

SKRIPSI

**PEMETAAN KONDISI BAWAH PERMUKAAN MELALUI
METODE *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)
PADA KAWASAN PT.KIMA MAKASSAR
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**RENDRA SATRIA RAHARJA
D061 19 1106**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PEMETAAN KONDISI BAWAH PERMUKAAN MELALUI
METODE GROUND PENETRATING RADAR (GPR)
PADA KAWASAN PT.KIMA MAKASSAR
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

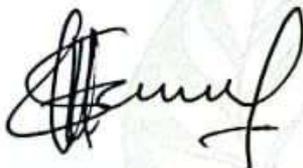
Disusun Dan Diajukan Oleh

**RENDRA SATRIA RAHARJA
D06 119 1106**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tanggal 20 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Sultan, S.T., M.T
NIP. 19700705 199702 1 002

Pembimbing Pendamping,



A. Bahrul Hidayah, S.T. M.T
NIP. 19880630 202101 5 001

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pichri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rendra Satria Raharja

NIM : D061191106

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

Pemetaan Kondisi Bawah Permukaan Melalui Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Pada Kawasan Pt.Kima Makassar Provinsi Sulawesi Selatan

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya sendiri bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, April 2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Rendra Satria Raharja

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* karena berkat rahmat hidayah-Nya serta kesehatan yang selalu diberikan sehingga proses penyusunan proposal tugas akhir dengan judul **“PEMETAAN KONDISI BAWAH PERMUKAAN MELALUI METODE *GROUND PENETRATING RADAR* PADA KAWASAN PT.KIMA MAKASSAR PROVINSI SULAWESI SELATAN”** ini dapat berjalan dengan baik.

Sholawat serta salam tak lupa kami haturkan kepada junjungan kita, Rasulullah Sallallahu Alaihi Wasallam Sang revolusioner sejati yang telah menuntun umatnya dari jalan yang gelap gulita menuju jalan yang terang benderang seperti sekarang. Pada kesempatan ini, tak lupa penulis ucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak, di antaranya:

1. Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T. Sebagai dosen pembimbing utama yang telah meluangkan banyak waktu dan tenaganya dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak A. Bahrul Hidayah, S.T., M.T. Sebagai dosen pembimbing pendamping yang telah meluangkan banyak waktu dan tenaganya dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T. sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan saran dan masukkan dalam penyusunan laporan ini.
4. Bapak Safruddim, S.T., M.Eng. sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan saran dan masukkan dalam penyusunan laporan ini.
5. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Unviersitas Hasanuddin.
6. Bapak dan Ibu dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya.



af Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.

8. Kedua Orang Tua penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan penulis segala bentuk dukungan.
9. Teman-teman Teknik Geologi angkatan 2019 atas segala dukungannya.
10. Seluruh Anggota Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu menjadi tempat diskusi penulis.

Di dalam penyusunan proposal ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, berbagai bentuk kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan. Terimakasih.

Makassar, April 2024

Penulis



ABSTRAK

RENDRA SATRIA RAHARJA. *Pemetaan Kondisi Bawah Permukaan Melalui Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Pada Kawasan PT. KIMA Makassar Sulawesi Selatan* (dibimbing oleh Sultan dan A. Bahrul Hidayah)

Dengan berkembangnya teknologi telah ditemukan sebuah pilihan yang sangat baik untuk pendeteksian bawah tanah karena memiliki cakupan spesialisasi dan pengaplikasian yang sangat luas yaitu *ground penetrating radar* (GPR). Akurasi metode GPR pada pemetaan utilitas bawah tanah yang mencapai hingga 0,10 m akan berdampak signifikan dalam meminimalkan risiko gagal penggalian. Penelitian bertujuan untuk memberikan informasi tentang gambaran kondisi bawah tanah serta keberadaan utilitas bawah tanah dalam upaya efisiensi kegiatan penggalian maupun perbaikan dan sebagai referensi tambahan bagi penelitian sejenis.

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kelurahan Daya, Kecamatan Biringkaya, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis terletak pada koordinat 119°34'45,3"-119°38' 33,9" BT dan 5°23'23,6"-5°25'56.8" LS. Akuisisi data pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu primer dan sekunder. Data primer yaitu pengukuran yang dilakukan pada kawasan PT. KIMA dan sekunder dilakukan di kawasan kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang bertujuan untuk mendapatkan data dengan kondisi bawah permukaan yang sudah diketahui untuk dijadikan sebagai pembandingan dan juga acuan untuk analisis radargram.

Dari hasil analisis radargram yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa Pada daerah penelitian, ketebalan jalan atau beton/*pavement* yaitu $\pm 0,2$ meter, selain utilitas bawah permukaan, dapat dilihat juga keberadaan dan *void* atau ruang hampa dan juga batas perbedaan material di bawah permukaan. Kemudian berdasarkan hasil analisis radargram didapatkan pula data lokasi keberadaan utilitas bawah permukaan pada tiap-tiap lintasan di daerah penelitian.

Kata kunci: *Ground Penetrating Radar*, Pemetaan Bawah permukaan, PT. KIMA.



ABSTRACT

RENDRA SATRIA RAHARJA. *Subsurface Conditions Mapping Using Ground Penetrating Radar (GPR) Method in the PT KIMA Makassar Area, South Sulawesi* (supervised by Dr. Sultan and A. Bahrul Hidayah)

With the development of technology, an excellent option for underground detection has been found because it has a very wide range of specializations and applications, namely ground penetrating radar (GPR). The accuracy of the GPR method in underground utility mapping that reaches up to 0.10 m will have a significant impact on minimizing the risk of excavation failure. The research aims to provide information about the description of underground conditions and the presence of underground utilities to improve the efficiency of excavation and repair activities and to serve as an additional reference for similar studies.

The research area is administratively located in Daya Village, Biringkaya Sub-district, Makassar City, South Sulawesi Province. Geographically, it is located at the coordinates 119°34'45.3"-119°38' 33.9" East and 5°23'23.6"-5°25'56.8" LS. Data acquisition in this study is divided into two categories, namely primary and secondary. Primary data are measurements taken in the PT KIMA area, and secondary data are taken in the Hasanuddin University Faculty of Engineering campus area, which aims to obtain data with known subsurface conditions to serve as a comparison and also a reference for radargram analysis.

From the results of the radargram analysis that has been carried out, it is concluded that in the research area, the thickness of the road, concrete, or pavement is ± 0.2 meters. In addition to subsurface utilities, it can also be seen the presence of voids and the boundaries of material differences below the surface. Then, based on the results of the radargram analysis, data on the location of subsurface utilities in each track in the study area was also obtained.

Keywords : Ground Penetrating Radar; Subsurface Mapping, PT. KIMA.



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional	4
2.1.1 Geomorfologi Regional.....	4
2.1.2 Stratigrafi Regional	5
2.1.3 Struktur Regional	6
2.2 Geofisika	8
2.3 Ground Penetrating Radar (GPR)	8
2.3.1 Prinsip Kerja <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....	9
2.3.2 Komponen Ground Penetrating Radar (GPR).....	12
2.3.3 Aplikasi GPR	13
lebih <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....	15
ekurangan <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR)	16
efisien Dielektrik Material	16



2.5	Kecepatan Rambat Gelombang Elektromagnetik	19
2.6	Kedalaman Penetrasi Gelombang GPR	21
2.7	Interpretasi Data <i>Geo Penetrating Radar</i> (GPR)	23
2.8	Metode Survei <i>Ground Penetrating Radar</i>	24
2.8.1	<i>Common Offset Reflection Survey</i>	24
2.8.2	<i>Multioffset (common midpoint)</i>	25
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	27
3.2	Variabel Penelitian	28
3.3	Bahan Uji dan Alat	28
3.4	Teknik Pengumpulan Data	29
3.4.1	Tahap Persiapan	29
3.4.2	Tahap Pengambilan Data Primer	30
3.4.3	Tahap Pengambilan Data Sekunder	30
3.5	Teknik Analisis Data	31
3.6	Tahap Penyusunan Laporan	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisis Amplitudo Gelombang Pantulan	35
4.2	Hasil Survei Pada Kawasan PT. KIMA	37
4.2.1	Hasil Survei Pada Kawasan PT. KIMA	38
4.2.2.1	KIMA10	39
4.2.2.2	KIMA 4	53
4.2.2.3	KIMA 7	65
4.2.2.4	KIMA 19	77
4.2.2.5	KIMA 8	89
4.2.2.6	KIMA RAYA 2A (CROSSING 6-9)	105
4.2.2.7	KIMA RAYA 2B (CROSSING 4-7)	111
4.2.2.8	KIMA RAYA 14	118
PENUTUP		125
ESIMPULAN		125
ARAN		126



DAFTAR PUSTAKA 127



Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Rab Sukamto dan S. Supriatna, 1982).....	4
Gambar 2	Gelombang EM.....	9
Gambar 3	Muka gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan tersebar dari objek yang terkubur dengan permitivitas yang kontras.....	11
Gambar 4	Hubungan antara permitivitas objek terhadap waktu tempuh melalui suatu sampel	12
Gambar 5	Sistem radar metode GPR dalam mendeteksi dan menggambar citra bawah permukaan.....	12
Gambar 6	Aplikasi GPR di lapangan dan Citra Pipa di Bawah Permukaan.....	13
Gambar 7	Pemanfaatan GPR pada penentuan keberadaan utilitas (Widayanti, 2020).....	14
Gambar 8	Pemanfaatan GPR pada penentuan ketebalan <i>concrete</i> lantai <i>basement</i>	14
Gambar 9	Pemanfaatan GPR untuk penentuan kondisi bawah permukaan guna merancang lokasi tiang pancang (Taufik, 2021).	15
Gambar 10	Karakteristik refleksi data Ground Penetrating Radar untuk interpretasi litologi (Powers, 1999).	24
Gambar 11	Peta Lokasi Penelitian	27
Gambar 12	Noggin 250 MHz.....	29
Gambar 13	Proses input data kedalam <i>software</i> EKKO_Project 6.....	32
Gambar 14	Proses olah data menggunakan <i>line view</i>	32
Gambar 15	Proses pengoptimalan kualitas data.....	33
Gambar 16	Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 17	Radargram Lintasan Pengukuran GPR Pada Bahan Uji	35
Gambar 19	Lintasan Pengukuran GPR Pada Plat Logam.....	36
Gambar 20	Lintasan Pengukuran GPR Pada Plat Logam.....	37
Gambar 21	Peta Lintasan KIMA 10.....	39
Gambar 22	Foto Lintasan 1 KIMA 10 Dengan Arah Lintasan N 171°E.....	40
Gambar 23	Radargram Lintasan 1 KIMA 10.....	40
Gambar 24	<i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 10.....	40
	25 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 10.....	41
	26 Foto Lintasan 2 KIMA 10 Dengan Arah Lintasan N 317°E.....	42
	27 Radargram Lintasan 2 KIMA 10.....	42



Gambar 28 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 10.....	43
Gambar 29 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 10.....	44
Gambar 30 Foto Lintasan 3 KIMA 10 Dengan Arah Lintasan N 253°E	44
Gambar 31 Radargram Lintasan 3 KIMA 10.....	45
Gambar 32 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 3 KIMA 10.....	45
Gambar 33 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 3 KIMA 10.....	46
Gambar 34 Foto Lintasan 4 KIMA 10 Dengan Arah Lintasan N 133°E	46
Gambar 35 Radargram Lintasan 4 KIMA 10.....	47
Gambar 36 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 4 KIMA 10.....	47
Gambar 37 <i>Void</i> Pada Lintasan 4 KIMA 10	48
Gambar 38 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 4 KIMA 10.....	48
Gambar 39 Foto Lintasan 5 KIMA 10 Dengan Arah Lintasan N 80°E	49
Gambar 40 Radargram Lintasan 5 KIMA 10.....	49
Gambar 41 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 5 KIMA 10.....	49
Gambar 42 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 5 KIMA 10.....	50
Gambar 43 Foto Lintasan 6 KIMA 10 Dengan Arah Lintasan N 250°E	51
Gambar 43 Radargram Lintasan 6 KIMA 10.....	51
Gambar 44 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 6 KIMA 10.....	51
Gambar 45 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 6 KIMA 10.....	52
Gambar 46 Peta Lintasan KIMA 4.....	53
Gambar 47 Foto Lintasan 1 KIMA 4 Dengan Arah Lintasan N 120°E	54
Gambar 48 Radargram Lintasan 1 KIMA 4.....	54
Gambar 49 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 4.....	54
Gambar 50 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 4.....	55
Gambar 51 Foto Lintasan 2 KIMA 4 Dengan Arah Lintasan N 299°E	56
Gambar 52 Radargram Lintasan 2 KIMA 4.....	56
Gambar 53 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 4.....	56
Gambar 54 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 4.....	57
Gambar 55 Foto Lintasan 3 KIMA 4 Dengan Arah Lintasan N 196°E	58
Gambar 56 Radargram Lintasan 3 KIMA 4.....	58
57 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 3 KIMA 4.....	58
58 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 3 KIMA 4.....	59
59 Foto Lintasan 4 KIMA 4 Dengan Arah Lintasan N 27°E	60



Gambar 60 Radargram Lintasan 4 KIMA 4.....	60
Gambar 61 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 4 KIMA 4.....	60
Gambar 62 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 4 KIMA 4.....	61
Gambar 63 Foto Lintasan 5 KIMA 4 Dengan Arah Lintasan N 103°E.....	62
Gambar 64 Radargram Lintasan 5 KIMA.....	62
Gambar 64 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 5 KIMA 4.....	62
Gambar 65 <i>Void</i> Pada Lintasan 5 KIMA 4.....	63
Gambar 66 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 5 KIMA 4.....	64
Gambar 67 Peta Lintasan KIMA 7.....	65
Gambar 68 Foto Lintasan 1 KIMA 7 Dengan Arah Lintasan N 61°E.....	66
Gambar 69 Radargram Lintasan 1 KIMA 7.....	66
Gambar 70 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 7.....	66
Gambar 71 <i>Void</i> Pada Lintasan 1 KIMA 7.....	67
Gambar 72 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 7.....	68
Gambar 73 Foto Lintasan 2 KIMA 7 Dengan Arah Lintasan N 249°E.....	68
Gambar 74 Radargram Lintasan 2 KIMA 7.....	69
Gambar 75 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 7.....	69
Gambar 76 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 7.....	70
Gambar 77 Foto Lintasan 3 KIMA 7 Dengan Arah Lintasan N 156°E.....	70
Gambar 78 Radargram Lintasan 3 KIMA 7.....	71
Gambar 79 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 3 KIMA 7.....	71
Gambar 80 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 3 KIMA 7.....	72
Gambar 81 Foto Lintasan 4 KIMA 7 Dengan Arah Lintasan N 75°E.....	73
Gambar 82 Radargram Lintasan 4 KIMA 7.....	73
Gambar 83 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 4 KIMA 7.....	73
Gambar 84 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 4 KIMA 7.....	74
Gambar 85 Foto Lintasan 5 KIMA 7 Dengan Arah Lintasan N 160°E.....	74
Gambar 86 Radargram Lintasan 5 KIMA 7.....	75
Gambar 87 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 5 KIMA 7.....	75
Gambar 88 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 5 KIMA 7.....	76
39 Peta Lintasan KIMA 19.....	77
40 Foto Lintasan 1 KIMA 19 Dengan Arah Lintasan N 178°E.....	78
41 Radargram Lintasan 1 KIMA 19.....	78



Gambar 92 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 19.....	78
Gambar 93 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 19.....	79
Gambar 94 Foto Lintasan 2 KIMA 19 Dengan Arah Lintasan N 198°E.....	80
Gambar 95 Radargram Lintasan 2 KIMA 19.....	80
Gambar 96 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 19.....	80
Gambar 97 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 19.....	81
Gambar 98 Foto Lintasan 5 KIMA 19 Dengan Arah Lintasan N 357°E.....	82
Gambar 99 Radargram Lintasan 5 KIMA 19.....	82
Gambar 100 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 5 KIMA 19.....	83
Gambar 101 <i>Void</i> Pada Lintasan 5 KIMA 19	83
Gambar 102 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 5 KIMA 19.....	84
Gambar 103 Foto Lintasan 4 KIMA 19 Dengan Arah Lintasan N 304°E.....	84
Gambar 104 Radargram Lintasan 4 KIMA 19.....	85
Gambar 105 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 4 KIMA 19.....	85
Gambar 106 Foto Lintasan 3 KIMA 19 Dengan Arah Lintasan N 113°E.....	85
Gambar 107 Radargram Lintasan 3 KIMA 19.....	86
Gambar 108 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 3 KIMA 19.....	86
Gambar 109 Batas Beton Pada Lintasan 3 dan 4 KIMA 19	87
Gambar 110 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 4 KIMA 19.....	88
Gambar 111 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 3 KIMA 19.....	88
Gambar 112 Peta Lintasan KIMA 8.....	89
Gambar 113 Foto Lintasan 1 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 67°E.....	90
Gambar 114 Foto Lintasan 7 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 210°E.....	90
Gambar 115 Radargram Lintasan 1 KIMA 8.....	91
Gambar 116 Radargram Lintasan 7 KIMA 8.....	91
Gambar 117 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 8.....	91
Gambar 118 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 7 KIMA 8.....	92
Gambar 119 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 8.....	93
Gambar 120 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 7 KIMA 8.....	93
Gambar 121 Foto Lintasan 2 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 65°E.....	94



122 Radargram Lintasan 2 KIMA 8.....	94
123 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 8.....	94
124 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 8.....	95

Gambar 125 Foto Lintasan 3 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 323°E.....	96
Gambar 126 Radargram Lintasan 3 KIMA 8.....	96
Gambar 127 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 3 KIMA 8.....	96
Gambar 128 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 3 KIMA 8.....	97
Gambar 129 Foto Lintasan 4 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 39°E.....	98
Gambar 130 Radargram Lintasan 4 KIMA 8.....	98
Gambar 131 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 4 KIMA 8.....	98
Gambar 132 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 4 KIMA 8.....	99
Gambar 133 Foto Lintasan 5 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 67°E.....	100
Gambar 134 Radargram Lintasan 5 KIMA 8.....	100
Gambar 135 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 5 KIMA 8.....	100
Gambar 136 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 5 KIMA 8.....	101
Gambar 137 Foto Lintasan 6 KIMA 8 Dengan Arah Lintasan N 41°E.....	102
Gambar 138 Radargram Lintasan 6 KIMA 8.....	102
Gambar 139 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 6 KIMA 8.....	102
Gambar 140 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 6 KIMA 8.....	103
Gambar 141 Peta Lintasan KIMA 2A.....	105
Gambar 142 Foto Lintasan 1 KIMA 2A Dengan Arah Lintasan N 161°E.....	106
Gambar 143 Foto Lintasan 2 KIMA 2A Dengan Arah Lintasan N 345°E.....	106
Gambar 144 Radargram Lintasan 1 KIMA 2A.....	107
Gambar 145 Radargram Lintasan 2 KIMA 2A.....	107
Gambar 146 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 2A.....	107
Gambar 147 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 2A.....	108
Gambar 148 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 2A.....	109
Gambar 149 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 2A.....	109
Gambar 150 Peta Lintasan KIMA 2B.....	111
Gambar 151 Foto Lintasan 1 KIMA 2B Dengan Arah Lintasan N 157°E.....	112
Gambar 152 Radargram Lintasan 1 KIMA 2B.....	112
Gambar 153 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 2B.....	113
Gambar 154 Keberadaan Pipa Dengan Kedalaman ±1 meter Pada Lintasan 1 KIMA 2B.....	114
l55 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 2B.....	114
l56 Foto Lintasan 2 KIMA 2B Dengan Arah Lintasan N 345°E.....	115
l57 Radargram Lintasan 2 KIMA 2B.....	115



Gambar 158 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 2B	115
Gambar 159 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 2B	116
Gambar 160 Peta Lintasan KIMA 14.....	118
Gambar 161 Foto Lintasan 1 KIMA 14 Dengan Arah Lintasan N 32°E	119
Gambar 162 Radargram Lintasan 1 KIMA 14.....	119
Gambar 163 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 1 KIMA 14.....	119
Gambar 164 <i>Void</i> Pada Lintasan 1 KIMA 14 Meteran ke 3-5,4.....	121
Gambar 165 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 1 KIMA 14.....	121
Gambar 166 Foto Lintasan 2 KIMA 14 Dengan Arah Lintasan N 210°E	122
Gambar 167 Radargram Lintasan 2 KIMA 14.....	122
Gambar 168 <i>Migrated</i> Radargram Lintasan 2 KIMA 14.....	122
Gambar 169 <i>Average Trace Amplitude Plot</i> Lintasan 2 KIMA 14.....	123



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Konstanta Dielektrik dan Kecepatan Gelombang Material (Reynolds,1985)	17
Tabel 2 Nilai Parameter Fisis Material (Annan, 2003)	18
Tabel 3 Parameter Dielektrik Material (Ahmad, 2012)	18
Tabel 4 Besaran Frekuensi dan Penetrasi (Lehman and Green, 1999)	22
Tabel 5 Spesifikasi Alat GPR Noggin 250 MHz	29
Tabel 6 Hasil Analisis Ragaram Lintasan Pengukuran Pada Bahan Uji	36



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Singkatan/Symbol	Arti dan Keterangan
ϵ	Permitivitas Dielektrik (F/m)
σ	Konduktivitas Elektrik (ms/s)
μ	Permeabilitas Magnetik (H/m)
ϵ_r	Permitivitas Dielektrik Relatif (F/m)
ϵ_0	Permitivitas Dielektrik Ruang Hampa (F/m)
μ_0	Permeabilitas Magnetik Ruang Hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ (H/m))
V	Kecepatan Gelombang Elektro Magnetik (m/ns)
R	Koefisien Refleksi
c	Kecepatan Cahaya (3×10^8 m/s)
f	Frekuensi (Hz)
α	Atenuasi (dB/m)
ns	<i>Nanosecond</i>



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya pertumbuhan penduduk menjadi salah satu alasan meningkatnya pembangunan infrastruktur sebagai upaya dalam meningkatkan pula pertumbuhan ekonomi. Pemasangan jaringan utilitas dibawah tanah seperti pipa air, pipa gas, kabel listrik dan kabel telekomunikasi tersebut terkadang belum terpetakan secara baik, sehingga posisinya sering tidak diketahui secara pasti oleh masyarakat dan pemerintah setempat sehingga menjadi salah satu faktor penghambat dalam pembangunan infrastruktur. Salah satu tindakan dalam upaya mengetahui posisi keberadaan jaringan utilitas adalah dengan mendeteksi posisi dan memetakan jaringan agar tidak menyebabkan masalah dikemudian hari. Tentunya informasi mengenai utilitas bawah tanah menjadi salah satu informasi penting dalam menunjang proses pembangunan dan peningkatan infrastruktur.

Kemungkinan mendeteksi objek yang terpendam telah menarik perhatian manusia sejalan dengan perkembangan teknologi. Teknik tunggal dimana mampu membuat tanah dan kandungannya bisa dilihat secara jelas sangat menarik dan potensial sehingga banyak penelitian yang berusaha untuk mendapatkan metode eksplorasi yang tepat. Dengan berkembangnya teknologi telah ditemukan sebuah pilihan yang sangat baik untuk pendeteksian bawah tanah karena memiliki cakupan spesialisasi dan pengaplikasian yang sangat luas yaitu *ground penetrating radar* (GPR). GPR merupakan salah satu metode aktif geofisika, yaitu metode yang menggunakan sumber buatan untuk mengobservasi respon anomali benda bawah permukaan dengan hasil yang secara langsung dapat diamati. Akurasi metode GPR pada pemetaan bawah tanah yang mencapai hingga 0,10 m akan berdampak signifikan dalam meminimalkan risiko gagal penggalian.

Penelitian ini menggunakan metode GPR dengan hasil pengukuran berupa radargram yang berisikan data kedalaman, waktu, kecepatan rambat gelombang, bagai macam refleksi gelombang salah satunya kurva hiperbola, pola *scattering* dan lain-lain yang kemudian di analisa untuk dapat preptasi kondisi bawah permukaan. Penelitian ini diharapkan dapat



memberikan informasi tentang gambaran kondisi bawah tanah serta keberadaan utilitas bawah tanah dalam upaya efisiensi kegiatan penggalian maupun perbaikan dan sebagai referensi tambahan bagi penelitian sejenis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui kondisi bawah permukaan berdasarkan analisis radargram ?
2. Bagaimana menentukan keberadaan objek bawah permukaan berdasarkan analisis radargram ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, antara lain:

- 1 Mengetahui kondisi bawah permukaan berdasarkan analisis radargram
- 2 Mengetahui keberadaan utilitas bawah permukaan berdasarkan analisis radargram

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi bawah permukaan dan data mengenai objek (utilitas) bawah permukaan pada kawasan PT. KIMA yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk efisiensi kegiatan penggalian maupun perbaikan dan sebagai referensi tambahan bagi penelitian sejenis.

1.5 Ruang Lingkup



Penulis membatasi masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu masalah permasalahan pada analisis radargram untuk mengidentifikasi utilitas bawah permukaan, dan lokasi objek bawah permukaan dengan metode

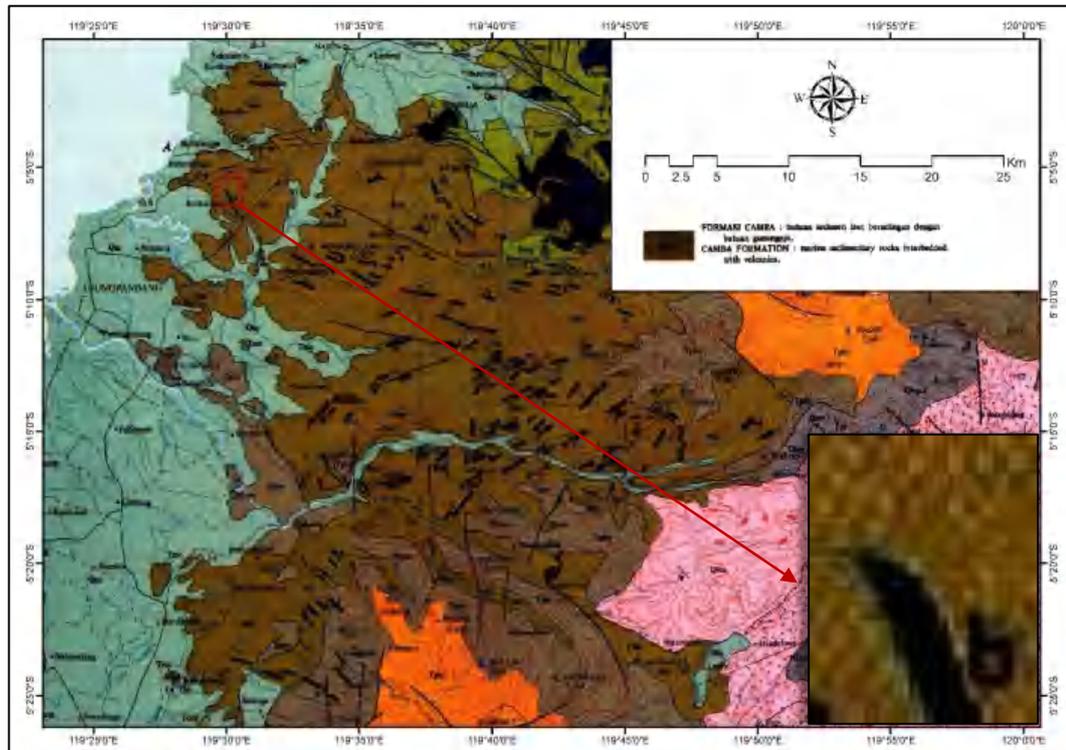
pengambilan data menggunakan metode *ground penetrating radar* pada kawasan PT. KIMA, Kelurahan Daya, Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Daerah penyelidikan termasuk dalam peta geologi lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai, Sulawesi. Skala 1: 250.000.



Gambar 1 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Rab Sukamto dan S. Supriatna, 1982)

2.1.1 Geomorfologi Regional

Pemaparan tinjauan geomorfologi regional daerah penelitian dan sekitarnya didasarkan pada laporan hasil pemetaan Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai yang disusun oleh Rab Sukamto dan S. Supriatna (1982).

Bentuk morfologi yang menonjol di daerah ini adalah kerucut gunungapi Lompobattang yang menjulang mencapai ketinggian 2876 meter di atas permukaan laut. Kerucut gunung Lompobattang ini dari kejauhan masih memperlihatkan



linya dan tersusun oleh batuan gunungapi berumur Pliosen.

ua bentuk kerucut tererosi lebih sempit dan meluas di sebelah Barat dan 1 Utara gunung Lompobattang. Di sebelah Barat terdapat gunung Baturape

mencapai ketinggian 1124 meter dan di sebelah Utara terdapat gunung Cindako, mencapai ketinggian 1500 meter. Kedua bentuk kerucut tererosi ini disusun oleh batuan gunungapi berumur Pliosen.

Di bagian Utara terdapat dua daerah yang di&irikan oleh topografi karst yang dibentuk oleh batugamping dengan Formasi Tonasa. Kedua daerah yang bertopografi karst ini dipisahkan oleh pegunungan yang tersusun oleh batuan gunungapi yang berumur Miosen Bawah sampai Pliosen.

Di sebelah Barat gunung Cindako dan sebelah Utara gunung Baturape merupakan daerah berbukit halus di bagian barat. Bagian Barat mencapai ketinggian kira-kira 500 meter di atas permukaan laut. Bentuk morfologi ini tersusun oleh batuan klastik gunungapi berumur Miosen. Bukit-bukit yang memanjang yang tersebar di daerah ini mengarah ke gunung Cindako dan gunung Baturape berupa retas-retas Basal.

Pesisir Barat merupakan dataran rendah yang sebagian besar terdiri dari daerah rata dan daerah pasang surut, beberapa sungai besar membentuk daerah banjir didataran ini. Dibagian timurnya terdapat bukit-bukit terisolir yang tersusun oleh batuan klasik gunungapi Miosen Pliosen.

Pesisir Barat ditempati oleh morfologi berbukit memanjang rendah dengan arah umum barat laut ke tenggara. Pantainya berliku-liku membentuk beberapa teluk. Daerah ini tersusun oleh batuan karbonat dari Formasi Tonasa.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Lembar Ujung pandang Benteng dan Sinjai yang dipetakan oleh Rab Sukamto dan Supriatna. S (1982). Berdasarkan informasi dari peta geologi, batuan penyusun Daerah Penelitian terdiri dari 1 (satu) satuan batuan, yakni Formasi Camba.

Tmc FORMASI CAMBA : batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi, batupasir tufaan berselingan dengan tufa batupasir dan batulempung ; bersisipan napal, batugamping , konglomerat dan breksi gunungapi. dan batubara.



Warna beraneka dari putih, coklat, merah, kelabu muda sampai kehitaman dan mengeras kuat; berlapis-lapis dengan tebal antara 4 cm dan 100 cm. Tufa halus hingga lapili; tufa lempungan berwarna merah mengandung banyak

mineral biotit; konglomerat dan breksinya terutama berkomponen andesit dan basal dengan ukuran antara 2 cm dan 30 cm; batugamping pasiran mengandung koral dan moluska; batulempung kelabu tua dan napal mengandung fosil foram kecil; sisipan batubara setebal 40 cm ditemukan di S. Maros.

Fosil dari Formasi Camba yang dikenal oleh D. Kadar (hubungan tertulis 1974, 1975) dan Purnamaningsih (hubungan tertulis, 1975). pada contoh batuan La.3. L.a.24, La.125, dan La.448/4, terdiri dari: *Globorotalia mayeri* CUSHMAN & ELLISOR., *Gl. praefoksi* BLOW & MANNER, *Gl. siakensis* (LEROY), *Flosculinella bontangensis* (RUTTEN). *Globigerina venezuelana* HEDBERG., *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN & JARWS). *Orbulina universa* D'ORBIGNY, *O. suturalis* BROWNIMANN *Cellantbus cratuculatus* FICHTEL & MOLL, dan *Elphidium advenum* (CUSHMAN) Gabungan fosil tersebut menunjukkan umur Miosen Tengah (Tf). Lagi pula ditemukan fosil foraminifera jenis yang lain, ostrakoda dan moluska dalam Formasi ini. Kemungkinan Formasi Camba di daerah ini berumur sama dengan yang di Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat, yaitu Miosen Tengah sampai Miosen Akhir.

Formasi ini adalah lanjutan dari Formasi Camba yang terletak di Lembar Pangkajene dan Bagian Barat Watampone sebelah utaranya kira-kira 4.250 m tebalnya, diterobos oleh retas basal piroksen setebal antara ½ - 30 m, dan membentuk bukit-bukit memanjang Lapisan batupasir kompak (10 - 75 cm) dengan sisipan batupasir tufa (1 - 2 cm) dan konglomerat berkomponen basal dan andesit, yang tersingkap di P. Salayar diperkirakan termasuk satuan Tmc.

2.1.3 Struktur Regional

Menurut Rab Sukanto dan Supriatna. S (1982), Batuan tertua yang tersingkap di daerah ini adalah sedimen flysch Formasi Marada, berumur Kapur Atas. Asosiasi batumannya memberikan petunjuk suatu endapan lereng bawah laut, ketika Kegiatan magma berkembang menjadi suatu gunungapi pada waktu kira-kira 63 juta tahun, dan menghasilkan Batuan Gunungapi Terpropilitkan.



Lembah Walanae di lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat utaranya menerus ke Lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai, melalui pesisir timur Lembah ini memisahkan batuan berumur Eosen. yaitu

sedimen klastika Formasi Salo Kalupang di sebelah timur dan sedimen karbonat Formasi Tonasa di sebelah baratnya.

Rupanya pada Kala Eosen daerah sebelah barat Lembah Walanae menapakakan suatu paparan laut dangkal, dan daerah sebelah timurnya merupakan suatu cekungan sedimentasi dekat daratan. Paparan laut dangkal Eosen meluas hampir ke seluruh daerah lembar peta, yang buktinya ditunjukkan oleh sebaran Formasi Tonasa di sebelah barat Birru, sebelah timur Maros dan di sekitar Takalar. Endapan paparan berkembang selama Eosen sampai Miosen Tengah. Sedimentasi klastika di sebelah timur Lembah Walanae rupanya berhenti pada Akhir Oligosen, dan diikuti oleh kegiatan gunungapi yang menghasilkan Formasi Kalamiseng.

Akhir dari pada kegiatan gunungapi Eosen Awal diikuti oleh tektonik yang menyebabkan terjadinya pemulaan terban Walanae. yang kemudian menjadi cekungan di mana Formasi Walanae terbentuk. Peristiwa ini kemungkinan besar berlangsung sejak awal Miosen Tengah dan menurun perlahan selama sedimentasi sampai kala Pliosen.

Menurunnya cekungan Walanae dibarengi oleh kegiatan gunungapi yang terjadi secara luas di sebelah baratnya dan mungkin secara lokal di sebelah timurnya. Peristiwa ini terjadi selama Miosen Tengah sampai Pliosen. Semula gunungapinya terjadi di bawah muka laut, dan kemungkinan sebagian muncul di permukaan pada kala Pliosen. Kegiatan gunungapi selama Miosen menghasilkan Formasi Camba, dan selama Pliosen menghasilkan Batuan Gunungapi Baturape-Cindako.

Kelompok retas basal berbentuk radier memusat ke G. Cindako dan G. Baturape, terjadinya mungkin berhubungan dengan gerakan mengkubah pada kala Pliosen. Kegiatan gunungapi di daerah ini masih berlangsung sampai dengan kala Plistosen, menghasilkan Batuan Gunungapi Lompobatang. Berhentinya kegiatan magma pada akhir Plistosen, diikuti oleh suatu tektonik yang menghasilkan sesar-sesar en echelon (merencong) yang melalui G. Lompobatang berarah utara-selatan. Sesar-sesar en echelon mungkin sebagai akibat dari suatu gerakan mendatar



dari pada batuan alas di bawah Lembah Walanae. Sejak kala Pliosen barat ujung lengan Sulawesi Selatan ini merupakan dataran stabil, yang . Holosen hanya terjadi endapan aluvium dari rawa-rawa.

2.2 Geofisika

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari kondisi bawah-permukaan bumi melalui pengamatan kuantitatif sifat-sifat fisika batuan dengan tujuan menghasilkan model kuantitatif bawah permukaan yang bersumber dari data sifat fisika bawah-permukaan. Metode-metode dalam ilmu Geofisika adalah pengamatan objek geologi tanpa menyentuhnya sehingga disebut sebagai metode bersifat tidak langsung. (Sumintadireja, 2023)

Metode-metode dalam ilmu geofisika mengukur berbagai gejala atau fenomena fisika yang terdapat pada batuan dan tubuh bumi seperti besarnya medan gravitasi, kuat medan magnet, kecepatan jalar gelombang akustik, besarnya nilai potensial listrik, dan intensitas elektromagnetik. Ukuran fenomena atau gejala fisika di alam merupakan data yang memperlihatkan nilai-nilai terkait respons sifat fisika dari berbagai macam objek geologi di bawah permukaan. (Sumintadireja, 2023)

Penelitian geofisika untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi melibatkan pengukuran di atas permukaan bumi dari parameter-parameter fisika yang dimiliki oleh batuan di dalam bumi. Dari pengukuran ini dapat ditafsirkan bagaimana sifat-sifat dan kondisi di bawah permukaan bumi baik itu secara vertikal maupun horisontal. (PUPR, 2019)

2.3 Ground Penetrating Radar (GPR)

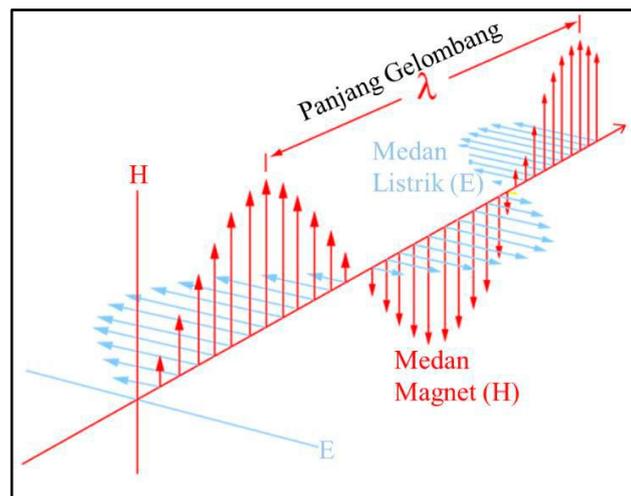
Ground Penetrating Radar umumnya disebut GPR adalah teknik elektromagnetik beresolusi tinggi yang dirancang terutama untuk menyelidiki permukaan bumi yang dangkal, bahan bangunan, serta jalan dan jembatan. GPR telah dikembangkan selama tiga puluh tahun terakhir untuk investigasi bawah permukaan yang dangkal dan beresolusi tinggi. GPR adalah teknik geofisika yang bergantung pada waktu yang dapat memberikan gambar semu 3-D dari bawah permukaan, termasuk dimensi warna keempat, dan juga dapat memberikan perkiraan kedalaman yang akurat untuk banyak objek bawah permukaan yang

dalam kondisi yang menguntungkan, GPR dapat memberikan informasi tentang mengenai sifat benda yang terkubur. Ini juga terbukti menjadi alat yang



dapat dioperasikan di dalam lubang bor untuk memperluas jangkauan investigasi dari batas lubang. (Daniels, 2000)

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan metode pendeteksian keberadaan suatu objek dan jaraknya menggunakan pancaran gelombang elektromagnetik (EM) yang akan menghasilkan pantulan jika mengenai suatu objek. Gelombang EM adalah gelombang yang terdiri dari dua komponen medan energi yaitu medan listrik (E) dan medan magnet (H) yang keduanya saling tegak lurus. (Sumintadireja, 2023)



Gambar 2 Gelombang EM

2.3.1 Prinsip Kerja *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Sifat fisik yang paling penting pada metode GPR adalah permitivitas dielektrik (ϵ), konduktivitas elektrik (σ), dan permeabilitas magnetik (μ) dari media penjalaran karena sangat memengaruhi kecepatan, atenuasi, refleksi, refraksi dan transmisi gelombang elektromagnetik (EM). (Sumintadireja, 2023)

Hasil dari radiasi gelombang elektromagnetik ke bawah permukaan untuk pengukuran GPR ditunjukkan oleh prinsip operasi dasar yang diilustrasikan pada Gambar 2. Gelombang elektromagnetik dipancarkan dari antenna pemancar, bergerak melalui material dengan kecepatan yang ditentukan terutama oleh permitivitas material. Gelombang menyebar dan bergerak ke bawah hingga i objek yang memiliki sifat kelistrikan berbeda dari medium sekitarnya, dari objek, dan terdeteksi oleh antenna penerima. Permukaan yang ngi gelombang maju disebut muka gelombang (*wave-front*). Garis lurus



yang ditarik dari pemancar ke tepi muka gelombang disebut sinar (*Ray*). Sinar digunakan untuk menunjukkan arah perjalanan muka gelombang ke segala arah yang jauh dari antena pemancar. Jika gelombang mengenai benda yang terkubur, maka sebagian energi gelombang “dipantulkan” kembali ke permukaan, sedangkan sebagian energinya terus bergerak ke bawah. Gelombang yang dipantulkan kembali ke permukaan ditangkap oleh antena penerima, dan direkam pada perangkat penyimpanan digital untuk interpretasi selanjutnya.

Antena dapat dianggap sebagai transduser yang mengubah arus listrik pada elemen logam antena untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik yang merambat ke suatu material. Antena memancarkan energi elektromagnetik ketika terjadi perubahan percepatan arus pada antena. Percepatan yang menyebabkan radiasi dapat berupa linier, (misalnya gelombang elektromagnetik yang berubah-ubah waktu yang merambat pada antena), atau percepatan sudut. Radiasi terjadi di sepanjang jalur melengkung, dan radiasi terjadi kapan saja saat arus berubah arah (misalnya di ujung elemen antena). Mengontrol dan mengarahkan radiasi dari antena adalah tujuan dari desain antena.

Antena juga mengubah gelombang elektromagnetik menjadi arus pada elemen antena, bertindak sebagai penerima radiasi elektromagnetik dengan menangkap sebagian gelombang elektromagnetik. *The principle of reciprocity* mengatakan bahwa antena pengirim dan penerima dapat dipertukarkan, dan teori ini berlaku untuk antena yang memancarkan dan menerima sinyal di udara, jauh di atas permukaan tanah. Dalam praktiknya, antena pengirim dan penerima tidak sepenuhnya dapat dipertukarkan saat ditempatkan di tanah, atau permukaan material yang tidak rata, karena efek atenuasi tanah di sekitar antena pemancar.

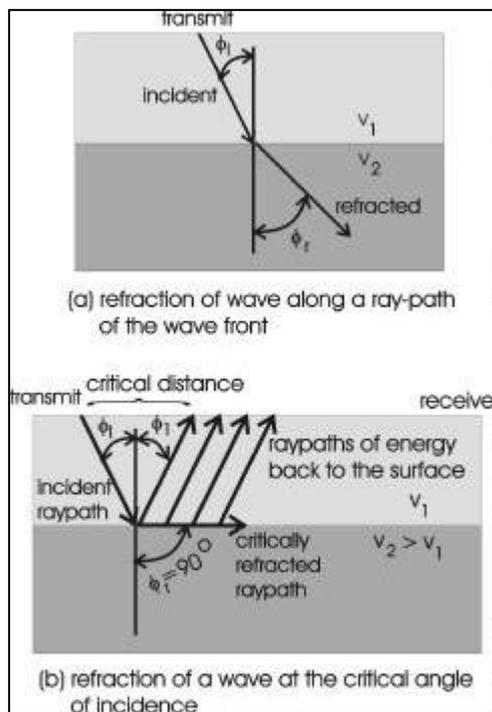
Gelombang elektromagnetik bergerak dengan kecepatan tertentu yang ditentukan terutama oleh permitivitas material. Hubungan antara kecepatan gelombang dan sifat material merupakan dasar fundamental untuk menggunakan GPR untuk menyelidiki bawah permukaan. Untuk menyatakan prinsip fisik dasar ini dengan cara yang berbeda: kecepatan berbeda antara bahan dengan sifat listrik

berbeda, dan sinyal yang melewati dua bahan dengan sifat listrik berbeda pada waktu yang sama akan tiba pada waktu yang berbeda. Interval waktu yang



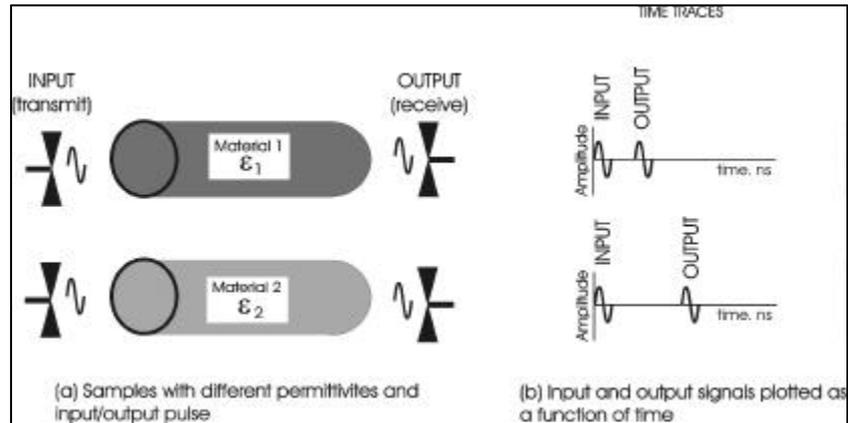
diperlukan gelombang untuk berjalan dari antenna pengirim ke antenna penerima disebut waktu tempuh.

Satuan dasar gelombang elektromagnetik waktu tempuh adalah nanodetik (ns), di mana $1 \text{ ns} = 10^{-9}$ detik. Karena kecepatan gelombang elektromagnetik di udara adalah $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ($0,3 \text{ m/ns}$), maka waktu tempuh gelombang elektromagnetik di udara adalah sekitar $3,3333 \text{ ns per m}$ yang ditempuh. Kecepatan berbanding terbalik dengan akar kuadrat dari permitivitas material, dan karena permitivitas material tanah selalu lebih besar daripada permitivitas udara, waktu tempuh gelombang dalam material selain udara selalu lebih besar dari $3,3333 \text{ ns/m}$. Waktu tempuh gelombang elektromagnetik melalui dua bahan berbeda ditunjukkan pada gambar 3. (Daniels, 2000)



Gambar 3 Muka gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan tersebar dari objek yang terkubur dengan permitivitas yang kontras.



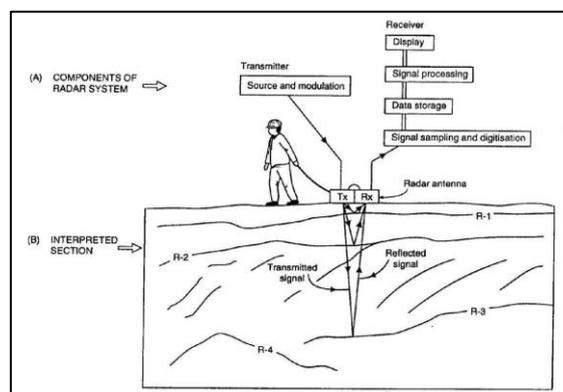


Gambar 4 Hubungan antara permitivitas objek terhadap waktu tempuh melalui suatu sampel

2.3.2 Komponen Ground Penetrating Radar (GPR)

Sistem radar memiliki dua komponen utama yaitu *transmitter* (Tx) sebagai pemancar gelombang EM dan *receiver* (Rx) sebagai penerima pantulan gelombang EM. Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) adalah pemanfaatan sistem radar dalam mendeteksi dan menggambarkan kondisi bawah permukaan. Sistem GPR mengirimkan pulsa (bukan sinyal kontinu) berupa gelombang EM frekuensi tinggi

Penjalaran pulsa gelombang EM di dalam bumi yang mengenai suatu objek, menyentuh bidang batas yang ditentukan oleh perubahan pada sifat elektromagnetik bumi. Sebagian dari gelombang yang menjalar akan dipantulkan/direfleksikan, sebagian lainnya diteruskan/ditransmisikan dan/ atau dibiaskan/refraksi. (Sumintadireja, 2023)



Gambar 5 Sistem radar metode GPR dalam mendeteksi dan menggambar citra bawah permukaan.



2.3.3 Aplikasi GPR

Aplikasi GPR dapat digunakan untuk survey benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton. Survey GPR untuk benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal dapat dilakukan oleh satu orang dan antenna GPR dapat ditarik dengan menggunakan tangan atau ATV. GPR ini dapat digunakan untuk mencari lokasi pipa, tank, drum, pencitraan beton, studi arkeologi. Gambar 5 menunjukkan salah satu aplikasi GPR untuk mendeteksi keberadaan pipa.



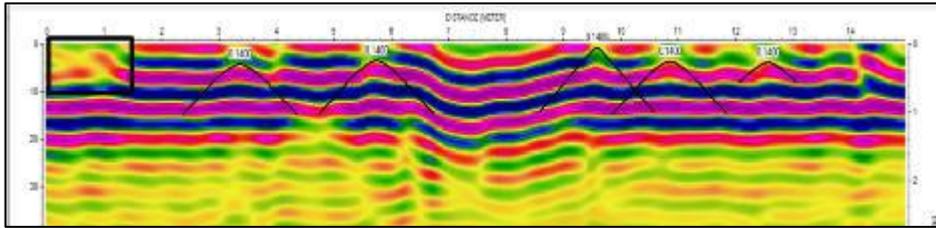
Gambar 6 Aplikasi GPR di lapangan dan Citra Pipa di Bawah Permukaan.

Untuk survey GPR pada kedalaman yang jauh menggunakan antenna GPR dengan frekuensi rendah. Survey GPR ini dapat digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya sumber air dibawah tanah, mempelajari lapisan tanah, kedalaman batuan dasar dan melaksanakan penelitian arkeologis. GPR juga dapat digunakan untuk menentukan keberadaan pipa, kabel listrik, struktur beton pada dinding, lantai, terowongan, bendungan, jalan aspal dan permukaannya. (Oktafian, dkk. 2010)

Metode Ground Penetrating Radar (GPR) banyak dimanfaatkan dalam pembangunan infrastruktur, seperti yang dilakukan oleh Widayanti (2020) yang menyelidiki keberadaan utilitas di bawah permukaan tanah sebelum dilakukan pembangunan pondasi jalan tol. Dengan melakukan 32 lintasan GPR mendeteksi sebanyak 115 utilitas yang ditunjukkan dengan adanya anomali di radargram

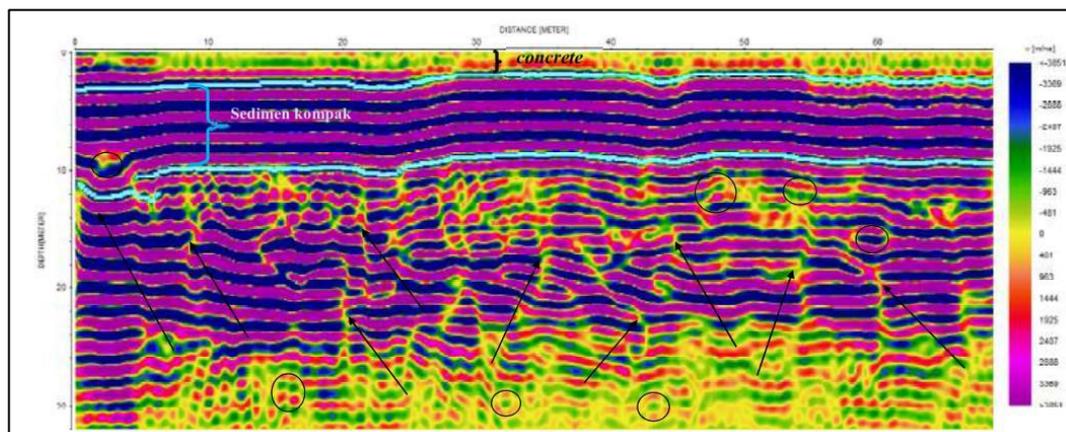
ibarkan lempengan berbentuk kotak dan hiperbola seperti yang an pada Gambar 7.





Gambar 7 Pemanfaatan GPR pada penentuan keberadaan utilitas (Widayanti, 2020).

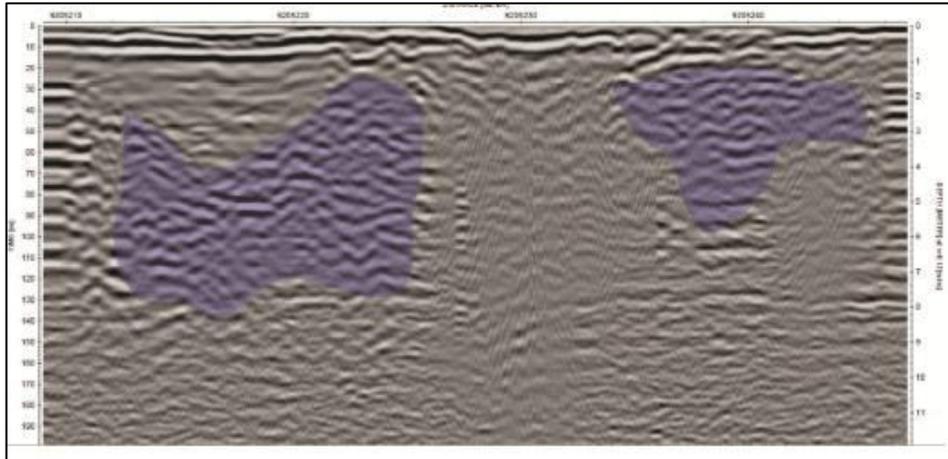
Kemudian penelitian lain yang dilakukan oleh Widayu (2021) yang melakukan penelitian mengenai analisis awal kemampuan bangunan gedung RSP Unila untuk mendukung beban muatan. Metode GPR dipakai untuk menentukan dan menganalisis ketebalan concrete lantai basement dan lapisan batuan di bawah permukaannya. Dari hasil analisis yang dilakukan pada penampang 2D yang dapat dilihat pada Gambar 8, menunjukkan rata-rata tebal lapisan concrete lantai basement yaitu kurang lebih 2 meter dan di bawah lapisan tersebut terdapat lapisan kompak setebal kurang lebih 8 meter dan lapisan kompleks setebal kurang lebih 22 meter. Dengan litologi batuan didominasi oleh *clay*, *clay-sand*, *boulder-boulder* batuan dan rekahan air.



Gambar 8 Pemanfaatan GPR pada penentuan ketebalan *concrete* lantai *basement* dan lapisan batuan (Widayu, 2021).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Taufik (2021) GPR dimanfaatkan untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan guna merancang lokasi tiang pancang sebagai pondasi dari salah satu gedung PLTP Patuha unit 2. Dari hasil penyelidikan didapatkan berupa sebaran bongkah pada lokasi yang akan dilakukan unan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9.





Gambar 9 Pemanfaatan GPR untuk penentuan kondisi bawah permukaan guna merancang lokasi tiang pancang (Taufik, 2021).

2.3.4 Kelebihan *Ground Penetrating Radar (GPR)*

Salah satu keuntungan dari metode *Ground Penetrating Radar* adalah mudah untuk digunakan dan bersifat *non destructive*. Data GPR acapkali dapat ditafsirkan dengan benar pada tanah tanpa pemrosesan data. Display grafik data GPR acapkali menyerupai potongan melintang lapisan tanah. Ketika data GPR dikumpulkan pada jarak yang dekat (kurang dari 1 meter), data tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan pandangan dimensional yang dapat meningkatkan kemampuan untuk menafsirkan kondisi-kondisi di bawah permukaan tanah.

Disisi lain keuntungan utama dari Teknik GPR adalah bahwa antenna tidak harus bersentuhan secara langsung dengan permukaan tanah, dengan cara demikian dapat mempermudah dan mempercepat pengukuran. Performa yang optimum, terlebih dengan jarak yang kecil dari antenna ke permukaan tanah, biasanya akan dapat diamati hanya dengan menggunakan detail nilai dari geometri dan sifat alami tanah.

Keuntungan lain dari sistem radar adalah kemampuannya dalam mendeteksi tipe sasaran tertentu yang diberikan dan menghasilkan gambar sasaran dalam 3 dimensi. Dalam material yang memiliki konduktivitas frekuensi rendah yang tinggi seperti air garam, tanah liat dan bijih yang konduktif atau mineral, akan terjadi umpan balik yang besar. Hal tersebut dapat saja dikurangi dengan menurunkan daya yang dipancarkan, tetapi hal ini juga dapat mengurangi resolusi antara sasaran (Taufik, dkk. 2010)



2.3.5 Kekurangan *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Keterbatasan utama GPR adalah lokasi capaiannya yang spesifik. Seringkali, kedalaman penetrasi dibatasi oleh adanya mineralogi tanah liat atau pori-pori cairan dengan konduktivitas tinggi yang dapat menghambat pencapaian resolusi dan kedalaman penetrasi yang tinggi. Selain itu kondisi material tanah yang berbeda-beda pada tiap lokasi menyebabkan resolusi dan kedalaman penetrasi menjadi berubah-ubah pula sehingga untuk mendapatkan resolusi dan kedalaman penetrasi yang konstan mau tidak mau harus mengubah frekuensi serta durasi pulsa. Oleh karena itu beberapa sistem GPR dilengkapi dengan pembangkit pulsa untuk transmisi impuls dengan berbagai durasi yang berbeda untuk kedalaman penetrasi yang berbeda. Antena GPR bagaimanapun secara umum dioptimasi hanya untuk durasi pulsa tertentu. Jadi apabila GPR bekerja dengan impuls yang berbeda memerlukan antena yang berbeda. Penggantian antena berulang-ulang adalah tidak efisien, proses yang merepotkan dan bahkan menjadi aktifitas yang mengganggu bagi pengguna khususnya bagi survey yang sering. (Oktafian, dkk. 2010)

2.4 Koefisien Dielektrik Material

Medium memiliki sifat dielektrik yang ditentukan oleh harga konstanta dielektrik, atau permitivitas dielektrik dari suatu medium tersebut. Permitivitas dielektrik suatu medium dalam sistem satuan Standard Internasional (S.I) skala besar mempergunakan satuan farad per meter (F/m). Pengertian fisis permitivitas dielektrik suatu medium menunjukkan ukuran kemampuan suatu medium atau suatu bahan untuk meredam intensitas medan listrik yang melalui medium itu. Permitivitas dielektrik relatif dinyatakan dalam simbol ϵ_r yang menyatakan kemampuan medium untuk meredam intensitas medan listrik relatif terhadap ruang vakum, sehingga didefinisikan:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$



ada persamaan tersebut yaitu ϵ_0 adalah permitivitas dielektrik ruang vakum a bebas, ϵ_r adalah permitivitas relatif suatu medium tersebut. Suatu bahan k isotrop yaitu bahan yang memiliki sifat dielektrik yang berbeda untuk

arah yang berbeda, misalnya memiliki koefisien-koefisien dielektrik relatif ϵ_1 yaitu permitivitas relatif medium pertama, ϵ_2 yaitu permitivitas medium kedua dan ϵ_3 yaitu permitivitas medium ketiga. Dua medium dielektrik dengan permitivitas relatif yang berbeda ϵ_1 dan ϵ_2 mempunyai hubungan lapis batas komponen-komponen normal dan tangensial dari vector intensitas medan listrik dan vektor rapat fluksnya. Sebagai contoh untuk vektor rapat fluks listrik D_1 datang dari medium 1 dengan permitivitas dielektrik ϵ_1 menuju ke medium 2 dengan permitivitas dielektrik relatif ϵ_2 dengan sudut datang θ_1 dan sudut bias θ_2 seperti pada gambar yang menjelaskan bahwa komponen normal vektor rapat fluks listrik dari medium 1 ke medium 2 tidak berubah oleh perubahan medium. (Rustam,dkk. 2007)

Tabel 1 Konstanta Dielektrik dan Kecepatan Gelombang Material (Reynolds,1985)

Material	ϵ_r	V(mm/ns)
Udara	1	300
Air	81	33
Pasir (kering)	3-6	122-173
Pasir (basah)	10-32	53-90
Lanau (kering)	7-21	51-61
Lanau (basah)	24-34	95
Lempung (kering)	2-5	134-212
Lempung (basah)	8-40	47-106
Gambut	57-80	33-40
Tanah (rata - rata)	16	75
Tanah (berbutir baik)	41-49	43-47
Serpih (basah)	6-9	100-122
Batubara	4-5	134-150



Tabel 2 Nilai Parameter Fisis Material (Annan, 2003)

Material	ϵ_0	σ (ms/s)	v (m/s)	α (dB/m)
Udara	1	0	0.3	0
Air Distilasi	80	0.01	0.033	2×10^{-2}
Air Murni	80	0.5	0.033	0.1
Air Laut	80	3×10^3	0.01	10^3
Pasir Kering	3-5	0.01	0.15	0.01
Pasir Basah	20-30	0.1-1	0.06	0.03-0.3
Limestone	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Shale	5-15	1-100	0.09	1-100
Silt	5-30	1-100	0.07	1-100
Clays	5-40	2-1000	0.06	1-300
Granite	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Garam Kering	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Es	3-4	0.01	0.16	0.01

Tabel 3 Parameter Dielektrik Material (Ahmad, 2012)

Material	Dielectric constant (ϵ')	Loss tangent ($\tan \delta$)	Frequency (Hz)
ABS (plastic)	2.0 – 3.5	0.005 – 0.0190	
Butyl rubber	2.35	0.001	1 MHz
	2.35	0.0009	3 GHz
Gutta percha	2.6		
HDPE	1.0 – 5.0	0.00004 – 0.001	
Kapton (Type 100) (Type 200)	3.9		
	2.9		
Neoprene rubber	6.26	0.038	1 MHz
	4.0	0.34	3 GHz
Nylon	3.2 - 5		
Polyamide	2.5 – 2.6		
Polycarbonate	2.8 – 3.4	0.00066 – 0.01	
Polypropylene	2.2		
Polystyrene	2.5 – 2.6	0.0001	100 MHz
		0.00033	3 GHz
PVC	3		
Silicone (RTV)	3.6		
Teflon (PTFE)	2.0 – 2.1	0.0005	100 Hz
		0.00028	3 GHz



Koefisien refleksi R pada antarmuka udara/darat adalah ditentukan oleh kontras dalam permitivitas dielektrik relative antara udara, dengan permitivitas 1, dan tanah, dengan permitivitas ϵ , menurut:

$$R = \frac{1-\sqrt{\epsilon}}{1+\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

Dalam persamaan diatas diasumsikan bahwa konduktivitasnya cukup kecil untuk diabaikan. Persamaan ini tidak akan sepenuhnya valid jika permukaan bersifat gradasi, jika permitivitas tidak seragam pada kedalaman yang cukup atau jika permukaan tidak rata dan cukup halus (Davis dkk, 1994).

Besarnya koefisien refleksi pada suatu lokasi adalah perbandingan amplitudo A_r yang merupakan gelombang pantulan di lokasi tersebut dengan amplitudo A_m yang merupakan sebuah gelombang pantulan yang didapat pada ketinggian yang sama di atas target pelat logam dengan koefisien refleksi -1. Menggunakan persamaan (1) nilai permitivitas bawah permukaan ϵr dapat ditentukan sebagai:

$$\epsilon r = \left(\frac{1 + \frac{A_r}{A_m}}{1 - \frac{A_r}{A_m}} \right)^2 \quad (2)$$

(Redman dkk, 2002)

2.5 Kecepatan Rambat Gelombang Elektromagnetik

Jika di ruang hampa kecepatan gelombang EM memiliki nilai sebesar C yaitu 3×10^8 m/s, dengan nilai konduktivitas elektrik σ adalah nol, nilai permitivitas dielektriknya adalah ϵ_0 , dan permeabilitas magnetiknya adalah μ_0 maka kecepatan gelombang EM diruang hampa menjadi

$$V = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = c \quad (3)$$

Jika perbandingan permeabilitas magnetik benda (μ) terhadap permeabilitas ruang hampa (μ_0) adalah nilai permeabilitas magnetik relatif suatu benda



(μ_r). Maka, kecepatan jalar gelombang EM di medium permukaan bumi yang memiliki nilai konduktivitas sangat kecil menjadi

$$V = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \mu_r \epsilon_r}} = c \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (4)$$

dan ketika medium permukaan bumi bersifat non magnetik ($\mu_r = 1$), maka kecepatan jalar gelombang EM di permukaan bumi menjadi

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

Melalui v sebagai kecepatan gelombang radio merambat dalam tanah (m/s) sama dengan c yaitu kecepatan cahaya (m/s) yang dihitung dalam satuan akar ϵ_r (konstanta dielektrik relatif) dapat diketahui konstanta dielektrik suatu lapisan. Konstanta dielektrik merupakan satuan konstan yang dimiliki oleh medium untuk menunjukkan parameter kecepatan gelombang elektromagnetik yang melewatinya. Gelombang elektromagnetik seperti cahaya mampu melewati ruang angkasa dengan kecepatannya yaitu c . Kecepatan ini kemudian dapat berubah ketika memasuki medan seperti air misalnya. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kecepatan antara di ruang hampa dan di medium air. Maka dari itu terciptalah hubungan antara *velocity* pada medium dengan kecepatan c yang berdasarkan akar dari konstanta dielektrik medium tersebut.

Persamaan di atas mendefinisikan bahwa ketika gelombang radar melalui material atau benda di bawah permukaan yang memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, maka gelombang tersebut akan merambat dengan kecepatan yang lebih rendah dan sebaliknya. Sebagai contoh udara yang memiliki konstanta dielektrik 1 dan air yang memiliki konstanta dielektrik 80 memiliki kontras kecepatan yang sangat tinggi, dimana gelombang radar akan memiliki kecepatan yang lebih tinggi pada udara dibandingkan pada air. Adanya kontras konstanta dielektrik pada batas

ini menyebabkan gelombang radar akan terpantulkan (terrefleksikan) dengan efisiensi refleksi:



$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (6)$$

Dimana,

R = Koefisien Refleksi

ϵ_1 = Konstanta dielektrik lapisan pertama

ϵ_2 = Konstanta dielektrik lapisan kedua (Daniels, 1996)

Besarnya penetrasi atau kedalaman yang dapat dicapai oleh gelombang radar sangat bergantung pada besar kecilnya frekuensi yang digunakan. Semakin kecil frekuensi atau semakin besar panjang gelombang yang digunakan, maka akan semakin besar penetrasi yang dapat dicapai oleh gelombang dan sebaliknya. Besarnya penetrasi juga dipengaruhi oleh konduktivitas material, dimana konduktivitas yang tinggi akan menyebabkan penetrasi lebih dangkal karena terjadinya absorpsi oleh lapisan-lapisan yang konduktif (Connor, Sanford, & MacNeil, 2005).

Penentuan frekuensi gelombang radar yang digunakan juga akan berpengaruh pada resolusi hasil rekaman data. Ketika menggunakan frekuensi yang rendah akan diperoleh penetrasi yang dalam, akan tetapi resolusi yang dihasilkan akan semakin buruk. Maka, untuk menghasilkan resolusi yang baik digunakan frekuensi yang besar.

2.6 Kedalaman Penetrasi Gelombang GPR

Pada medium konduktor kedalaman penetrasi (*skin depth*) dalam metode GPR sangat dipengaruhi oleh frekuensi yang digunakan saat pengambilan data. Semakin tinggi frekuensi yang digunakan maka semakin dangkal kedalaman penetrasinya tetapi memiliki resolusi yang tinggi. Dan sebaliknya apabila frekuensi yang digunakan merupakan frekuensi rendah maka kedalaman penetrasinya akan semakin dalam tetapi memiliki resolusi yang rendah apabila dibanding saat kita menggunakan frekuensi tinggi. Untuk menentukan skin depth dapat menggunakan

bagai berikut (Kearey dkk., 2002).

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu_0}} \approx \frac{503,8}{\sqrt{\sigma \cdot f}}$$



Dimana,

$\delta = \text{Skin Depth}$

$\sigma = \text{Konduktivitas (S/m)}$

$f = \text{Frekuensi (Hz)}$

$\mu_0 = \text{Permeabilitas magnet di udara/ruang vakum} = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$

Penentuan frekuensi gelombang radar yang dipancarkan dapat diatur dengan mengganti antena. Pemilihan frekuensi yang digunakan bergantung pada ukuran target, aproksimasi range kedalaman dan aproksimasi maksimum kedalaman penetrasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Besaran Frekuensi dan Penetrasi (Lehman and Green, 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	2-15	15-25
200	0.05-0.50	1-10	5-15
400	≈ 0.05	1-5	3-10
1000	cm	0.05-2	0.5-4

Gelombang elektromagnetik yang menjalar ke bumi akan mengalami penghilangan energi, karena disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: diakibatkan terjadinya absorpsi, dan atenuasi gelombang dimana terjadi hilangnya energi gelombang elektromagnetik melewati sebuah batas atau objek yang memiliki dimensi yang sama dengan panjang gelombang elektromagnetik dan biasanya terjadi di batas lapisan (Syahril, 2007).

Absorpsi adalah energi gelombang elektromagnetik yang berubah menjadi energi panas, sedangkan atenuasi adalah pelemahan gelombang elektromagnetik. Fenomena tersebut menjadi faktor utama dari hilangnya energi yang mempunyai fungsi kompleks dari sifat listrik dan dielektrik medium. Faktor yang mempengaruhi terjadinya atenuasi (α) adalah konduktivitas listrik (σ), dan permitivitas dielektrik (ϵ) Besarnya harga atenuasi dapat dirumuskan sebagai

Davis dan Annan, 1989).

$$\alpha = \frac{1,6 \times 10^3 \sigma}{\sqrt{\epsilon}} \quad (8)$$



Dimana,

α = Atenuasi (dB/m)

σ = Konduktivitas (S/m)

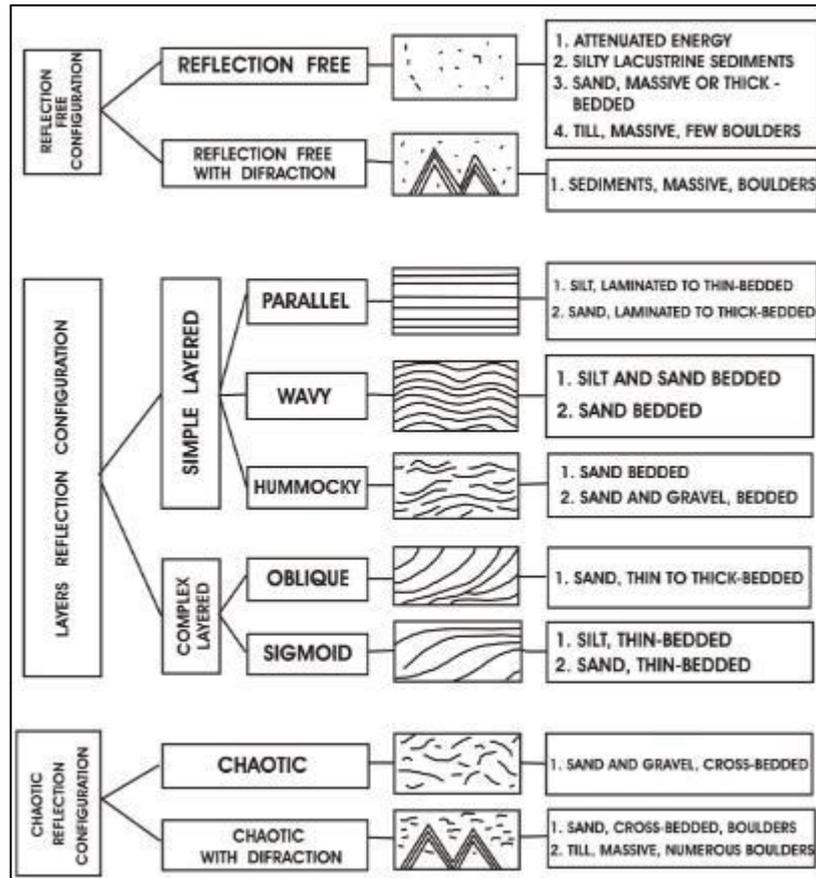
ε = Permittivitas listrik (F/m)

2.7 Interpretasi Data *Geo Penetrating Radar* (GPR)

Radargram dapat dianalisis dengan mengidentifikasi pantulan, difraksi, dan mengukur *two way travel time* hingga dapat diidentifikasi lapisan bawah permukaan. Dengan mengasumsikan, atau mengukur nilai konstanta dielektrik relatif yang sesuai, kemudian diperoleh kecepatan gelombang elektromagnetik dan *two way travel time* untuk menunjukkan kedalaman atau ketebalan lapisan tertentu. Radargram yang dihasilkan merupakan tampilan bentuk gelombang sebagai fungsi *two way travel time* dengan jarak sepanjang profil radargram. Oleh karena itu interpretasi dapat dilakukan berdasarkan radargram yang menampilkan berbagai tipe pantulan, difraksi, gangguan (noise), amplitudo, dan lain-lain.

Selain pemetaan fasies, interpretasi juga dapat menggunakan variasi amplitudo yang ditampilkan pada radargram dengan pola tertentu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai indikasi kondisi bawah permukaan yang berkaitan dengan atenuasi. Misalnya daerah dengan atenuasi tinggi dapat diindikasikan sebagai daerah dengan konduktivitas tinggi yang mungkin berkaitan dengan daerah berpolusi, atau daerah lempungan. Adanya rongga di bawah permukaan dapat ditunjukkan pada radargram sebagai serangkaian amplitudo besar. Zona berbatu atau sangat terdistorsi dapat ditunjukkan dengan refleksi yang tidak selaras, yang mungkin berkaitan dengan adanya difraksi (Reynold, 2011).





Gambar 10 Karakteristik refleksi data Ground Penetrating Radar untuk interpretasi litologi (Powers, 1999).

2.8 Metode Survei *Ground Penetrating Radar*

Tujuan dari survei GPR adalah untuk mendapatkan informasi tentang struktur bawah permukaan secara tidak langsung dengan menggunakan gelombang radio. Bidang EM sebagai fungsi dari ruang dan waktu harus diambil sampelnya dan direkam. Desain survei harus mematuhi prinsip-prinsip dasar pengambilan sampel. Maka metode survei GPR juga disesuaikan dengan kebutuhan-kebutuhan tertentu.

2.8.1 *Common Offset Reflection Survey*

Common Offset Reflection survey menggunakan pemancar dan penerima dengan offset tetap atau jarak antara unit di setiap lokasi pengukuran. Pemancar dan penerima memiliki karakter polarisasi khusus untuk medan listrik dan dideteksi. Antena dipasang dalam geometri yang tetap (yaitu,



pemisahan, s , dan orientasi) dan pengukuran dilakukan pada interval stasiun yang teratur (D_x) seperti yang digambarkan. Data dengan spasi yang seragam biasanya diinginkan jika pengolahan data tingkat lanjut dan pengolahan data dan teknik visualisasi yang lebih canggih akan diterapkan.

Tujuan dari metode ini adalah untuk memetakan reflektifitas bawah permukaan beserta posisi spasial nya. Variasi amplitudo pantulan dan waktu tunda menunjukkan variasi dalam v (*velocity*). Survei refleksi radar penembus tanah secara tradisional dilakukan pada jalur survei "lurus" dan sistem dirancang untuk beroperasi dengan cara ini. Area cakupan yang paling sering memerlukan akuisisi data pada kisi-kisi garis bujursangkar, yang yang mencakup area, seperti yang digambarkan dalam. Parameter yang mendefinisikan survei *common-offset* adalah frekuensi pusat GPR, jendela waktu perekaman, interval pengambilan sampel waktu, jarak stasiun, jarak antenna, jarak antenna, jarak pemisahan garis, dan orientasi antenna.

Pemilihan frekuensi GPR identik dengan penentuan pulsa GPR dan *bandwidth*. Kedalaman eksplorasi aplikasi dan persyaratan resolusi menentukan lebar pita dan juga menentukan interval pengambilan sampel temporal dan spasial. Kebanyakan sering kali, atenuasi menjadi masalah; jadi frekuensi dijaga serendah mungkin untuk memaksimalkan penetrasi bahkan jika resolusi dikompromikan.

2.8.2 *Multioffset (common midpoint)*

Common mid point (CMP) atau *wide-angle reflection and refraction* (WARR) Metode operasi EM yang setara dengan refraksi seismik dan sudut lebar refleksi. Metode ini secara umum terutama digunakan untuk mendapatkan perkiraan kecepatan sinyal radar dan kedalaman di dalam tanah dengan memvariasikan jarak antenna dan mengukur perubahan waktu tempuh dua arah.

Pengukuran multioffset dapat dilakukan di setiap stasiun yang menghasilkan survei pantulan berlipat ganda. Dua manfaatnya adalah CMP dapat meningkatkan rasio *signal-to-noise* dan penampang melintang dengan *velocity* pat diperoleh. Survei GPR multifold jarang dilakukan karena memakan bih kompleks untuk dianalisis, dan sebagian besar efektif dari segi biaya



manfaat yang paling efektif diperoleh dengan survei tunggal yang dirancang dengan baik.

Parameter survei metode ini adalah frekuensi GPR, interval stasiun, waktu, interval pengambilan sampel temporal, dan jarak lubang bor atau ketebalan dinding/pilar. Antena orientasi jarang menjadi masalah karena lubang bor biasanya ramping, dan tradisional sumbu dipol listrik sejajar dengan lubang bor. Beberapa sistem lubang bor khusus untuk lubang berdiameter lebih besar telah dirancang untuk memiliki arah sumber dan penerima. Untuk dinding dan pilar, memaksimalkan kopling vektor-medan perlu dipertimbangkan. (Jol, 2009)

