu.



Gambar 3.6 *Power Supply* BP-9/12

5. *Power supply* BP-2/12 Ser. No 799 dan *Power supply* BP-2/12 Ser. No 800

Kedua *power supply* ini dipasang di atas set-generator AB-90 Ser. No 031 dan Ser. No 032, pada masing-masing *power supply* terdapat satu saklar dan lampu indikator.



Gambar 3.7 *Power Supply* BP-2/12

6. *Controller* (*Control Unit* Ser. No 262)

Controller lebih dikenal dengan sebutan pengolah data lapangan dimana *controller* berfungsi untuk mengontrol sinyal pada *receiver* sehingga bisa langsung ditampilkan pada monitor. *Controller* dipasang pada belakang laptop dan mempunyai empat buah terminal, yaitu: terminal yang menghubungkan dengan *power supply* BP-9/12 Ser. No 651, *converter* , laptop, dan keyboard (jarang dipakai) serta terdapat saklar dan lampu sebagai indikator.



Gambar 3.8 Control Unit

7. Laptop

Digunakan untuk merekam dan menyimpan data pada saat di lapangan, juga sebagai alat monitoring visualisasi lapisan bawah permukaan secara langsung.



Gambar 3.9 Laptop

8. Kabel-kabel

Dalam penelitian ini menggunakan enam macam kabel, yaitu:

1. Kabel *power supply* (12 V) menghubungkan antara control unit Ser. No 262 dengan *power supply* BP-9/12 Ser. No 651.
2. Kabel *Converter-Controller* menghubungkan antara *converter* dengan *controller*.
3. Kabel PC, menghubungkan *Control unit* Ser. No 262 dengan laptop.
4. Kabel *Converter – Transmitter* (kabel optik berwarna merah), menghubungkan *converter* dengan set generator GP AB-90 Ser. No 031.
5. Kabel penghubung set generator GPR AB-90 Ser. No 031 (*Transmitter*) dengan set generator GPR AB-90 Ser. No 032 (*Receiver*).

6. Kabel penghubung odometer dengan set generator GPR AB-90 Ser. No 031 (*Transmitter*).



Gambar 3.10 Kabel-Kabel GPR OKO

9. Meteran

Digunakan untuk membantu penentuan panjang lintasan.



Gambar 3.11 Meteran

10. GPS Garmin

Digunakan untuk menentukan koordinat lokasi penelitian.



Gambar 3.12 GPS Garmin

11. Perangkat lunak (*Software Geoscan32, software Reflex2DQuick dan Google Earth*).

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Proses Akuisisi Data GPR

Tahap pengambilan data ini akan dilakukan scan karakteristik batuan dengan metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) di beberapa gua bawah tanah pada daerah penelitian yaitu di Desa Sumbermanjing Pletes, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang. Pada masing-masing line memiliki panjang yang berbeda-beda yakni line A-A' dengan panjang 25 meter, line B-B' dengan panjang 31 meter, line C-C' dengan panjang 30 meter dan line D-D' dengan panjang 25 meter, serta memiliki spasi yang berbeda mulai dari 7 meter sampai 10 meter. Akuisisi data pada pengambilan data di lapangan menggunakan sistem *Radar Reflection Profilling*. Sistem ini dilakukan dengan cara membawa antena radar (*transmitter* dan *receiver*) bergerak bersamaan di atas permukaan tanah, dimana nantinya tampilan pada radargram merupakan kumpulan tiap titik pengamatan yang terpisah pada jarak yang sama.

Untuk mendapatkan data yang bagus di lokasi penelitian, maka langkah-langkah dalam pengambilan data sebagai berikut:

1. Melakukan pengecekan kondisi lapangan dan kelengkapan alat GPR , agar data yang didapatkan sesuai dan tidak banyak *noise*.
2. Melakukan kalibrasi data GPR dengan panjang lintasan yang telah ditentukan.
3. Menentukan alur lahan yang akan discan.
4. Merangkai alat.
5. Menghubungkan dengan laptop, kemudian membuka *software Geoscan32* dan dioperasikan sebagai berikut:

- a. Saat sudah terhubung maka akan menampilkan jendela “AB-90”
- b. Pilih “*record*” untuk merekam data. Kemudian alat GPR OKO tersebut akan melakukan scan otomatis.
- c. Menggeser georadar sepanjang lintasan pada daerah yang sudah ditentukan.
- d. Pilih “*save*” untuk menyimpan data apabila telah mencapai ujung lintasan.



Gambar 3.13 Proses Pengambilan Data

3.4.2 Pengolahan Data GPR

Data yang diperoleh di lapangan adalah data yang terekam pada layar komputer yang menggambarkan penampang vertikal bawah permukaan yang disebut profil rekaman georadar. Pada penelitian ini pengolahan data menggunakan dua buah *software* yaitu *software Geoscan32* dan *software Reflex2DQuick*. Berdasarkan pengolahan data menggunakan *software Geoscan32* berupa citra 2D yang dapat menjelaskan informasi tentang kedalaman gua bawah tanah dan dapat menentukan litologi bawah permukaan pada daerah penelitian tersebut.

Scanning kondisi bawah permukaan dengan GPR menghasilkan citra dari georadar yang menggambarkan pantulan gelombang elektromagnetik. Citra ini dapat diinterpretasikan sebagai pantulan dari objek di dalam tanah. Dalam hal ini

objek yang dicari adalah gua. Beberapa variabel yang dibutuhkan dalam pengolahan data menggunakan *software Geoscan32* yaitu: waktu ($t(ns)$), kedalaman objek ($s(m)$), dan panjang lintasan (m).

Selain *software Geoscan32* juga digunakan *software Reflex2DQuick*. Pada awalnya data mentah akan diolah menggunakan *Reflex2DQuick*. *Reflex2DQuick* ini digunakan untuk menampilkan sinyal sehingga dapat ditentukannya posisi gua bawah tanah secara jelas.

Dalam GPR filtering merupakan salah satu bagian terpenting. Mengingat pada saat pengambilan data lapangan tidak semua frekuensi yang tertangkap adalah frekuensi yang diharapkan, melainkan ada juga noise yang akan tertangkap, sehingga diperlukan filtering untuk menyaring noise dan meloloskan frekuensi sisanya. Sinyal GPR memiliki karakter yang berbeda dengan noise sehingga akan mudah untuk membedakan antara sinyal dan noise. Karakter dari sinyal GPR diantaranya yaitu memiliki kecepatan yang paling besar dibandingkan gelombang lain, amplitudo relatif lebih besar, dan frekuensi yang juga relatif lebih besar. Oleh karena itu digunakan beberapa *sekuen filtering* dalam penerapannya agar diperoleh radargram yang bagus. *Sekuen filtering* yang akan digunakan untuk pengolahan data GPR dengan menggunakan *software Reflex2DQuick* ini antara lain :

a. *Subtract-Mean Dewow*

Tahapan pengolahan data ini merupakan salah satu filter yang berfungsi untuk menghilangkan noise berfrekuensi rendah yang terdapat pada radargram atau dalam istilah *processing* dikenal sebagai *ringing*. Filter dewow terdapat pada *processing 1-D filter*. Noise frekuensi rendah dapat terjadi akibat adanya instrument elektronik yang tersaturasi oleh nilai amplitudo yang besar dari

gelombang langsung (*direct wave*) dan gelombang udara. Parameter *time window* yang digunakan adalah ns.

Secara garis besar, filter ini bekerja pada setiap *trace* dalam penampang GPR. Ketika menu ini diaktifkan, maka filter akan menghitung nilai frekuensi rata-rata dari *trace*. Kemudian nilai frekuensi pada setiap parameter *time window* akan dikurangi dengan nilai rata-rata frekuensi yang telah dihitung. Sehingga noise berfrekuensi rendah (*ringing*) dapat dihilangkan dari data.

b. *Gain Function*

Gain merupakan penguatan sinyal karena pada pengambilan data terdapat pelemahan energi sinyal yang terserap oleh batuan atau lapisan yang ada di bawah permukaan. Bahan yang memiliki konduktivitas tinggi merupakan bahan penyerap gelombang elektromagnetik yang baik. Oleh karena itu perlu dilakukan penguatan sinyal. Filter ini digunakan karena pada lapisan tanah, frekuensi tinggi diserap lebih cepat dibandingkan dengan frekuensi rendah dan terjadi juga *spherical divergensi*, yaitu energi 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 disetiap titik energinya sama.

c. *Background Removal*

Menu ini juga merupakan salah satu filter yang digunakan pada penelitian ini. Filter ini termasuk dalam filter 2D, proses pemfilteran ini dapat diaktifkan sesuai dengan domain waktu (*time window*) dan domain jarak (*distance range*). Misalnya, terdapat noise di suatu *time window* tertentu maka filter dapat

diaktifkan pada *time window* itu saja. Sehingga, noise dapat dihilangkan pada *time window* tersebut tanpa memfilter sinyal elektromagnetik di sekitarnya.

Background removal juga dapat dilakukan untuk mengurangi gangguan-gangguan yang ada pada saat pengambilan data seperti batang kayu atau objek lainnya yang dapat mengganggu hasil tampilan radargram, juga berguna untuk mengurangi lintasan rata-rata (*trace range*) yaitu memberikan jarak jangkauan secara actual pada suatu bagian, menghilangkan noise yang selalu muncul secara konsisten pada seluruh profil sehingga menutupi sinyal yang sebenarnya. Koreksi ini melakukan pembersihan pada latar belakang dan menghilangkan energi koheren yang horizontal dengan frekuensi yang rendah. Dalam koreksi ini hampir tidak ada parameter *default* yang diubah.

d. *Running Average*

Running Average berfungsi untuk merata-ratakan trace secara horizontal agar tampilan radargram semakin terlihat jelas. Pada filter ini menggunakan *running average* sebesar 3.

e. *FK Migration*

Filter ini merupakan sebuah gabungan FK Filter dan migrasi yang dilakukan secara cepat untuk profil 2D, migrasi ini bertujuan untuk menelusur balik energi difraksi dan refleksi pada sumber-sumbernya. FK Filter adalah *velocity range* dengan menghilangkan kecepatan sinyal di udara yang kemungkinan dapat terekam dalam radargram. Filter 2D ini akan memisahkan frekuensi temporal dan spasial. Filter ini didesain dalam fungsi frekuensi bilangan gelombang (k). Filter ini berfungsi untuk membatasi area yang akan dilakukan filter, pada pengolahan ini penggunaan filter FK digunakan untuk menghilangkan sinyal

yang sangat kuat yang terdapat pada bagian bawah lapisan agar batas lapisan saja yang terlihat jelas.

3.4.3 Interpretasi Data GPR

Secara teoritis cara interpretasi data adalah hasil data / gambar yang terekam ada variasi bentuk, yaitu berbentuk datar atau biasa tanpa ada pola bentuk, tetapi apabila melewati suatu material maka akan berubah bentuk atau tidak lagi datar, biasanya ada pola hiperbola, serta sinyal yang terekam dengan kuat ditandai dengan warna tajam dengan amplitudo yang besar, sedangkan sinyal yang terekam dengan lemah ditandai dengan warna yang kurang tajam. Sinyal yang lemah dan terputus-putus dapat menandakan energi yang teratenuasi. Tiap-tiap tipe refleksi yang terekam pada radargram menggambarkan kondisi geologis pada daerah penelitian.

Sinyal yang diakibatkan oleh adanya variasi jenis tanah / batuan, struktur, diskontinuitas perlapisan, rongga ataupun kurang terkonsolidasinya perlapisan tanah dapat dengan mudah tampak dalam citra georadar. Dalam melakukan interpretasi, beberapa faktor fisis objek dapat diklasifikasikan dengan adanya variasi jenis tanah / batuan dan struktur yang diindikasikan oleh perbedaan besar amplitudo, atau perbedaan skala warna yang timbul akibat pantulan sinyal. Bila suatu posisi kedalaman tertentu terjadi gangguan misalnya tarikan, tekanan, pergeseran horizontal, pengangkatan ataupun penurunan, maka pola strukturnya juga akan tampil perlapisan yang tidak menerus atau diskontinuitas. Untuk kasus rongga yang berarti suatu bagian dari batuan tidak terisi oleh material batuan yang mungkin sudah terisi oleh udara maupun air / fluida maka dalam citra georadar yang timbul akan berpola amplitudo sangat kecil atau tidak memiliki amplitudo.

Dari gambar hasil radargram yang dihasilkan oleh *software Geoscan32* dapat diperoleh kecepatan gelombang, jarak dan kedalaman masing-masing lintasan di lokasi penelitian. Nilai konstanta dielektrik dan kecepatan gelombang akan berbeda pada masing-masing material sesuai dengan tabel 2.1 sehingga dapat diketahui jenis material apa yang terdapat di lintasan dengan kedalaman tertentu. Kemudian dapat diinterpretasikan lagi dengan *software Reflex2DQuick*, ini dilakukan agar hasil radargram masing-masing lintasan lebih terlihat jelas.

Pengolahan data hasil *scan GPR* ini dilakukan dengan 2 bantuan *software* yaitu *software Geoscan32* dan *software Reflex2DQuick*. Citra dari georadar menggambarkan pantulan gelombang elektromagnetik yang diinterpretasikan sebagai pantulan dari objek di dalam tanah berupa gua. Sinyal radar dengan frekuensi yang tinggi akan menghasilkan radargram berbentuk hiperbola dengan resolusi yang tinggi namun kedalaman penetrasinya terbatas, sebaliknya sinyal radar dengan frekuensi rendah akan menghasilkan penetrasi kedalaman yang jauh tetapi resolusi radargramnya rendah. Dan dapat dilihat dengan ada atau tidak adanya amplitudo pada radargram menunjukkan nilai permitivitas yang sangat kecil, yang berarti menandakan adanya gua atau ruang hampa.

Analisa dan interpretasi data GPR dilakukan menggunakan data pendukung seperti data geologi regional daerah penelitian. Interpretasi yang dilakukan yaitu menentukan anomali objek dengan menganalisis kecepatan gelombang radar pada anomali tersebut. Kemudian dilakukan analisa data untuk menentukan kedalaman anomali (target) dan lapisan batuan yang ada. Dengan adanya data pendukung ini, maka hasil interpretasi data akan lebih tepat. Beberapa analisis dan interpretasi data yang dilakukan adalah :

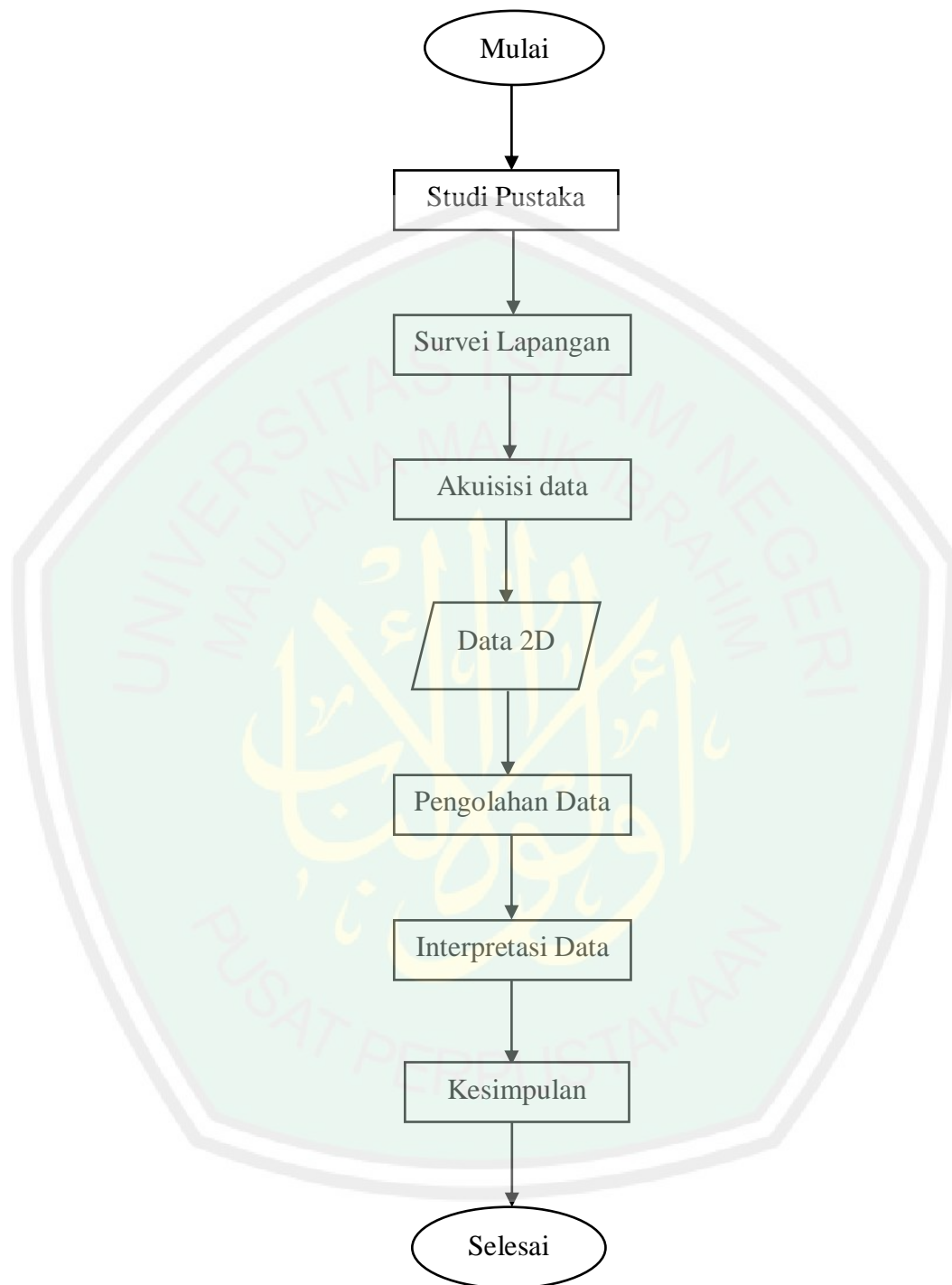
1. Interpretasi Grafik

Kecepatan perambatan gelombang radar dapat diketahui dengan nilai kecepatan yang mendekati atau sesuai dengan nilai material yang diselidiki pada tabel 2.1, sehingga *two-way travel time* (TWT) dapat diterjemahkan menjadi nilai kedalaman, dan jika ditambahkan dengan parameter identifikasi terhadap sinyal pantulan (refleksi) yang berasal dari target, maka *two-way travel time* (TWT) yang dihasilkan menunjukkan nilai kedalaman, ketebalan, per lapisan, dll. Sehingga dapat diketahui nilai sebenarnya dari kecepatan gelombang. Jadi kedalaman dapat dipengaruhi oleh nilai cepat rambat material terhadap energi elektromagnetik serta waktu tempuh reflektor dalam TWT.

2. Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan dengan menggunakan beberapa proses yaitu kedalaman (target) atau reflektor yang ditentukan dengan data yang cukup dan dengan analisa amplitudo. Data GPR yang telah diproses dibuat dalam bentuk citra (image) umumnya ditampilkan sebagai radargram.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian

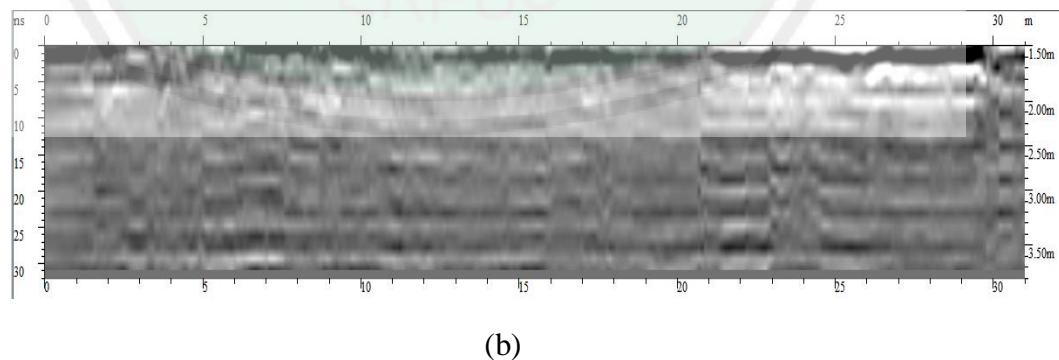
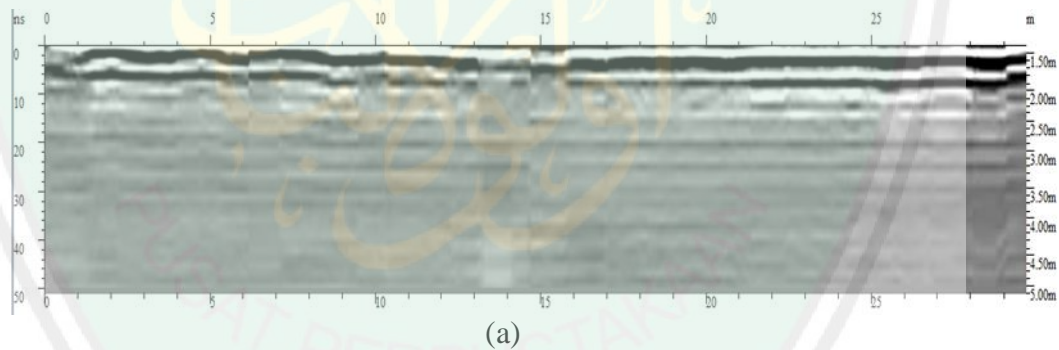
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

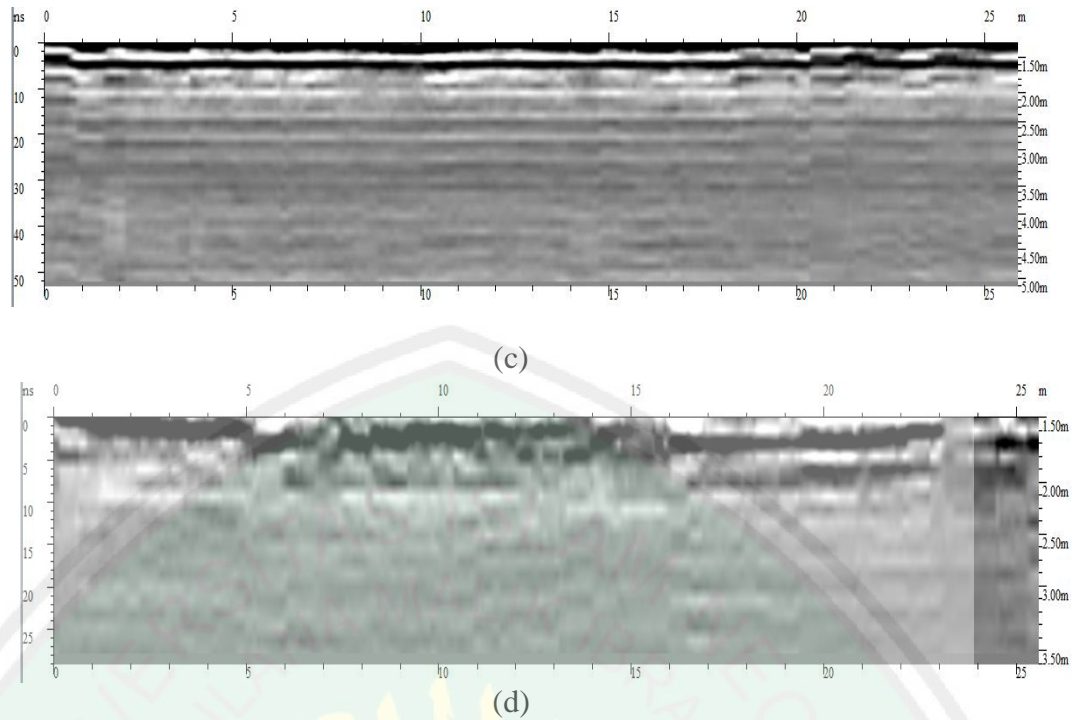
4.1 Hasil Survei

Hasil survei berupa citra 2D dalam bentuk radargram yang terbaca pada *software Geoscan32*. Metode pengambilan data menggunakan metode *Radar Reflection Profiling* berupa grafika yang menunjukkan intensitas gelombang pantul dengan gradasi putih ke gelap. Data hasil *scanning* ini selanjutnya diolah ke dalam bentuk sinyal menggunakan *software Refelx2D Quick*.

4.1.1 Hasil Akuisisi Data

Hasil akuisisi data pada penelitian ini terdiri dari 4 line yaitu Line A-A', Line B-B', Line C-C' dan Line D-D'. Profil hasil *scan* pada masing-masing line ditunjukkan pada gambar berikut ini:

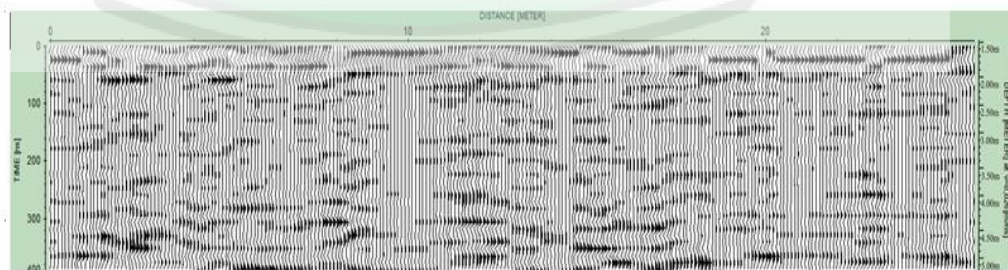




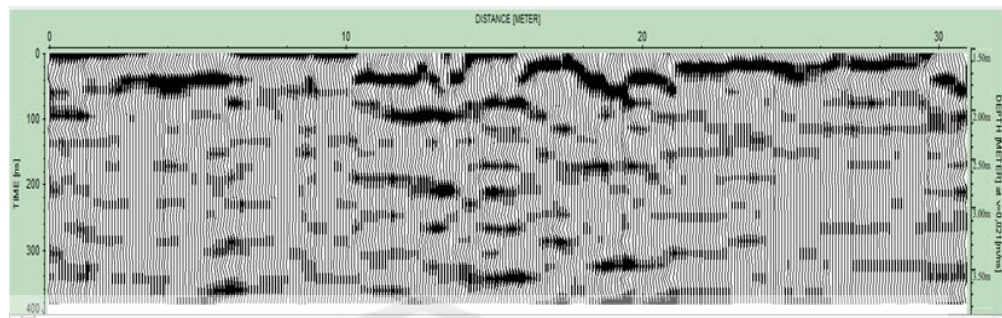
Gambar 4.1 Profil Radargram Pada Masing-Masing Lintasan : (a) Line A-A', (b) Line B-B', (c) Line C-C', (d) Line D-D'

4.1.2 Pengolahan data

Hasil rekaman radargram selanjutnya diolah menggunakan *software Reflex2DQuick* untuk menampilkan sinyal dan dilakukan beberapa proses *filtering* berupa *Subtract-Mean Dewow*, *Gain Function*, *Background Removal*, *Running Average* dan *FK Migration*. Berikut adalah hasil pengolahan data yang telah diolah sampai dengan tahap terakhir yaitu tahap *FK Migration*:



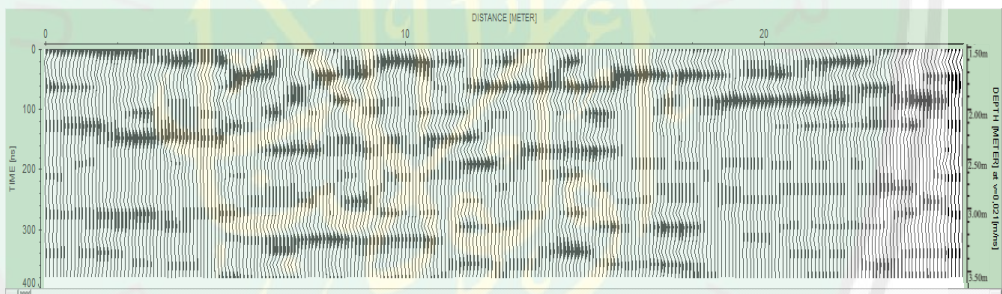
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.2 Sinyal Hasil Pengolahan Data Menggunakan *Software Reflex2D Quick* (a) Line A-A', (b) Line B-B', (c) Line C-C', (d) Line D-D'

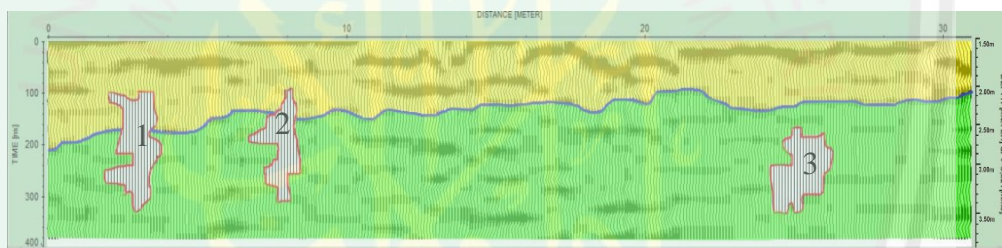
4.1.3 Interpretasi Gua Bawah Tanah dan Litologi Bawah Permukaan

Interpretasi data GPR ini dimaksudkan untuk mengetahui keberadaan gua dan mengetahui litologi bawah permukaan. Dimana dalam proses penentuan indikasi gua ini dilihat dari sinyal yang berbentuk lurus atau sinyal yang tidak ada refleksi dan tidak memiliki amplitudo. Sementara untuk menentukan batas

litologi bawah permukaan didasarkan pada kontinuitas amplitudo maksimum. Untuk menentukan jenis batuan diperkirakan dari nilai kecepatan perambatan gelombang radar pada masing-masing tubuh batuan yang dicocokkan dengan tabel 2.1 dan data geologi lembar Turen. Interpretasi gua bawah tanah dan litologi batuan bawah tanah pada masing-masing line dapat disajikan dalam gambar di bawah ini:



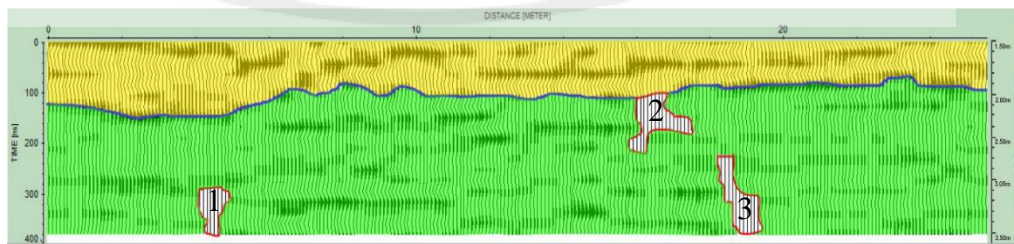
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.3 Hasil Penentuan Posisi Gua dan Litologi Batuan Menggunakan *Software Reflex2DQuick* (a) Line A-A' : (1) gua Seneri (2) gua Gedang (3) pendugaan rongga, (b) Line B-B' : (1) gua Seneri (2) pendugaan rongga (3) gua Gedang, (c) Line C-C' : (1) gua Seneri (2) gua Gedang, (d) Line D-D' : (1) gua Seneri (2) gua Gedang (3) pendugaan rongga.

Pada gambar 4.3 (a) Pengambilan data pada line A-A' ini dimulai dari arah barat menuju ke arah timur. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan hasil interpretasi posisi 3 buah gua berada pada jarak 10 meter, 20 meter dan 24 meter dari titik awal pengukuran yang ditunjukkan dengan sinyal lurus atau sinyal tidak ada refleksi dan diameter sumbu lateral gua yaitu 1 meter, 2 meter dan 1 meter. Litologi batuan pada line A-A' terdiri atas batu gampingpasiran (warna kuning) dengan nilai kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,15 \text{ m/ns}$ dan batugamping (warna hijau) dengan nilai kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,12 \text{ m/ns}$. Posisi gua berada pada batu gampingpasiran dan batugamping. Ketebalan batuan gampingpasiran bervariasi ke arah lateral, sedangkan ketebalan batugamping tidak diketahui karena yang terlihat hanya bagian atas saja. Posisi batu gampingpasiran berada di atas dan batugamping berada di bawahnya.

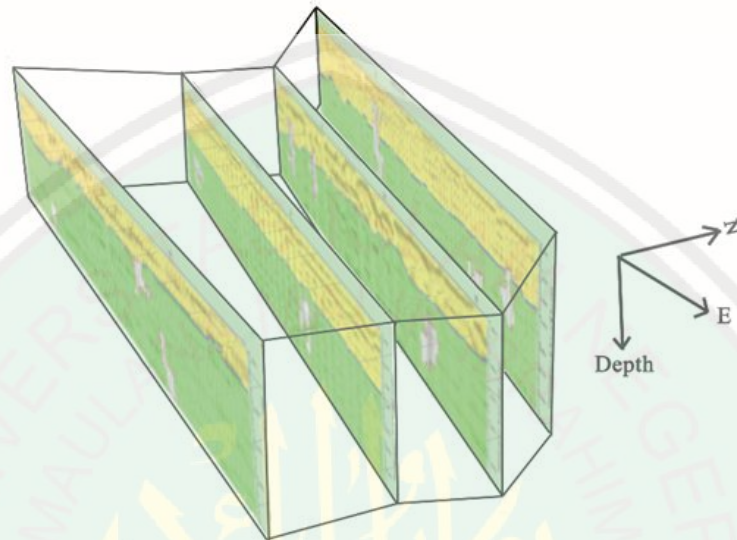
Pada gambar 4.3 (b) Pengambilan data pada line B-B' ini dimulai dari arah barat menuju ke arah timur. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan hasil interpretasi posisi 3 buah gua berada pada jarak 4 meter, 8 meter dan 24 meter dari titik awal pengukuran yang ditunjukkan dengan sinyal lurus atau sinyal tidak ada refleksi dan diameter sumbu lateral gua yaitu 1 meter, 1 meter dan 2 meter. Litologi batuan pada line B-B' terdiri atas batu gampingpasiran (warna kuning) dengan nilai kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,15 \text{ m/ns}$ dan batugamping

(warna hijau) dengan kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,12 \text{ m/ns}$. Posisi gua berada pada batu gampingpasiran dan batugamping. Ketebalan batuan gampingpasiran bervariasi ke arah lateral, sedangkan ketebalan batugamping tidak diketahui karena yang terlihat hanya bagian atas saja. Posisi batu gampingpasiran berada di atas dan batugamping berada di bawahnya.

Pada gambar 4.3 (c) Pengambilan data pada line C-C' ini dimulai dari arah barat menuju ke arah timur. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan hasil interpretasi posisi 2 buah gua berada pada jarak 1 meter dan 21 meter dari titik awal pengukuran yang ditunjukkan dengan sinyal lurus atau sinyal tidak ada refleksi dan diameter sumbu lateral gua yaitu 4 meter dan 2 meter. Litologi batuan pada line C-C' terdiri atas batu gampingpasiran (warna kuning) dengan nilai kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,15 \text{ m/ns}$ dan batugamping (warna hijau) dengan kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,12 \text{ m/ns}$. Posisi gua berada pada batu batugamping, ketebalan batuan gampingpasiran bervariasi ke arah lateral, sedangkan ketebalan batugamping tidak diketahui karena yang terlihat hanya bagian atas saja. Posisi batu gampingpasiran berada di atas dan batugamping berada di bawahnya.

Pada gambar 4.3 (d) Pengambilan data pada line D-D' ini dimulai dari arah barat menuju ke arah timur. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan hasil interpretasi posisi 3 buah gua berada pada jarak 4 meter, 16 meter dan 19 meter dari titik awal pengukuran yang ditunjukkan dengan sinyal lurus atau sinyal tidak ada refleksi dan diameter sumbu lateral gua yaitu 1 meter, 2 meter dan 1 meter. Litologi batuan pada line D-D' terdiri atas batu gampingpasiran (warna kuning) dengan nilai kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,15 \text{ m/ns}$ dan batu gamping (warna hijau) dengan kecepatan $v = 0,11 \text{ m/ns} - 0,12 \text{ m/ns}$. Posisi gua berada

pada batu batugamping, ketebalan batuan gampingpasiran bervariasi ke arah lateral, sedangkan ketebalan batugamping tidak diketahui karena yang terlihat hanya bagian atas saja. Posisi batu gampingpasiran berada di atas dan batugamping berada di bawahnya.



Gambar 4.4 Hasil Penentuan Posisi Gua dan Penentuan Jenis Batuan 3 Dimensi

4.2 Integrasi Penelitian dengan Al-Quran dan Hadist

Al-Quran merupakan kitab sempurna yang memberikan petunjuk dan membimbing kita dalam menuntut ilmu. Dalam al-Quran yang telah diturunkan sejak abad ke-14 menjelaskan tentang fakta ilmiah yang banyak ditemukan di abad ini. Isi kandungan al-Quran terdapat banyak ilmu pengetahuan yang membuktikan kebenaran ilmiah yang baru bisa terungkap dengan teknologi canggih seperti sekarang ini. Hal ini sebagai bukti kebesaran Allah SWT dan sebagai petunjuk kepada manusia dalam memanfaatkan apa yang diciptakan-Nya dengan tidak lupa mensyukurinya. Berikut ini akan dibahas dalam ayat-ayat Alquran tentang pemeliharaan lingkungan serta larangan berbuat kerusakan di muka bumi ini yang akibatnya bisa fatal bagi kehidupan manusia itu sendiri.

Yang pertama adalah Al-Qur'an Surat Shad (38): 27-28 yang menerangkan bahwa Allah menciptakan bumi, langit dan di antara keduanya dengan baik. Penciptaan alam semesta ini telah didesain sedemikian rupa agar manusia dapat memanfaatkan dan menikmatinya secara maksimum. Hanya orang-orang yang *kufur* (mengingkari) nikmat Allah sajalah yang berburuk sangka terhadap apa yang diciptakan oleh Allah sehingga Allah marah dan menyumpah mereka masuk ke dalam neraka. Sementara mereka yang beriman dan beramal saleh atau orang-orang yang bertakwa akan diperlakukan secara berbeda dari mereka yang kufur yaitu mereka akan masuk surga yang nyaman, sebagai bentuk ke-Mahaadilan Allah.

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ۚ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ ۗ ٢٧
 أَمْ نَجْعَلُ الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ كَالْمُفْسِدِينَ فِي الْأَرْضِ ۗ أَمْ نَجْعَلُ الْمُتَّقِينَ كَالْفُجَّارِ ۗ ٢٨

Artinya : “Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, Maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka. Patutkah Kami menganggap orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal yang saleh sama dengan orang-orang yang berbuat kerusakan di muka bumi? Patutkah (pula) Kami menganggap orang-orang yang bertakwa sama dengan orang-orang yang berbuat maksiat?” (QS. Shad 27-28).

Dari ayat di atas dapat diambil pelajaran bahwa hendaknya kita berbaik sangka tidak berburuk sangka kepada Allah atas segala yang diciptakan-Nya di muka bumi ini, yaitu Allah telah menciptakan alam ini untuk kenyamanan dan kesejahteraan manusia. Sehingga kita hendaknya beriman kepada Allah dan berbuat baik di muka bumi ini. Berbuat baik disini contohnya adalah tidak mengeksploitasi alam secara berlebihan. Selain itu, hendaknya kita tidak berburuk sangka terhadap Allah atas apa yang diciptakan-Nya. Jika ada yang berburuk sangka terhadap Allah

atas apa yang diciptakan-Nya, maka Allah akan murka dan mengkategorikan orang tersebut sebagai orang yang *kufur*, yang balasannya adalah masuk neraka.

Selanjutnya ayat Al-Quran Surat Al-Baqarah (2): 60 juga menekankan bahwa Allah memberikan rezeki kepada semua manusia dan melarang manusia berbuat kerusakan di muka bumi ini:

إِذِ اسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ فَقُلْنَا اضْرِبْ بِعَصَاكَ الْحَجَرَ ۖ فَانفَجَرَتْ مِنْهُ اثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا ۗ قَدْ عَلِمَ كُلُّ
أُنَاسٍ مَّشْرَبَهُمْ ۖ كُلُوا وَاشْرَبُوا مِن رِّزْقِ اللَّهِ وَلَا تَعْنُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ (٦٠)

Artinya: (ingatlah) ketika Musa memohon air untuk kaumnya, lalu Kami berfirman: “Pukulah batu itu dengan tongkatmu,” lalu memancarlah daripadanya dua belas mata air. Sungguh tiap-tiap suku telah mengetahui tempat minumnya (masing-masing). Makan dan minumlah rezeki (yang diberikan) Allah, dan janganlah kamu berkeliaran di muka bumi dengan berbuat kerusakan” (QS. Al Baqarah : 60).

Dari ayat di atas dapat diketahui bahwa Allah memberikan rezeki kepada manusia yang disediakan-Nya di bumi ini. Manusia hanya tinggal mencari tahu bagaimana memanfaatkan apa yang ada di muka bumi ini untuk memenuhi keperluannya dengan catatan bahwa manusia tidak merusaknya, hanya memanfaatkan dengan memeliharanya.

Selain ayat di atas, penekanan tentang larangan berbuat kerusakan di muka bumi dan kepastian bahwa Allah akan memberikan rezeki kepada manusia yang berbuat baik dan bersyukur di muka bumi ini dijelaskan dalam Alquran Surat Al-A'raf (7): 56-58 sebagai berikut :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ
٥٦ وَهُوَ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَّاحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ ۗ حَتَّىٰ إِذَا أَقْلَّتْ سَحَابًا ثَقَالًا سُفِّتَ لِبَلَدٍ لَّيْلٍ فَأَنزَلْنَا بِهِ
الْمَاءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِ مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ ۗ كَذَلِكَ نُخْرِجُ الْمَوْتَىٰ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ ٥٧ وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتَهُ بِإِذْنِ
رَبِّهِ ۗ وَالَّذِي خَبِثَ لَا يَخْرِجُ إِلَّا نَكِدًا ۗ كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ٥٨

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik. Dan Dialah yang meniupkan angin sebagai

pembawa berita gembira sebelum kedatangan rahmat-Nya (hujan); hingga apabila angin itu telah membawa awan mendung, Kami halau ke suatu daerah yang tandus, lalu Kami turunkan hujan di daerah itu, Maka Kami keluarkan dengan sebab hujan itu pelbagai macam buah-buahan. Seperti itulah Kami membangkitkan orang-orang yang telah mati, Mudah-mudahan kamu mengambil pelajaran. Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (QS Al A’raf 56-58)

Dari ayat tersebut di atas, dapat dipahami bahwa Allah memperhatikan kesejahteraan manusia di muka bumi ini dengan, misalnya diturunkannya hujan, yang memungkinkan pepohonan tumbuh dan menghasilkan buah yang bisa dinikmati manusia. Dengan ini semua, diharapkan manusia dapat bersyukur dan berdoa dengan penuh harap kepada Allah, senantiasa memelihara karunia Allah dan tidak berbuat kerusakan.

Manusia sebagai khalifah Allah di bumi sebagai penjaga alam raya agar tetap asri dan nyaman, karena bumi dengan segala ekosistemnya adalah untuk digunakan manusia yang Allah menjadikan bumi sebagai tempat bagi umat manusia. Bila kerusakan-kerusakan diperbuat manusia, maka sunnatullah akan berperanan di situ dengan bentuk musibah seperti; banjir, tanah longsor, amblesan tanah, dan sebagainya sebagai bagian dari sebab-akibat dari dampak yang diperbuat manusia itu sendiri. Kerusakan alam seperti penebangan liar, perusakan ozon dari berbagai aktivitas manusia akan menyengsarakan manusia itu sendiri. Dampak yang dilakukan manusia itu akan merusak bumi sebagai tempat tinggal manusia. Langit bumi dan air adalah satu tatanan ekosistem untuk manusia hidup dan berkembang biak.

Allah menciptakan kekayaan alam seperti bentang alam yang berbentuk gua, dimana pada penelitian kali ini gua bawah permukaan dijadikan sebagai objek

penelitian. Al-Qur'an menekankan kepada manusia untuk selalu menjaga, melestarikan dan memanfaatkan ilmu yang kita punya untuk mempelajari semua yang ada di jagat raya ini termasuk bentang alam seperti gua tersebut dengan melakukan riset atau penelitian-penelitian yang berguna bagi pelestarian alam, sehingga bencana alam tidak akan pernah lagi terjadi di bumi ini.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil interpretasi data dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan gua bawah tanah yang terdeteksi pada line A - A', line B - B', line C - C' dan line D - D'.
2. Metode GPR (*Ground Penetrating Radar*) dapat mendeteksi litologi batuan bawah permukaan yang teridentifikasi sebagai batu gampingpasiran dan batugamping pada masing-masing line A - A', line B - B', line C - C' dan line D - D'.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pemilihan antena GPR dengan frekuensi rendah untuk mendapatkan target kedalaman data yang lebih dalam. Sedangkan saran untuk masyarakat agar menjaga, mengembangkan serta melestarikan keberadaan gua tersebut untuk pengembangan wisata alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Quran dan Terjemahan . 2008.Bandung: Departemen Agama RI Diponegoro.
- Angriani, Ria dan Uca. 2018. *Pemetaan Gua Kalibong Aloa Kawasan Karst Pangkep*. Makassar: Jurusan Geografi Universitas Negeri Makassar, Jurnal Sainsmat, Vol. VIII No.2. ISSN 2579-5686 (Online) ISSN 2086-6755 (Cetak).
- Arcone, S.A. 1984. *Dielectric Costant And Layer Thickness Interpretation 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.
- Bahagiarti K.2004. *Mengenal Hidrologi Karst*. Pusat Studi Karst. Yogyakarta: LPPM UPN Veteran Yogyakarta.
- Bahri,S.Ayi. 2009. *Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunungkidul Dengan Metode Ground Penetrating Radar*. Surabaya: Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Bammelen,R.W.Van. 1949. *The Geology Of Indonesia*. The Hague: Government Printing.
- Benson, A.K. 1995. Application of ground penetrating radar in Assesing some geological hazards: examples of ground water contamination, faults, cavities” *Journal of Applied Geophysical Prospecting*. Vol 33 pp. 531-551. Utah. Elsevier.
- Bogli. 1980. *Karst Hydrology And Physical Speleology*. Springer-Verlag.
- Chamberlain, A.T. and Sellers, W. Proctor C., 2000. *Cave Detection In Limestone Using Ground Penetrating 12 Radar*. *Journal Of Archaeological Science*. [Http://Geoful.Wordpress.Com/Metode-Geofisika.Html](http://Geoful.Wordpress.Com/Metode-Geofisika.Html). Diakses pada Kamis 13 Februari 2020.
- Davis and Anan. 1989. “*Ground Penetrating Radar For High Resolution Mapping Of Soil And Rock Stratigraphy*”. *Geophysical Propecting* vol 37, pp. 531-551. Netherlands. European Association of Geoscientist & Engineers.
- Ford, D & Williams, P. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: McGraw-Hill Book Company.

- Ford, D & Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Foster, Bob. 2003. *Fisika SMA Jilid 3A Untuk Kelas XIII*. Jakarta: Erlangga.
- geological. Hazard.
- Gillieson, D. 1996. *Caves: Processes, Development, and Management*. Oxford: Blackwell.
- Google Earth, *Citra Google Maps.*, Diakses pada Kamis 13 Februari 2020.
- Griffiths, David J. 1999. *Introduction To Electrodynamics, 3rd ed. Prentice Hall*. New Jersey: Upper Saddle River.
- Handayani. 2007. *Penerapan Metode Geofisika Dalam Eksplorasi Mineral*. Semarang : Seminar Nasional UNNES
- Haryono, E., Adji, T.N. 2004. *Bahan Ajar Geomorfologi Dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Kunz, K.S., and Luebbers, R.J. 1993. *The Finite Time Domain Method For Electromagnetics*. CRC Press.
- Langer, W.H. 2001. *Potential Environmental Impacts Of Quarrying Stone In Karst A Literature Review. Open File Report*. USA: US Geological Survey.
- Lehmann, Frank and Green, Alam G. 1999. *Semi-Automated Geopradar Data Acquisition In Three Dimensions*. Swizerland: Swiss Federal Institute Of Technology, Institute Of Geophysics, ETH-Honggerberg, CH-8093 Zurich.
- Merill, Skornik. 2008. *Radar Handbook Third Edition*. New York: MacGraw-Hill Company.
- Muhyi, Sumarsono., 2005. *Deteksi Kabel Listrik Bawah Tanah Dengan Otomata*, STMIK, Indonesia: Jakarta.
- Nahrowi, T.Y., Suratman S. Namida & S. Hidayat. 1978. *Geologi Pegunungan Selatan, Jawa Timur, PIT IX*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Natuschka, M.L., Daniela, B.M., Roman, A., Lubomir, K., Cesareo, Saiz-Jimenez, Sushmitha, B., Ramanathan, B., Wolfgang, L., Megan, L.P., and A.S. Engel. 2012. *Caves and Karst Environments*. London, UK : The British Library.
- Nuraini, Fahad., 2012. *Kajian Karakteristik dan Potensi Kawasan Karst Untuk Pengembangan Ekowisata di Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul*, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction To Applied And Enviromental Geophysics*. England: John Wiley and Sons, inc.
- Santosa S. dan T. Suwarti. 1992. *Geologi Lembar Malang, Jawa Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia. Semarang: Seminar Nasional UNNES.
- Shofiana Anggun. 2016. *Identifikasi Gua Bawah Tanah Pada Struktur Gamping Berdasarkan Interpretasi Data Ground Penetrating Radar (GPR)*. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Sujanto., Hadisusanto, R., Kusnama., Chaniago, R dan Baharuddin, R. 1992. *Peta Geologi Lembar Turen, Jawa Timur; Skala 1: 100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Summerfield, M.A. 1991. *Global Geomorphology*, John Wiley and Son, New York.
- Supriyanto. 2007. *Perambatan Gelombang Elektromagnetik*. Jakarta: Fisika-FMIPA Universitas Indonesia.
- Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. London: Macmillan.
- Tjahyo, Nugroho, Adji., Eko Haryono dan Suratman Worosuprojo. 1999. *Kawasan Karst Dan Prospek Pengembangannya Di Indonesia. Seminar Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geografi Indonesia*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Trudgil, S. 1985. *Limestone Geomorphology*. Longman, New York.

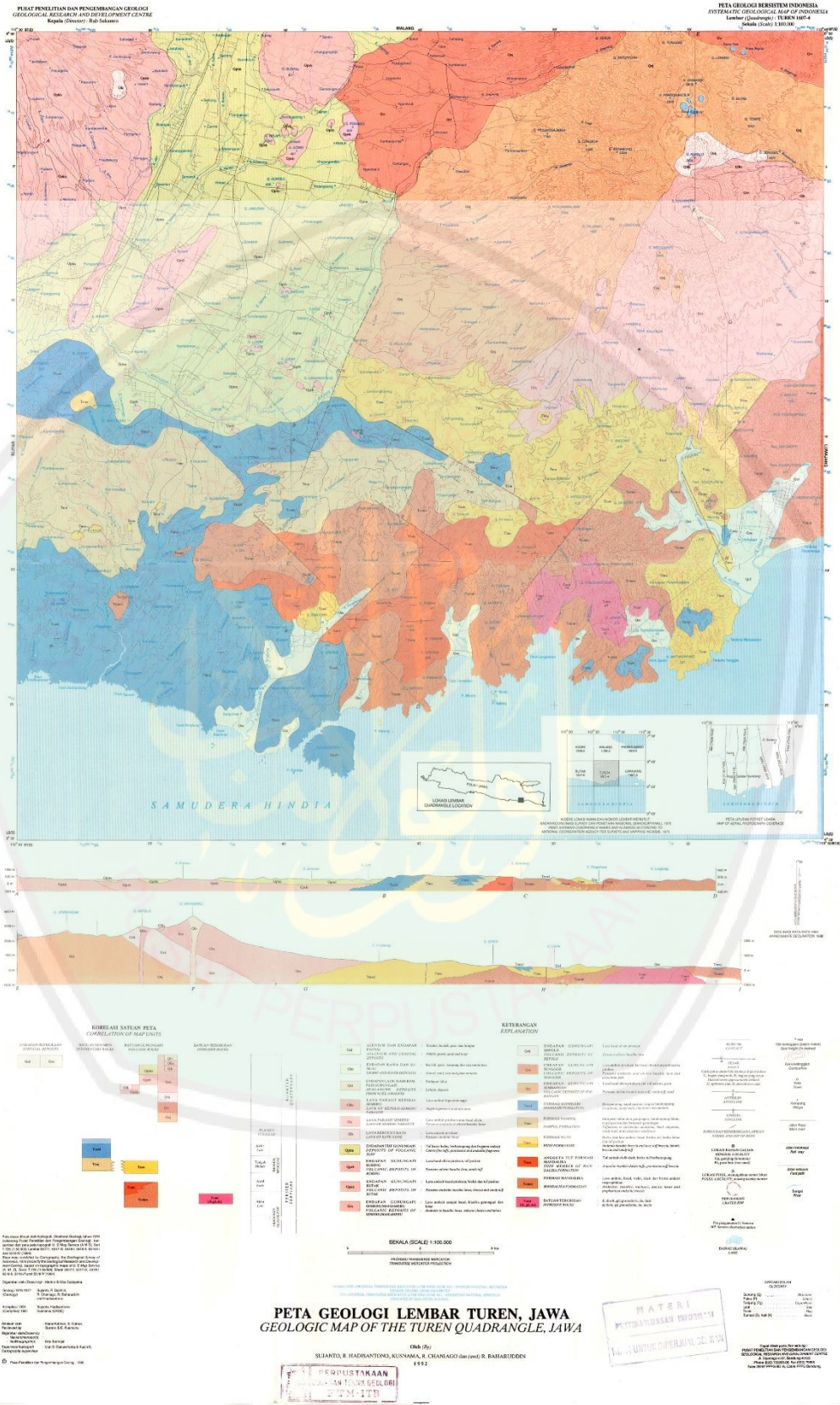


LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian



Lampiran 2 Peta Geologi Lembar Turen



Lampiran 3 Data Penelitian

Line A-A'

Cuplikan Amplitudo (mm)	Trace			
	19	75	151	234
0	26457.72	30010.35	30416.36	30037.11
1	-7895.86	6686.47	-1351.76	-3335.00
2	-6777.26	-15364.24	-9490.12	-3301.61
3	15114.93	19333.00	17232.27	13928.17
4	-7312.00	-4906.41	-8521.00	-7640.33
5	5053.35	-5584.18	-2482.48	-2241.50
6	722.19	1295.71	-712.58	-1791.94
7	-5234.11	-8897.47	-8170.30	-7519.83
8	1371.18	-1817.12	-671.91	-488.61
9	-2933.04	-110.71	-711.94	-792.78
10	-1431.43	-4620.24	-3856.70	-2984.94
11	2709.53	2634.47	3499.09	2484.72
12	-361.06	327.29	-33.85	-708.61
13	-336.08	-3118.53	-2620.91	-1841.44
14	3257.13	1562.00	2392.94	1171.22
15	273.90	-492.94	-511.55	-307.83
16	419.98	-1790.29	-1306.39	-554.17
17	1311.60	1210.94	1764.48	1198.11
18	1087.51	766.94	497.76	861.83
19	-627.98	375.94	430.39	-214.72
20	116.46	1441.71	2198.21	1608.67
21	-514.90	920.41	854.52	-473.39
22	-2514.79	800.24	535.15	-374.17
23	-896.53	-1214.12	-939.48	66.28
24	-3038.35	-157.59	-415.39	-794.83
25	-2590.41	9.00	-638.85	449.22
26	-1245.39	-1595.00	-2127.85	-821.78
27	-2430.66	387.71	-72.76	1125.17
28	-1949.32	645.65	-238.79	317.61
29	-1208.39	-42.94	-1655.88	-622.11
30	-699.68	-249.24	244.21	-291.33
31	440.32	775.59	409.42	-336.28
32	-201.12	-1618.65	-2937.61	-2669.89
33	1037.25	-2823.41	-1236.27	-1961.67

Line B-B'

Cuplikan Amplitudo (mm)	Trace			
	30	67	121	219
0	7548.50	15716.17	-4185.67	-20173.83
1	-4393.50	2206.17	1267.20	16392.83
2	4660.50	3916.67	2729.80	2509.33
3	3879.50	-1850.00	-1606.40	-9172.83
4	-3738.75	-2255.17	-7154.93	-3405.83
5	-1431.25	2485.83	578.33	-4852.83
6	-1024.00	-7704.17	760.60	-2213.83
7	-2049.25	1126.50	-3087.67	-4682.83
8	-1216.75	-744.17	114.07	386.67
9	-734.50	-1266.83	-1333.33	372.33
10	-347.00	576.33	-4147.40	-1590.00
11	790.00	1015.83	456.27	-810.00
12	-921.25	-2084.50	75.53	2830.00
13	-824.00	1287.00	-962.67	-3813.67
14	1522.00	757.50	-328.07	340.50
15	1005.75	-1526.00	2173.00	2339.17
16	-2434.50	-1224.50	-2267.13	-4619.67
17	2397.00	3550.83	290.07	734.50
18	2538.50	472.83	2929.73	4372.67
19	-2617.50	-5889.83	-3559.60	-3086.67
20	-1074.50	4455.50	-1128.07	-2318.33

Line C-C'

Cuplikan Amplitudo (mm)	Trace			
	35	92	138	192
0	-29811.88	-23205.56	22202.00	12589.33
1	16227.63	-12099.39	-23835.50	-25406.55
2	14253.13	32754.65	-2423.50	26010.22
3	-17309.13	-4716.39	11229.00	14117.11
4	14668.00	-4752.30	-8521.00	-12317.89
5	131.50	10555.96	-292.00	8983.22
6	-7583.50	-8141.48	-219.33	501.78
7	2541.13	-4004.22	-98.67	-5405.67
8	-2685.50	2223.83	-731.00	-2831.22
9	-2505.88	-5972.91	-55.67	-5979.22
10	1616.63	2454.48	1427.83	-1652.78
11	-2055.13	1321.35	428.00	-1895.89
12	1932.75	-2199.04	-2019.00	-3341.00

13	1505.63	3705.43	3451.50	3075.56
14	-1974.88	-1156.48	1868.50	-1030.67
15	762.63	-685.48	-147.33	-2364.67
16	2095.38	1750.61	3857.00	2468.56
17	-1395.50	-1588.35	1514.00	-1144.11
18	1352.38	613.22	1287.00	-1884.56
19	2199.88	2259.00	3087.50	960.67
20	-1083.13	-516.52	2001.50	-289.22
21	576.25	1175.30	1472.00	954.22
22	-145.25	403.35	962.17	-777.44
23	-377.50	587.35	-613.17	-32.78
24	-1037.00	38.57	-204.50	2741.22
25	-822.50	-1542.52	-1727.00	-1087.00
26	169.88	623.57	-3080.83	-144.00
27	-1305.25	-809.30	-4142.67	1324.11
28	-14.88	-4.04	-2199.33	648.56
29	-1257.75	380.35	-2189.33	-64.78
30	-991.38	454.43	-4280.83	-744.67
31	1186.50	720.91	-4137.50	2860.56
32	-1133.38	-1741.17	-2833.83	-494.78

Line D-D'

Cuplikan Amplitudo (mm)	Trace			
	20	69	121	222
0	15060.42	-5653.09	-2226.23	-18811.81
1	15195.58	9427.64	8518.46	22935.63
2	1400.75	2613.55	2788.62	-2154.13
3	-703.75	4870.45	11348.77	-4133.63
4	-4719.58	4403.18	-1446.15	8582.75
5	-3024.83	47.64	388.62	-3714.81
6	-7227.67	474.18	-3288.85	350.00
7	-247.00	-3673.82	-2364.08	-1359.13
8	-263.67	-1606.73	-3427.54	-2705.44
9	870.25	921.27	-1002.92	-1681.13
10	146.50	-1428.64	2178.77	74.13
11	-370.92	-2027.18	-1239.77	-2305.06
12	-606.17	-244.00	2029.08	738.88
13	-829.83	158.00	56.23	585.88
14	-3081.92	27.18	-1288.08	-888.00
15	1166.25	-456.36	1794.62	-262.06
16	-347.50	-901.45	-1115.38	709.13
17	-139.92	1382.18	-127.92	-361.56
18	635.33	232.82	422.23	184.88

Lampiran 4 Perhitungan

LINE		d (meter)	t (ns)	v (m/ns)
A-A'	19	0,9	12,5	0,144
	75	1,4	18,75	0,149
	151	0,5	7,81	0,128
	234	0,9	14,07	0,127
B-B'	30	1	14,06	0,142
	67	0,3	4,69	0,127
	121	0,3	4,69	0,127
	219	0,3	4,69	0,127
C-C'	35	1,5	20,32	0,147
	92	0,5	7,81	0,128
	138	0,5	7,81	0,128
	192	0,4	6,25	0,128
D-D'	20	0,5	6,25	0,159
	69	0,4	6,25	0,128
	121	0,4	6,25	0,128
	222	0,2	3,13	0,127

Lampiran 5 Gua Penelitian





KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN FISIKA

Gedung B.J. Habibie Lt. 2 Fak. Saintek Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. (0341) 558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : FARIIDATUL MUNIROH
NIM : 16640061
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika
Judul Skripsi : Aplikasi Metode *Ground Penetrating Radar* Untuk Identifikasi Gua Bawah Tanah
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No.	Hari/Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	Rabu/12 Februari 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	Rabu/19 Februari 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III	
3	Kamis/ 27 Februari 2020	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
4	Rabu/12 Agustus 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5	Selasa/8 September 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
6	Jumat/02 Oktober 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
7	Senin/12 Oktober 2020	Konsultasi Bab IV	
8	Selasa/20 Oktober 2020	Konsultasi Bab IV	
9	Senin/9 November 2020	Konsultasi Kajian Agama	
10	Selasa/10 November 2020	Konsultasi Bab IV dan ACC	
11	Kamis/10 Desember 2020	Konsultasi semua Bab	
12	Sabtu/19 Desember 2020	Konsultasi semua Bab dan ACC	

Malang, 21 Desember 2020

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

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