

SKRIPSI

PEMODELAN BONGKAH LAHAR ANDESIT BAWAH PERMUKAAN UNTUK MENGESTIMASI PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR MENGGUNAKAN METODE GPR DI DAERAH GUNUNG PATUHA KABUPATEN BANDUNG

SUBSURFACE MODELING OF BOULDER(LAVA ANDESITE) FOR ESTIMATE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING GROUND PENETRATING RADAR IN MOUNT PATUHA KABUPATEN BANDUNG

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memenuhi gelar Sarjana Strata Satu (S1)
Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta



Oleh:

ANDI TIAS TAUFIK

115 130 001

**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PEMODELAN BONGKAH LAHAR ANDESIT BAWAH
PERMUKAAN UNTUK MENGESTIMASI PEMBANGUNAN
INFRASTRUKTUR MENGGUNAKAN METODE GPR DI
DAERAH GUNUNG PATUHA KABUPATEN BANDUNG**

Telah dipersiapkan dan disusun oleh:

Andi Tias Taufik
115 130 001

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 13 Januari 2021

Susunan Tim Penguji

Pembimbing I

Penguji 1

Dr. Ir. H. Suharsono, MT
NIP. 19600205 198803 1 002

Firdaus Maskuri, Ir., MT
NIP. 19580822 199203 1 001

Pembimbing 2

Penguji II

Wrego Seno Giaboro ST., M.Sc
NIP. 19861213 201903 1 011

Ajimas PS, ST., M.Sc
NIK.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Yatini, M.Si.
NIP. 19630522 199003 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya menyatakan bahwa judul dan keseluruhan isi dari skripsi adalah asli karya ilmiah saya, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam rangka menyusun, berkonsultasi dengan dosen pembimbing hingga menyelesaikan skripsi ini, tidak melakukan penjiplakan (plagiasi) terhadap karya orang atau pihak lain baik karya lisan maupun tulisan, baik secara sengaja maupun tidak sengaja.

Saya menyatakan bahwa apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini mengandung unsur penjiplakan (plagiasi) dari karya orang atau pihak lain, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, diluar tanggung jawab Dosen Pembimbing. Oleh karenanya saya sanggup bertanggung jawab secara hukum dan bersedia dibatalkan/dicabut gelar kesarjanaan saya oleh Otoritas/Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dan diumumkan kepada khalayak ramai.

Yogyakarta, 13 Januari 2021

Yang menyatakan,

Andi Tias Taufik

Nomor Hp/ Telepon : 082217445991
Alamat e-mail : anditias25@gmail.com
Nama dan Alamat Orang tua : Amat, Kavling Sekepeer indah no 6 Rt 3
Rw5 Kecamatan Mandalajati Kota
Bandung , Jawa Barat

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum.Wr.Wb.

Maha Suci Allah atas segala limpahan karunia-Nya serta kemudahan yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik.

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua serta keluarga saya yang selalu mendoakan, mendukung dan memberi semangat untuk memberikan yang terbaik.
2. Kepada Bapak Ir. Dr. H. Suharsono, MT. selaku Pembimbing I, Bapak Wrego Seno Giamboro, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing II, Bapak Bambang Sugiarto S.T., dan Bapak G.M. Lucky Junursyah S.T. M.T. selaku pembimbing selama di Pusat Survei Geologi, serta pihak Pusat Survei Geologi yang telah bersedia memberikan datanya untuk keperluan penelitian.
3. Kepada semua pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Laporan Skripsi ini.

Penulis berharap Laporan Skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat bagi masyarakat serta dapat diaplikasikan sebagai tambahan ilmu pengetahuan untuk pembaca.

Saya menyadari bahwa Laporan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi bahasa maupun isi. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dalam penyempurnaan Laporan Skripsi ini.

Wassalamu'alaikum.Wr.Wb.

Yogyakarta, 13 Januari 2021

Penulis,

Andi Tias Taufik

INTISARI

PEMODELAN BONGKAH LAHAR ANDESIT BAWAH PERMUKAAN UNTUK MENGESTIMASI PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR MENGUNAKAN METODE GPR DI DAERAH GUNUNG PATUHA KABUPATEN BANDUNG

Andi Tias Taufik
115 130 001

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) di Desa Sugihmukti, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung merupakan salah satu potensi panas bumi terbesar di Jawa Barat dengan kapasitas mencapai 400 MW (megawatt). Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) di kawasan Gunung Patuha masih dalam pengembangan untuk mendapatkan pasokan energi dari panas bumi, maka dari itu dibutuhkan pembangunan infrastruktur dalam menunjang kebutuhan eksploitasi panas bumi.

Upaya dalam penelitian bawah permukaan di kawasan PLTP patuha *unit 2* dilakukan pada tanggal 28 juli 2012 oleh Pusat Survei Geologi menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* untuk melihat kondisi bawah permukaan dalam merancang lokasi tiang pancang sebagai pondasi gedung unit 2. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran yang terbagi menjadi 2 lintasan yaitu lintasan dengan orientasi arah barat-timur (LWE) dan lintasan dengan arah orientasi utara-selatan (LNS). Lintasan LWE mempunyai jumlah 13 lintasan pengukuran dengan panjang 14m – 17m dan lintasan LNS mempunyai 10 lintasan pengukuran dengan panjang 38m. Dari hasil penelitian tersebut di dapatkan anomali berupa sebaran bongkah pada lokasi yang akan dilakukan pembangunan. Alat yang digunakan pada penelitian ini GSSI SIR-20 dengan frekuensi 200 MHz.

Hasil dari interpretasi penampang radargram penelitian ini menurut analisa fasies dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu unit dengan amplitudo tinggi dengan bentuk reflektor parallel dan kuat, unit dengan amplitudo menengah hingga tinggi dengan bentuk reflektor subparallel dan bergelombang, dan unit tidak menerus amplitudo lemah dan semerawut. Anomali terdapat pada unit amplitudo menengah hingga tinggi dengan reflektor subparallel yang teridentifikasi sebagai bongkah (lahar andesit). Pemodelan 3D indikasi anomali bongkah mendominasi pada daerah yang akan dilakukan pembangunan infrastruktur.

Kata kunci : PLTP Patuha, *Ground Penetrating Radar*, Bongkah

ABSTRACT

SUBSURFACE MODELING OF BOULDER(LAVA ANDESITE) FOR ESTIMATE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING GROUND PENETRATING RADAR IN MOUNT PATUHA KABUPATEN BANDUNG

Andi Tias Taufik
115 130 001

The Geothermal power plant is located in Sugihmukti village, Pasir Jambu District, Bandung Regency is one of the largest geothermal potensial in west java with capacity to reach 400 MW (megawatt). The geothermal powerplant in the patuha mountain area is still developing for an energy supply from the geothermal. Therefore, It is necessary development of infrastructure in supporting the need geothermal exploitation.

The research effort in area patuha geothermal power plant unit 2 was carried out in july 2012 by the Geological Survey Center using Ground Penetrating Radar method to illustrate subsurface in designing the pile as a foundation building unit 2. This research had taken measurements that divided into 2 trajectory that is LWE west-east oriented lines with a length 14meters – 17meters and LNS north-south oriented line with a length 38 meters. The result of research was obtained an anomaly boulder scattering at a constructing site. GSSI SIR-20 with 200 MHz antenna frequency is used in this research

The results of the interpretation of the radargram section of this research based on the facies analisis differentiated into 3 part, a unit high amplitude with parallel reflector form, unit intermediate to high amplitude with a subparalel reflector form, and unit low amplitude with a irregular form. Anomalies exist in intermediate to high amplitude units with subpararel reflector identified as the boulder (lava andesite). 3D modeling boulder anomaly dominate in the area that will be infrastructure developed.

Keywords : *Geothermal power plant patuha, Ground Penetrating Radar, Boulder*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
INTISARI.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Geologi Regional.....	5
2.1.1. Fisiografi Regional	5
2.1.2. Statrigafi Regional.....	6
2.1.3. Struktur Regional.....	9
2.2. Geologi Lokal Sindangbarang.....	11
2.2.1. Litologi Lokal Sindangbarang.....	11
2.2.2. Litologi Daerah Penelitian	11
BAB III DASAR TEORI	13
3.1 Metode Ground Penetrating Radar (GPR).....	15
3.2 Perambatan Gelombang Radar.....	17
3.2.1. Skin Depth.....	19
3.2.2. Sifat Dielektrik Material Bumi	23
3.2.3. Teknik Akuisisi Data <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....	26
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	27

4.1. Desain Survei	29
4.2. Instrumentasi	30
4.3. Akuisisi GPR.....	31
4.4. Pengolahan Data.....	34
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	45
5.1 Radargram.....	45
5.1.1 Radargram Hitam dan Putih Frekuensi 200 MHz	45
5.1.2 Jenis Reflektor Bongkah dan Batupasir Radargram Frekuensi 200 MHz	48
5.1.3. Radargram Lintasan NS Frekuensi 200MHz	49
5.1.4. Radargram Lintasan WE Frekuensi 200MHz	53
5.2. Penyebaran Bongkah kawasan Gn Patuha.....	57
5.3. <i>3D Modelling</i> lapangan Patuha	60
BAB VI PENUTUP	65
6.1. Kesimpulan	65
6.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Peta Lokasi Penelitian (Google earth, diakses pada tanggal 25 september 2018)	4
Gambar 2. 1 Peta Fisiografi Jawa Barat (Bemmelen, 1949)	5
Gambar 2. 2 Stratigrafi lembar Sindangbarang dan Bandarwaru (Koesmono,1996)	6
Gambar 2. 3 Penampang stratigrafi ideal Jawa Barat (Martodjodjo, 1984).....	7
Gambar 2. 4 Peta pola struktur regional Jawa Barat berdasarkan data gravimetrik dan data seismik (Martodjodjo, 1984)	10
Gambar 2. 5 Peta geologi sindangbarang menurut Koesmono (1996); kotak Biru: lokasi penelitian.....	12
Gambar 3. 1 Penjalaran Gelombang Elektromagnetik (Giancoli, 2001)	14
Gambar 3. 2 Konsep Dasar Pengambilan Data Ground Penetrating Radar (Mala, 1997)	16
Gambar 3. 3 Chart hubungan konfigurasi refleksi pada rekaman radar terhadap litologi dan stratigrafi (Haeni, 1988)	25
Gambar 3. 4 Pengukuran <i>Radar Reflection Profiling</i> (Reynolds, 1997).....	26
Gambar 4. 1 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 4. 2 Desain survei daerah penelitian	29
Gambar 4. 3 Perlengkapan Akusisi	30
Gambar 4. 4 Diagram Alir Akusisi	31
Gambar 4. 5 Panel Konektor laptop	32
Gambar 4. 6 Panel Konektor <i>Main Unit</i>	32
Gambar 4. 7 Diagram Alir Sistematis Pengolahan Data	34
Gambar 4. 8 Menu utama <i>Software Reflexw</i>	35
Gambar 4. 9 Tampilan <i>2D-data-Analysis</i>	36
Gambar 4. 10 Tampilan Radargram dalam <i>Gray</i>	36
Gambar 4. 11 Tampilan menu <i>static correction</i>	37

Gambar 4. 12 Tampilan hasil <i>static Correction</i>	38
Gambar 4. 13 Tampilan jendela <i>Butterworth Bandpass</i>	39
Gambar 4. 14 Tampilan setelah proses <i>bandpasss butterworth</i>	39
Gambar 4. 15 Tampilan jendela kerja <i>Background removal</i>	40
Gambar 4. 16 Tampilan setelah proses <i>Background removal</i>	41
Gambar 4. 17 Tampilan jendela kerja <i>AGC-Gain</i>	41
Gambar 4. 18 Tampilan setelah proses <i>AGC-Gain</i>	42
Gambar 4. 19 jendela kerja <i>IDFilter-substract mean dewow</i>	42
Gambar 4. 20 Tampilan setelah proses <i>IDFilter-substract mean dewow</i>	43
Gambar 4. 21 Tampilan jendela kerja <i>running average</i>	44
Gambar 4. 22 Tampilan setelah proses <i>running average</i>	44
Gambar 5. 1 Radargram Hitam Putih Frekuensi 200 MHz	47
Gambar 5. 2 Radargram Hitam Putih Frekuensi 200 MHz	48
Gambar 5. 3 Radargram Hitam Putih Lintasan NS Frekuensi 200 MHz	51
Gambar 5. 4 <i>Stacking</i> Radargram Hitam Putih Lintasan NS Frekuensi 200 MHz.	52
Gambar 5. 5 Radargram Hitam Putih Lintasan WE Frekuensi 200 MHz	55
Gambar 5. 6 <i>Stacking</i> Radargram Hitam Putih Lintasan WE Frekuensi 200 MHz	56
Gambar 5. 7 Peta persebaran Bongkah kawasan Gn Patuh menggunakan <i>Software Arcgis</i>	58
Gambar 5. 8 <i>Solid Model 3D</i> lapangan Patuha	61
Gambar 5. 9 <i>3D Model</i> penyebaran bongkah rencana pemasangan tiang pancang	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel besaran frekuensi dan penetrasi (Lehmann, 1999)	21
Tabel 3. 2 Nilai Konstanta dielektrik, Konduktivitas elektrik, Cepat rambat gelombang,dan atenuasi (Davis, 1989).....	24
Tabel 5. 1 Tabel kedalaman lintasan NS	50
Tabel 5. 2 Tabel kedalaman lintasan WE.....	54
Tabel 5. 3 Tabel kedalaman anomali bongkah pada rencana pemasangan tiang pancang	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Bandung khususnya di lapangan panas bumi Gunung Patuha merupakan salah satu potensi panas bumi terbesar di Jawa Barat dengan kapasitas mencapai 400 MW (megawatt). Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) di kawasan Gunung Patuha masih dalam pengembangan untuk mendapatkan pasokan energi dari panas bumi, maka dari itu dibutuhkan pembangunan infrastruktur dalam menunjang kebutuhan eksploitasi panas bumi.

Gunung Patuha merupakan salah satu wilayah yang termasuk pada zona lava dan lahar andesit (Koesmono,1996). Menurut Singarimbun (2013) berdasarkan hasil magnetik di daerah penelitian memiliki litologi tuff dan lahar andesit yang terbentuk dari letusan Gunung Patuha yang kemudian terendapkan. Zona ini menyebabkan persebaran lahar andesit dibawah permukaan dalam bentuk bongkah (lahar andesit) yang menghambat pembangunan infrastruktur. Tiang pancang sebagai pondasi dari suatu bangunan akan sulit dipasangkan apabila tidak adanya informasi kondisi bawah permukaan yang detail.

Aplikasi dari metode geofisika dapat menunjang kebutuhan geoteknik sehingga meminimalisir resiko kegagalan pembangunan. Penyelidikan geoteknik dapat mengestimasi letak konstruksi dengan memperhitungkan daya dukung lingkungan berdasarkan hasil dari pemetaan bawah permukaan bumi. Penyelidikan geofisika secara detail umumnya menggunakan metode yang memiliki penetrasi yang dangkal salah satunya adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR). GPR merupakan metode geofisika detail yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik berdasarkan kontras permitivitas setiap lapisan batuan dengan lebar frekuensi sumber bervariasi terdiri dari 25 MHz, 50 MHz, 80 MHz, 100 MHz, 200 MHz, 300 MHz, 500 MHz

hingga 900 MHz dan dapat di aplikasikan untuk bidang sumber daya mineral, geoteknik dan arkeologi Daniels (2010) ; ASTM (2016).

Vafidis. A (2016) telah melakukan penelitian untuk menggambarkan bongkah bawah permukaan dengan metode GPR yang mana kelebihan dari metode ini dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan resolusi vertikal yang baik. Bongkah dapat dicirikan ketika gelombang elektromagnetik mengalami penghamburan gelombang (Haeni, 1998). Interpretasi dari model 2D, 3D dan persebaran bongkah dari metode GPR dapat mengetahui kedalaman dari bongkah bawah permukaan sehingga dapat menunjang laju pembangunan infrastruktur.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pembangunan infrastruktur terjadi karena kesalahan letak pemasangan tiang pancang sebagai proses awal pembangunan di kawasan Patuha. Permasalahan tersebut dapat dirumuskan sebagai:

1. Bagaimana cara menentukan bongkah (lahar andesit) pada kawasan penelitian?
2. Apa jenis batuan penyusun yang terdapat pada kawasan Patuha berdasarkan hasil dari pengolahan data radargram ?
3. Bagaimana cara membuat model 2D, 3D dan peta persebaran bongkah berdasarkan radargram GPR dan data geologi.

1.3 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui jenis batuan penyusun bawah permukaan yang menghambat proses pembangunan dikawasan tersebut. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui respon tanah keras (Batupasir) dan anomali bongkah (lahar andesit) pada penampang radargram daerah penelitian.
2. Mengetahui kedalaman anomali bongkah (lahar andesit) pada daerah penelitian.

3. Mengetahui kedalaman bongkah (lahar andesit) pada posisi tiang pancang yang berada pada daerah penelitian menurut peta persebaran bongkah.

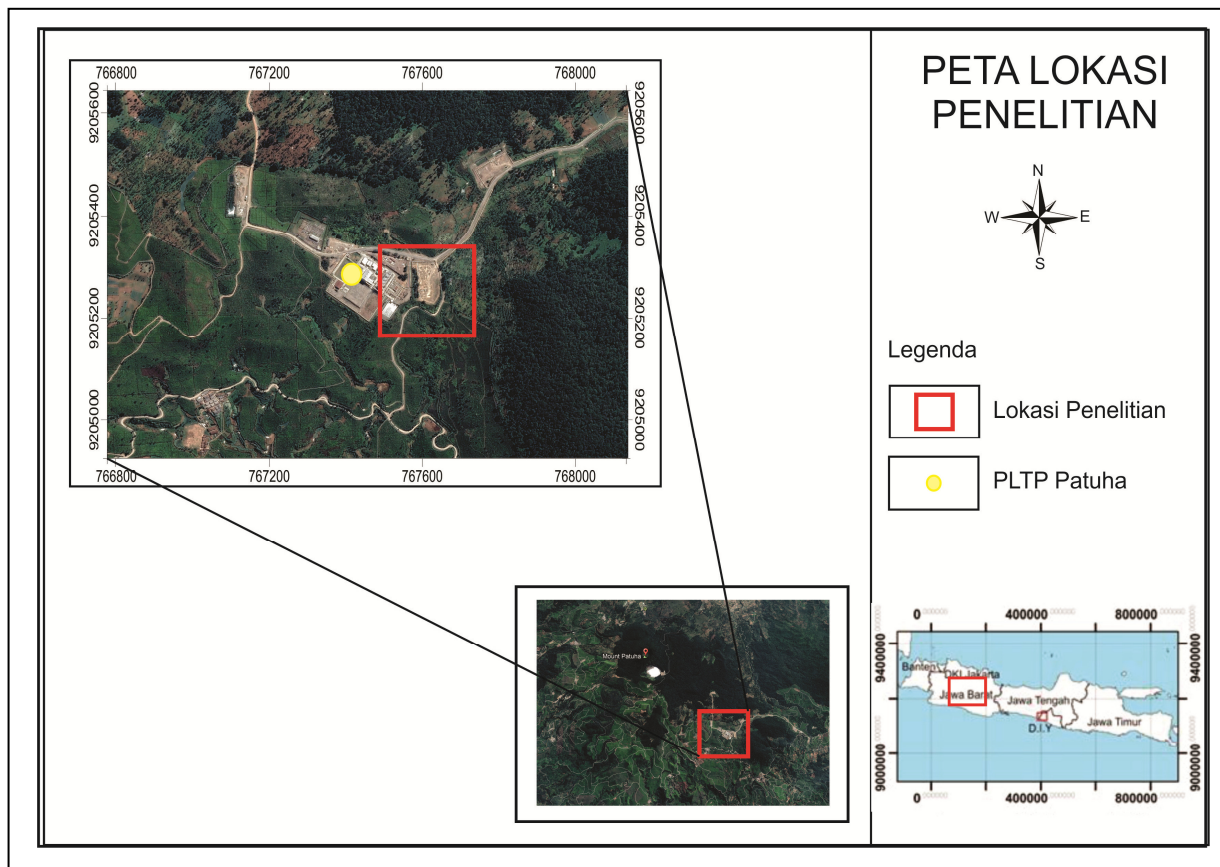
1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan dari hasil perumusan masalah, didapatkan batasan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini berupa:

1. Lokasi penelitian dilakukan di kawasan Patuha yang berada di Kabupaten Bandung, Kecamatan Pasir Jambu, Provinsi Jawa Barat.
2. Informasi geologi regional yang digunakan untuk interpretasi mengacu pada peta geologi Sindang Barang (Koesmono, 1996).
3. Metode GPR dalam penelitian ini menggunakan parameter nilai permitivitas.
4. Kedalaman serta luasan penyebaran bongkah pada kawasan patuha unit 2.

1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pada penelitian ini berlokasi di PLTP Patuha unit 2 **Gambar 1.1**. pada tanggal 28 juli 2012 di Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. Lokasi penelitian dapat di tempuh selama 90 menit dari pusat kota Bandung dengan kondisi jalan yang baik. Dalam penelitian ini menggunakan metode GPR dalam akusisi data sebagai data primer di kawasan Panas Bumi Patuha unit 2. Penelitian ini terdiri dari pengajuan prosopal hingga pembuatan laporan akhir yang dilaksanakan bulan Januari hingga April di Pusat Survei Geologi Bandung.



Gambar 1. 1. Peta Lokasi Penelitian (Google earth, diakses pada tanggal 25 september 2018)

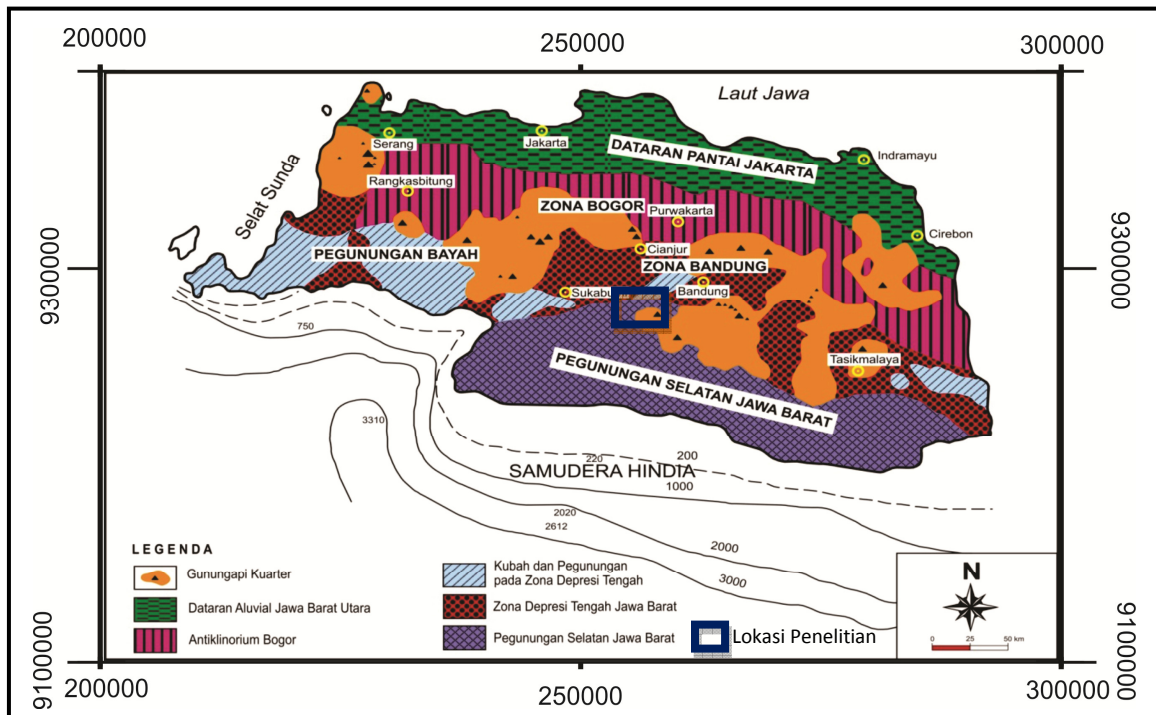
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

2.1.1. Fisiografi Regional

Secara fisiografis daerah Jawa Barat dibagi menjadi empat bagian besar, yaitu dataran alluvial Jawa Barat utara, antiklinorium Bogor, kubah dan pegunungan pada zona depresi Tengah, zona depresi tengah Jawa Barat, dan pegunungan selatan Jawa Barat. Daerah penelitian terletak pada zona pegunungan selatan Jawa Barat Menurut (Bemmelen, 1949) (**Gambar 2.1**).



Gambar 2. 1 Peta Fisiografi Jawa Barat (Bemmelen, 1949)

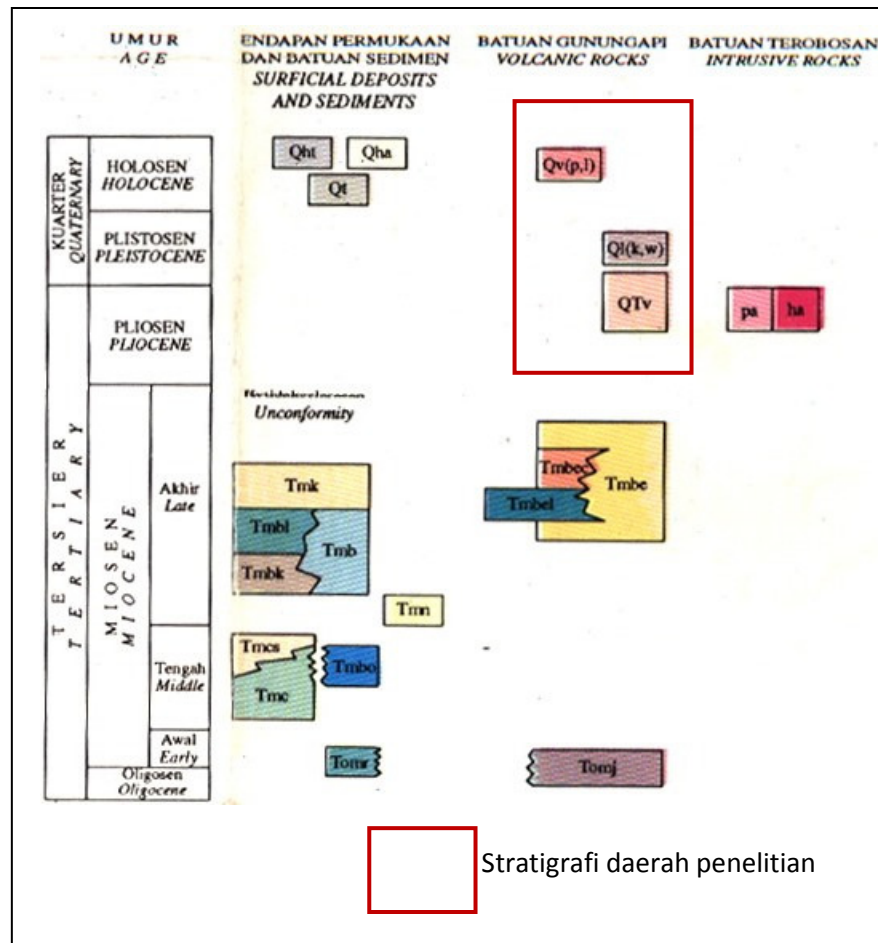
Zona pegunungan selatan Jawa Barat merupakan dataran tinggi dengan puncak disebelah selatan Bandung. Pegunungan ini memanjang dari Pelabuhan Ratu sampai pulau Nusakambangan di sebelah selatan segara anakan dengan lebar ± 50 km menyempit hingga beberapa kilometer disebelah timur. Pegunungan selatan

merupakan sisi selatan pulau Jawa yang mengalami masa pengerutan yang melandai keselatan menuju samudra hindia. Lokasi penelitian berada disekitar Gunung Patuha dan secara fisiografi terletak pada zona pegunungan selatan Jawa Barat yang berbatasan langsung dengan zona bandung sehingga daerah ini mempunyai litologi campuran endapan gunungapi tersier dengan produk gunungapi kuarter (koesmono, 1996)

2.1.2. Statrigafi Regional

kawasan patuha *unit 2* mempunyai susunan urutan stratigrafi dari tua ke muda

Gambar 2.2. Pada kotak berwarna merah menunjukkan stratigrafi kawasan patuha, untuk lebih detailnya akan dijelaskan di bawah ini:



Gambar 2. 2 Stratigrafi lembar Sindangbarang dan Bandarwaru (Koesmono,1996)

1. Lava dan Lahar gunung Patuha (QV(p,l))

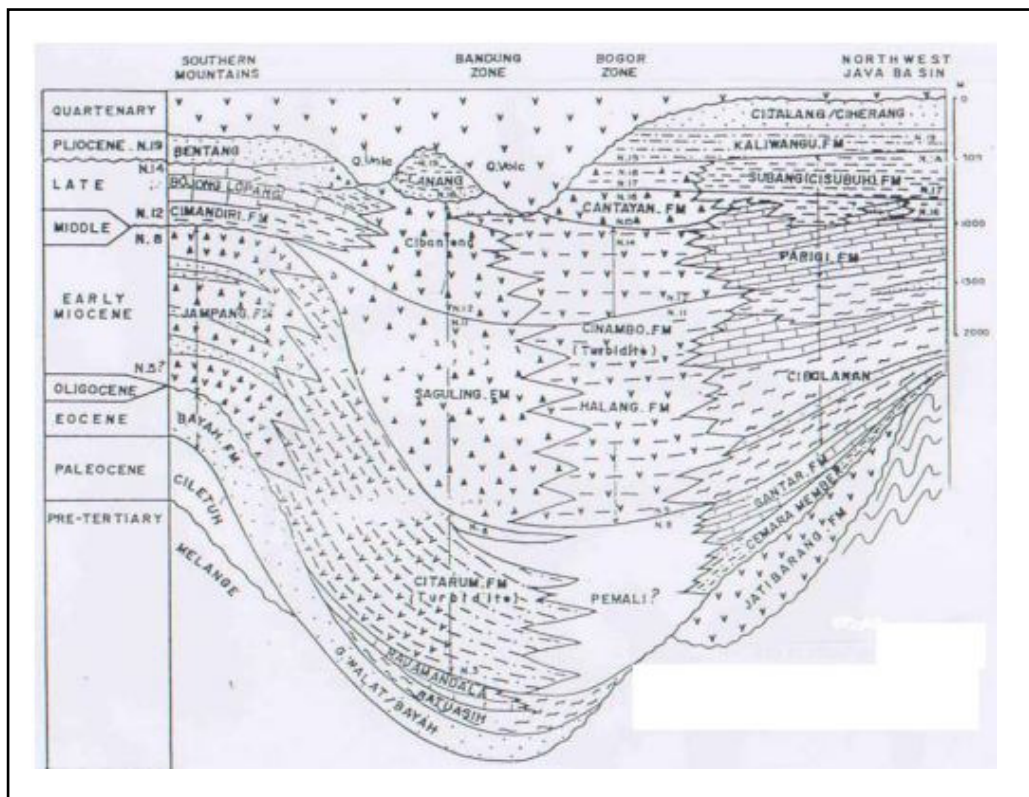
Kawasan Gunung Patuha mempunyai litologi berupa lava dan lahar andesit piroksin yang pejal dan berongga serta breksi lahar. Lava dan Lahar Gunung Patuha berumur holosen yang menindih lava dan lahar gunung kendeng

2. Lava dan Lahar Gunung Kendeng (Ql (k,w))

Kawasan Gunung Kendeng berumur plistosen yang menindih tidak selaras dengan endapan piroklastik. Aliran lava dan lahar gunung kendeng ini berselingan dengan endapan lahar berupa breksi andesit dan breksi tuff.

3. Endapan Piroklastik yang tak terpisahkan

Endapan ini merupakan satuan batuan tertua yang berada pada kawasan Gunung Patuha dan memiliki umur pliosen hingga plistosen. Daerah ini memiliki litologi breksi andesit, breksi tuf, dan tuf lapili.



Gambar 2.3 Penampang stratigrafi ideal Jawa Barat (Martodjodjo, 1984)

Penampang **Gambar 2.3** merupakan susunan formasi batuan dari tua ke muda untuk lebih detailnya akan dijelaskan dibawah ini:

1. Formasi Jampang

Formasi jampang disusun oleh litologi breksi andesit yang tersemen baik dengan ketebalan formasi sekitar 800 m dan tidak tersingkap di permukaan (Soedjatmiko, 1972)

2. Formasi Rajamandala

Umumnya mempunyai litologi lempung, napal, lempung napalan, batupasir kuarsa dankonglomerat. Diendapkan dan kontak dengan formasi Batuasih.

3. Formasi Cimandiri

Formasi ini berupa perselingan litologi batulempung dan batulanau yang mempunyai wana kelabu muda, serta batupasir berwarna coklat kekuningan. Secara local formasi ini dicirikan oleh endapan lahar yang tersusun dari litologi tuff, breksi andesit, dan breksi tuff. Ketebalan pada formasi ini mencapai 400 m

4. Formasi Bojonglopang

Formasi ini mempunyai litologi penyusun batugamping terumbu yang berupa perulangan perlapisan batugamping pejal dengan batugamping berlapis yang tersusun dari hasil rombakan koral tersemen kuat. Ketenalan lapisan ini mencapai 50 m – 400 m

5. Formasi bentang

Formasi ini tersusun oleh hasil runtunan turbidit yang berupa batupasir tuff berlapis, tuff Kristal, tuff batuapungan, batulanau, batulempung napalan, dan breksi andesit. Dipermukaan formasi bentang di dominasi oleh batulempung dan batulana. Formasi ini mempunyai ketebalan lapisan 300 m. formasi ini menindih selaras formasi cimandiri

6. Formasi Kolaberes

Formasi ini mempunyai litologi batupasir tuff berlapis, tuff Kristal, breksi tuff, dan breksi andesit yang mempunyai ketebalan kira-kira 350 m. formasi ini menindih dengan selaras formasi bentang dan ditindih tak selaras oleh lava dan lahar satuan gunung kendeng.

7. Formasi Besar

Formasi besar mempunyai litologi breksi tuffan lava andesit hingga basalt (Alzwar, 1992). Satuan lahar gunung Kendeng dan lava gunung Kendeng merupakan aliran berselingan dengan endapan lahar breksi andesit dan breksi tuff (Koesmono, 1996). Ukuran breksi pada formasi ini mencapai 1 m. Terdapat batulempung berlapis kurang baik. Formasi ini mempunyai ketebalan kira-kira 750 m.

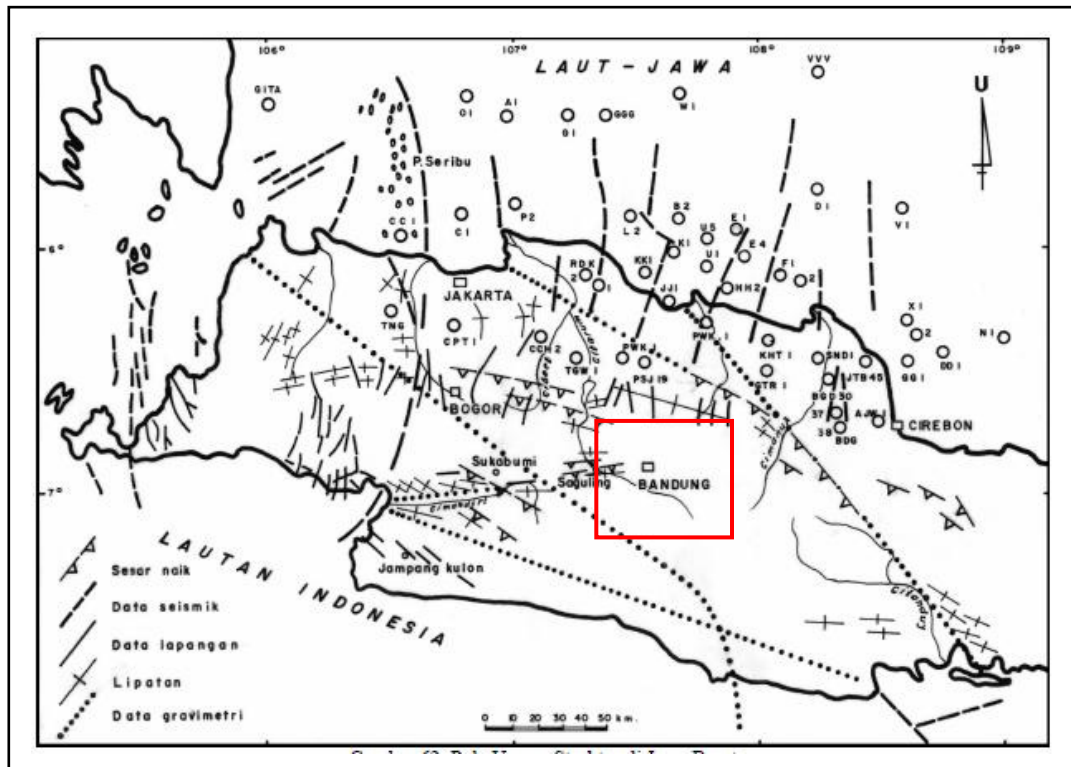
8. Endapan vulkanik kuartar

Endapan ini mempunyai umur kuartar dengan litologi lava dan lahar andesit piroksen. Endapan ini terletak pada pegunungan selatan Jawa Barat. Gunung Patuha memiliki lava dan lahar andesit yang pejal dan berongga. Pelembaran dan pengekan berlapis terdapat secara lokal di situ Patenggang. Gunung Kendeng aliran lavanya berselingan dengan endapan lahar yang berupa breksi andesit dan breksi tuff. Komponen ini mempunyai ukuran sebesar 40 cm hingga 3 m.

Lokasi penelitian berada pada formasi pegunungan selatan yang ada pada bagian utara **gambar 2.3**.

2.1.3. Struktur Regional

Patuha *unit 2* terdapat beberapa pola struktur yang dapat dilihat pada peta pola struktur regional Jawa Barat yang tepatnya berada pada kawasan kota Bandung dengan tanda kotak warna merah **Gambar 2.4**



Gambar 2. 4 Peta pola struktur regional Jawa Barat berdasarkan data gravimetrik dan data seismik (Martodjodjo, 1984)

Struktur geologi daerah Sindangbarang dan Bandarwaru berupa patahan, lipatan, kelurusan, dan kekar terdapat pada batuan yang berumur oligo-miosen sampau kuartar. Patahan terdiri dari patahan geser yang berorientasi relatif utara baratlaut-selatan tenggara serta utara selatan dan patahan normal yang berarah utara selatan dan timur barat. Pola lipatan berupa antiklin berarah baratdaya-timurlaut dan barat-timur. Lipatan sinklin berorientasi baratdaya-timurlaut serta fleksur yang berarah barat-timur. kelurusan yang dijumpai diduga merupakan sesar yang mengarah baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut pada batuan berumur kuartar. Kekar umumnya ditemukan dan berkembang pada batuan andesit yang berumur oligo miosen-kuarter

Tektonik pada daerah penelitian menghasilkan 2 pola struktur yang berbeda terjadi pada batuan dengan umur miosen akhir menghasilkan suatu pengangkatan (*uplift*) dan diikuti dengan terobosan batuan andesit berumur pliosen terhadap formasi

bentang. Formasi cimandiri terlipatkan dan membnetuk antiklin dan snklin sedangkan formasi besar, bentang, dan koleberes tersesarkan yang membentuk patahan normal dan geser.

2.2. Geologi Lokal Sindangbarang

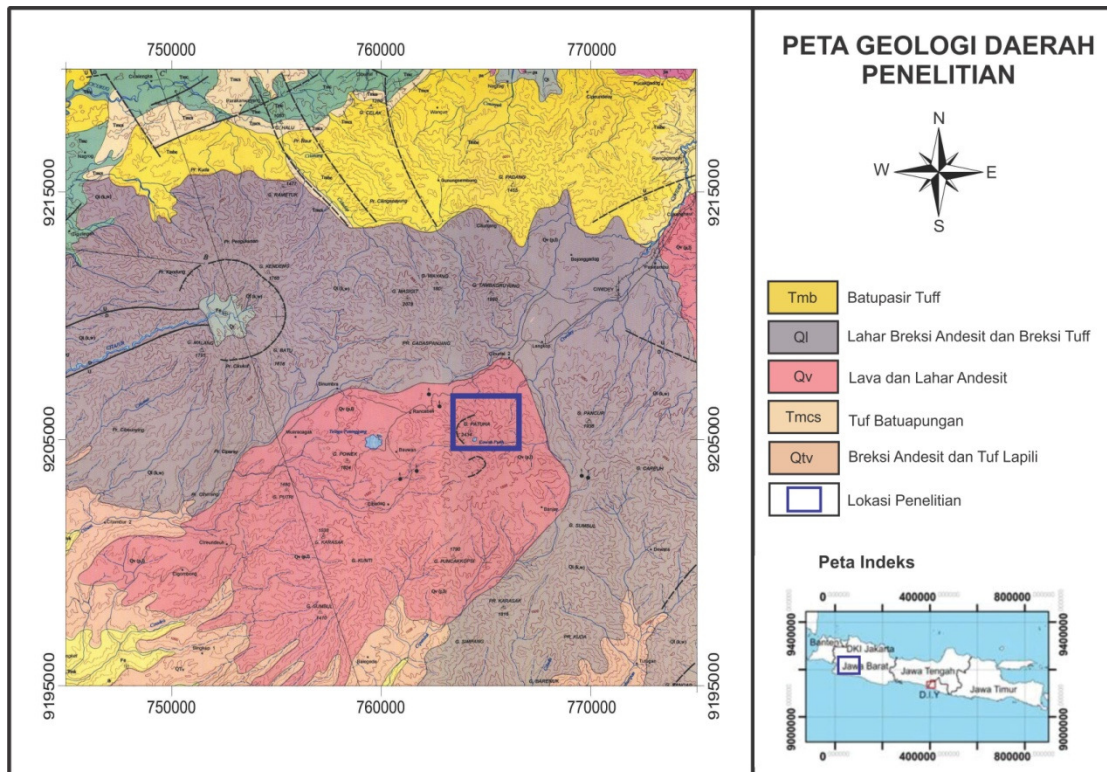
Gunung Patuha termasuk ke dalam barisan gunungapi yang berumur tersier akhir dan kuarter dengan elevasi diatas 2000 mdpl. Batas morfologi terbentuk di antara daerah cekungan intermontana Bandung dengan elevasi berkisar 700 mdpl dan berkembang selama kuarter hingga miosen pegunungan selatan (Van Bemmelen, 1949). Kawasan Patuha (+ 2434 m dpl) terbentuk pada vulkanik Kuarter tua yang kemungkinan menutupi suatu batuan dasar dengan susunan batuan vulkanik tersier Atas. Kawasan Patuha unit 2 termasuk ke dalam geologi daerah sindangbarang **Gambar 2.5.** yang berada pada sebelah selatan kota bandung,

2.2.1. Litologi Lokal Sindangbarang

Pada daerah Sindangbarang mempunyai litologi penyusun endapan vulkanik kuarter yang berupa breksi andesit, breksi tufa, tufa kristal dan batulempung. Ukuran maksimal fragmen breksi lebih dari 1 meter. Matriks terdiri dari batupasir tufa dan tufa kristal pejal berwarna kelabu. Di Cukanggaleuh bagian dasar breksi itu dicirikan oleh adanya kandungan koral dan moluska. Batulempung berlapis kurang baik, berwarna kelabu gelap, berupa lensa-lensa. Lingkungan pengendapan pada daerah darat sampai laut dangkal. Bagian bawah runtunan ini diduga menjemari dengan formasi Koleberes dan bagian atas formasi Bentang dengan tebal berkisar 750 meter (koesmono, 1996).

2.2.2. Litologi Daerah Penelitian

Pada daerah penelitian di kawasan patuha mempunyai litologi berdasarkan daerah pengendapan vulkanik. Batuan penyusun pada lokasi penelitian didapatkan lahar andesit, breksi lahar dan batupasir. Bongkah yang terdapat pada kawasan penelitian adalah lapukan dari lahar andesit yang terbawa pada daerah penelitian dan kemudian terendapkan dengan batuan sedimen batupasir.



Gambar 2. 5 Peta geologi sindangbarang menurut Koesmono (1996); kotak Biru: lokasi penelitian.

Menurut Sriwana (2001) Gunung Patuha membentuk tiga unit paling muda, yang lainnya termasuk ke dalam G. Patuhawati dan G. Walang. Lava andesit, kubah lava, breksi dan tufa mendominasi seluruh urutan. Batuan dasar dicirikan menjadi tipe batuan vulkanik yang sama. Sedimen selain vulkaniklastik, belum teridentifikasi di bawah permukaan G. Patuha, tetapi pengaruh batupasir dan batugamping dari zaman miosen dikenali di daerah Bandung dan sekitar pegunungan selatan (Dam,1994). Sriwana (2001) mengemukakan bahwa batugamping dapat membentuk batuan dasar dari batuan vulkanik Kuartar di daerah Ciwidey.

BAB III

DASAR TEORI

Gelombang elektromagnetik (EM) adalah gelombang yang merambat di ruang hampa, dengan kata lain gelombang dapat merambat tanpa memerlukan medium. Fitur dalam EM terdiri dari frekuensi, amplitudo, kecepatan, dan panjang gelombang dimana amplitudo merupakan tinggian dari suatu gelombang, sedangkan panjang gelombang (λ) adalah jarak yang dihitung dari antara dua puncak gelombang. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu medium dalam satuan waktu. Frekuensi dinyatakan dari kecepatan rambat gelombang, karena nilai kecepatan energi gelombang elektromagnetik konstan (kecepatan cahaya) yang diketahui panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang gelombangnya, semakin rendah frekuensinya demikian sebaliknya.

Hipotesis maxwell menjelaskan bahwa adanya perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, juga dengan sebaliknya adanya perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet magnet. Landasan teoritis dari hipotesis Maxwell menjadi prinsip dasar metode elektromagnetik yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \tag{3.1}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \tag{3.2}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \tag{3.3}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{J}{\epsilon_0} \tag{3.4}$$

Dimana :

\vec{E} = Vektor medan listrik (volt/m),

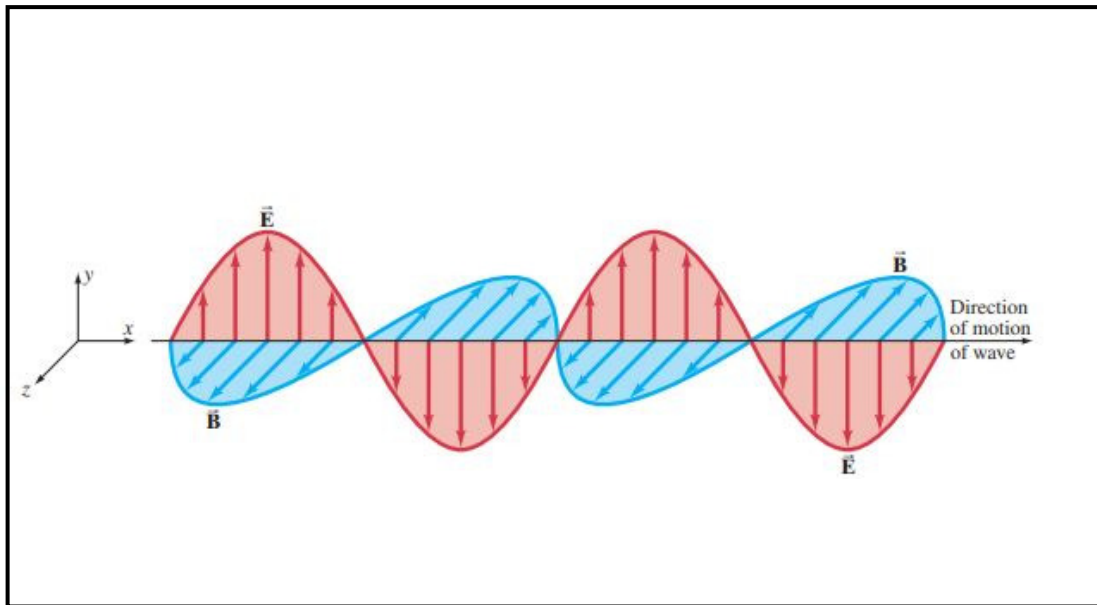
\vec{B} = Fluks atau induksi magnetik (Weber/ m^2 atau Tesla),

\vec{D} = Fluks Listrik(C/m²)

\vec{H} = Intensitas Medan Magnet (A/m)

J = Rapat arus (Ampere/m²).

Penjalaran gelombang elektromagnetik terjadi akibat dari adanya perubahan medan magnet atau perubahan medan listrik, gelombang elektromagnetik merupakan medan yang terbentuk dari tegak lurus antar medan magnet dan medan listrik dan memiliki penjalaran gelombang dalam bentuk transversal (**Gambar 3.1**).



Gambar 3. 1 Penjalaran Gelombang Elektromagnetik (Giancoli, 2001)

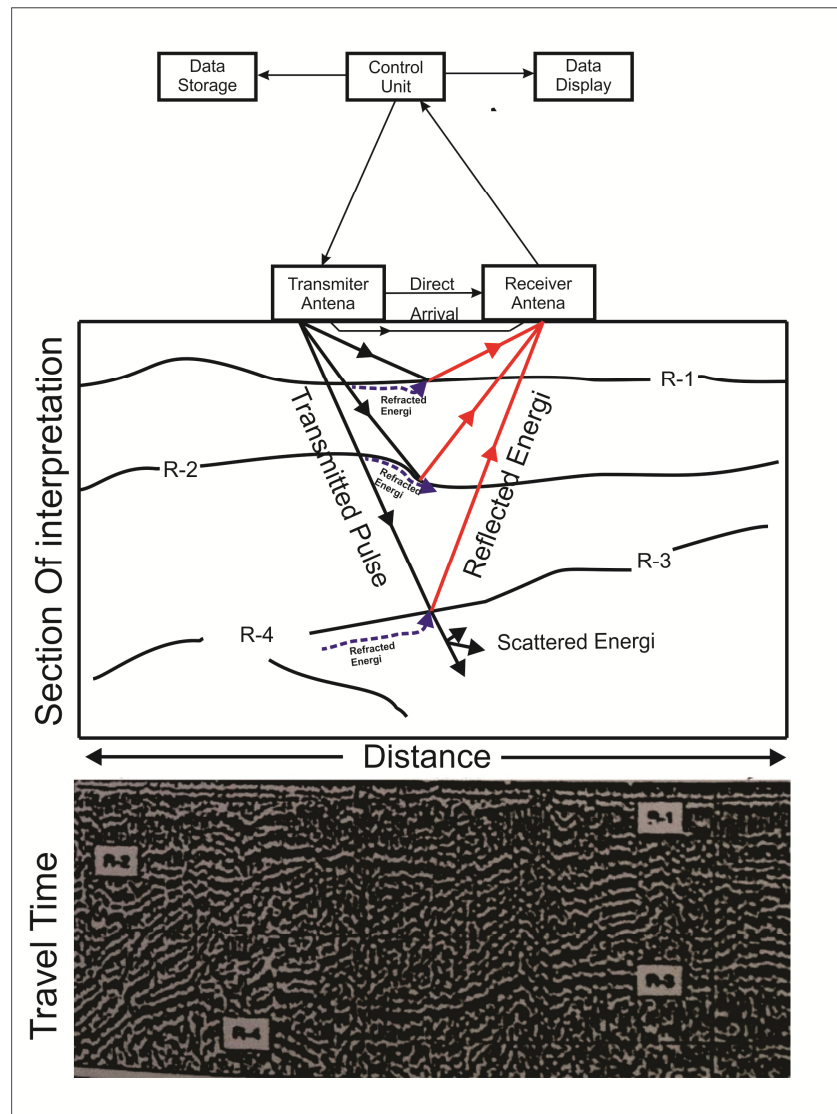
3.1 Metode Ground Penetrating Radar (GPR)

Metode GPR merupakan teknik elektromagnetik dengan resolusi tinggi yang dirancang khusus menggambarkan bawah permukaan bumi dangkal baik digunakan untuk kebutuhan pembangunan jalan, jembatan, dan material bangunan (Daniels, 2000) . GPR merupakan salah satu metode yang bersifat *non-destructive* atau tidak merusak dengan kisaran frekuensi yang digunakan sekitar (10 MHz – 1 GHz) (Elfarabi, 2017). Penetrasi yang dihasilkan metode ini relatif dangkal tetapi dapat menghasilkan resolusi yang tinggi terhadap kontras dielektrik material. Konsep metode GPR hampir sama dengan metode seismik refleksi, yang didasarkan pada perambatan gelombang untuk memberikan citra bawah permukaan (Budiono, 2010).

Metode GPR telah digunakan untuk survei geoteknik berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Venkateswarlu (2014) bahwa GPR telah diperluas penggunaannya seperti pembangunan konstruksi, hidrologi, pertambangan, dan arkeologi. GPR dapat mencapai kedalaman 30 meter pada konduktivitas rendah seperti pasir ataupun granit. Kedalaman GPR ini dibatasi oleh kelistrikan dan konduktivitas dibawah permukaan bumi, bila meningkatnya konduktivitas bawah permukaan maka penetrasi kedalaman akan menurun dikarenakan energi dari elektromagnetik teratenuasi (Venkateswarlu, 2014)

Instrumentasi dari GPR terdiri dari sebuah pembangkit sinyal, antenna pemancar (*transmitter*) sebagai pemancar sinyal elektromagnetik dan antenna penerima (*receiver*) sebagai pendeteksi gelombang elektromagnetik yang terpantulkan. Gelombang EM ditransmisikan sebagai gangguan yang tidak terabsorpsi oleh bumi tetapi dipantulkan dalam domain waktu tertentu. Mode konfigurasi antenna pemancar dan penerima terdiri dari metode monostatik dan bistatik. Konfigurasi monostatik adalah susunan pengambilan data dimana *transmitter* dan *receiver* digabung dalam satu antenna sementara itu, konfigurasi bistatik memiliki susunan yang mana kedua antenna memiliki jarak pemisah.

Transmitter membangkitkan pulsa gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu, sesuai dengan karakteristik antena tersebut (1 MHz – 1 GHz) dan *Receiver* diatur untuk melakukan *scan* yang secara normal mencapai 32 - 512 *scan* per detik. Setiap hasil *scan* ditampilkan pada layar monitor (*real-time*) sebagai fungsi waktu *two-way traveltime* (TWT) yaitu waktu yang dibutuhkan gelombang elektromagnetik menjalar dari *transmitter*, target dan ke *receiver*. Tampilan ini disebut radargram, dan tampilan ini cukup mirip dengan tampilan penampang seismik (**Gambar 3.1**).



Gambar 3. 2 Konsep Dasar Pengambilan Data Ground Penetrating Radar (Mala, 1997)

3.2 Perambatan Gelombang Radar

Eksplorasi dari beberapa metode geofisika yang menjadikan tolak ukur keberhasilan adalah bergantung kepada kontras sifat-sifat fisik dari lapisan bawah permukaan atau batuan. Sifat dari gelombang elektromagnetik berhubungan dengan komposisi batuan dan kadar airnya, karena keduanya merupakan salah satu pengontrol utama kecepatan perambatan gelombang radar dan atenuasi gelombang elektromagnetik didalam material. Menurut Davis dan Annan (1989) menjelaskan bahwa gelombang radar sangat sensitif terhadap perubahan tipe batuan dan kandungan air.

Kecepatan gelombang radar dalam beberapa medium akan berpengaruh terhadap parameter elektromagnetik. Parameter elektromagnetik meliputi permitivitas dielektrik (ϵ_r), permeabilitas magnet (μ_r), dan konduktivitas listrik (σ). Kecepatan gelombang radar dalam suatu material (V_m) dapat diturunkan dari persamaan Maxwell (2) untuk menghitung medan listrik dan persamaan Maxwell (4) untuk

$$\text{menghitung medan magnet menjadi } \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial B}{\partial t} (\nabla \times \vec{B}) \quad (3.7)$$

menggunakan persamaan vektor identitas untuk menyelesaikan fungsi.

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} \quad (3.8)$$

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B}) \quad (3.9)$$

Dimana $\nabla \times \vec{E} = 0$, $\nabla \times \vec{B} = \mu_j + \mu_\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$, dan $\vec{j} = \sigma E$

$$-\nabla^2 \vec{E} = -\mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (3.10)$$

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (3.11)$$

solusi umum dari persamaan (11) merupakan fungsi gelombang sehingga :

$$E = E_0 e^{i(kt - \omega t)} \quad (3.12)$$

dimana :

$$k = \sqrt{\omega^2 \varepsilon \mu + i \omega \theta} \quad (3.13)$$

ω adalah kecepatan angular dan adalah parameter propagasi dapat disebut juga bilangan gelombang yang untuk kasus ini berbentuk bilangan kompleks persamaan diatas dinyatakan menjadi :

$$k = k_+ + ik_- \quad (3.14)$$

Dengan :

$$k_+(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon \mu}{2}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon \omega}\right)^2 + 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.15)$$

$$k_-(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon \mu}{2}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon \omega}\right)^2 - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.16)$$

Bagian riil dari k untuk persamaan (15) berkaitan dengan penentuan besar kecepatan gelombang elektromagnetik, yaitu menjadi rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{\omega}{k_+} = \frac{1}{k_+(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon \mu}{2}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon \omega}\right)^2 + 1} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.17)$$

karena besaran kecepatan gelombang radar dengan gelombang elektromagnetik sama, maka kecepatan gelombang radar juga dipengaruhi dengan kecepatan cahaya, dimana nilai $\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$. Rumus tersebut dapat disederhanakan menjadi.

$$v_m = \frac{c}{\left[\left(\frac{\varepsilon \mu}{2}\right) \left(\sqrt{(1+p^2)+1}\right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.18)$$

Dimana :

- v_m = Kecepatan Gelombang Radar (m/s)
 c = Kecepatan cahaya di udara ($c = 0.3$ m/ns).
 ϵ_r = Konstanta dielektrik relatif.
 μ_r = Permeabilitas magnetik relatif ($4\pi \times 10^{-7} H/M$)
 p = $\sigma/\omega E$ adalah Atenuasi (*Loss Factor*).
 σ = Konduktivitas (Siemen / m^2s)
 ω = Kecepatan angular ($2\pi f$).
 f = Frekuensi (Hz)
 ϵ = Permittivitas = $\epsilon_r \epsilon_0$.

kecepatan Low Loss, $p = 0$ maka kecepatan gelombang radar dalam milimeter/nanosekon adalah:

$$v_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{300}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.19)$$

Kontras perbedaan permitivitas dari lapisan pertama dan kedua di bawah permukaan menjadi parameter dalam menghitung besarnya nilai amplitudo koefisien refleksi (Reynold, 1997), dinyatakan sebagai berikut:

$$R = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \quad (3.20)$$

V_1 adalah kecepatan gelombang radar lapisan 1 dan V_2 kecepatan gelombang radar lapisan 2, nilai $V_1 < V_2$.

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (3.21)$$

ϵ_r (koefisien permitivitas relatif) meningkat terhadap kedalaman tergantung dari ketebalan dan panjang gelombang sinyal di suatu medium, jika ketebalan lapisan mengecil maka daya yang direfleksikan juga akan menurun (Davis, 1989).

3.2.1. Skin Depth

Frekuensi Gelombang EM yang dipancarkan ke bawah permukaan akan mempengaruhi penetrasi kedalaman karena, frekuensi rendah akan menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan frekuensi tinggi. Data EM dengan

frekuensi tinggi akan menghasilkan penetrasi kedalaman yang dangkal dikarenakan panjang gelombang yang lebih pendek. Resolusi data akan berbeda karena pengaruh frekuensi, semakin detil data dapat membedakan perlapisan maka frekuensi terjadinya gelombang EM yang digunakan semakin tinggi begitu pun sebaliknya.

Parameter yang mempengaruhi penetrasi dari EM lainnya adalah resistivitas (ρ) untuk menentukan atenuasi dari gelombang radar dan kedalaman penetrasi yang dapat dicapai. Resistivitas adalah kemampuan suatu medium dalam menghambat arus listrik, sifat ini berbanding terbalik dengan konduktivitas, karena nilai resistivitas yang kecil akan menyebabkan penetrasi yang dangkal, demikian juga dengan nilai resistivitas material yang besar penetrasi yang dihasilkan semakin dalam.

Skin Depth adalah jarak pelemahan gelombang elektromagnetik dalam medium homogen. Hal ini berkaitan dengan persamaan (15), dimana bagian imajiner dari k berkaitan dengan konstanta atenuasi (k_{-} , dB/m). Jarak tempuh gelombang akan berkurang yang mengakibatkan amplitudonya melemah dengan faktor $1/e$ dan dinyatakan sebagai:

$$\delta = \left| \frac{2}{\mu\sigma\omega} \right|^{1/2} \quad (3.22)$$

Besarnya *skin depth* pada medium konduktif bergantung dari permeabilitas medium, tahanan jenis dan frekuensi gelombang elektromagnetik melalui medium dengan, mengasumsikan harga permeabilitas $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \Omega/m$ dan frekuensi ($\omega = 2\pi f$), maka persamaan (23) akan di urai sebagai berikut:

$$\delta = \left[\frac{2\rho(\text{ohm.m})}{2\pi f \left(\frac{1}{dt}\right) 4\pi \times 10^{-7} \left(dt \frac{\text{ohm}}{m}\right)} \right]^{1/2} \quad (3.23)$$

$$= \left[\frac{2\rho(\text{ohm.m})}{8\pi f \times 10^{-7} \frac{\text{ohm}}{m} \cdot f} \right]^{1/2} \quad (3.24)$$

$$= \left[\frac{2\rho}{8\pi^2 \times 10^{-7}} m^2 \right]^{1/2} \quad (3.25)$$

$$= \left[\frac{2}{8\pi^2 \times 10^{-7}} \right]^{1/2} \left[\frac{\rho}{f} (m^2) \right]^{1/2} \quad (3.26)$$

$$= \left[\frac{2.5 \times 10^6}{\pi^2} \right]^{1/2} \left[\frac{\rho}{f} (m^2) \right]^{1/2} \quad (3.27)$$

$$= \frac{1.581139 \times 10^{-7}}{\pi} \left[\frac{\rho}{f} (m^2) \right]^{1/2} \quad (3.28)$$

$$= 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} m \text{ atau } 503 \sqrt{\rho T} \quad (3.29)$$

Dengan:

δ = Skin Depth (m)

f = Frekuensi (Hz)

ρ = Tahanan Jenis/ Resistivitas (ohm/m)

T = Periode (Detik)

Persamaan diatas menjelaskan bahwa frekuensi gelombang elektromagnetik rendah akan menghasilkan penetrasi gelombang radar yang semakin dalam, tetapi resolusinya akan mengalami hasil yang kurang maksimal. Pada daerah pengukuran yang memiliki nilai konduktivitas tinggi maka daya tembus gelombang akan rendah, demikian juga dengan sebaliknya pada batuan atau medium yang memiliki konduktivitas rendah akan menyebabkan daya tembus gelombang menjadi besar

Tabel 3. 1 Tabel besaran frekuensi dan penetrasi (Lehmann, 1999)

Frekuensi Antena (Mhz)	Ukuran Target (meter)	Penetrasi Maksimum (meter)	Jarak Antena (meter)	Interval Trace (meter)
25	$\geq 1,0$	35 - 40	4	0,3 - 0,75
50	$\geq 0,5$	20 - 30	2	0,2 - 0,5
100	0,1 - 1,0	15 - 25	1	0,1 - 0,3
200	0,05 - 0,5	5 - 15	0,6	0,03 - 0,1
400	$\approx 0,05$	3 - 10	0,6	0,02 - 0,1
1000	Sampai cm	0,4 - 4	0	0,01 - 0,05

Tabel 3.1 menjelaskan bahwa setiap frekuensi yang digunakan akan mendapatkan kedalaman, ukuran target, dan *interval trace* yang berbeda. Untuk

frekuensi antenna 25 MHz akan didapatkan kedalaman maksimum hingga 35-40 meter dan ukuran target lebih dari 1 meter. Frekuensi antenna 50 MHz akan mendapatkan kedalaman maksimum 20-30 meter dan ukuran target lebih dai 0.5 meter. Frekuensi antenna 100 MHz akan didapatkan kedalaman maksimal 15-25 meter dan ukuran target 0.1-0.5 meter. Frekuensi antenna 200 akan didapatkan kedalaman maksimum 5-15 meter dan ukuran target 0.05–0.5 meter. Frekuensi antenna 400 MHz akan mendapatkan kedalaman maksimum 3-10 meter dan ukuran target 0.05 meter. Frekuensi antenna 1000 akan mendapatkan kedalaman maksimal 0.04-4 meter dan mempunyai ukuran target hingga centimeter.

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 dibatas lapisan (Sanny, 2000).

Absorpsi adalah energi gelombang elektromagnetik yang berubah menjadi energi panas, sedangkan atenuasi ialah 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 adalah konduktivitas listrik (σ), dan permitivitas dielektrik (ϵ) Besarnya harga atenuasi dapat dirumuskan sebagai berikut (Davis, 1989).

Area dengan sifat medan lebih konduktif menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi rendah dapat menjangkau kedalaman hingga 90 ft (Wright et.al., 1984; Olhoeft, 1984, 1986). Area tersebut umumnya memiliki litologi seperti tanah (*soil*) dengan persentase tinggi dari mineral lempung, jangkauan gelombang EM kurang dari 3 kaki (feet) (Wright et.al., 1984; Olhoeft, 1984, 1986)

$$\alpha = \frac{1,69 \times 10^3 \sigma}{\sqrt{\epsilon}} dB/m \quad (3.30)$$

Dengan:

α = Atenuasi (dB/m)

σ = Konduktivitas Listrik (mS/m)

ε = Permittivitas Dielektrik

3.2.2. Sifat Dielektrik Material Bumi

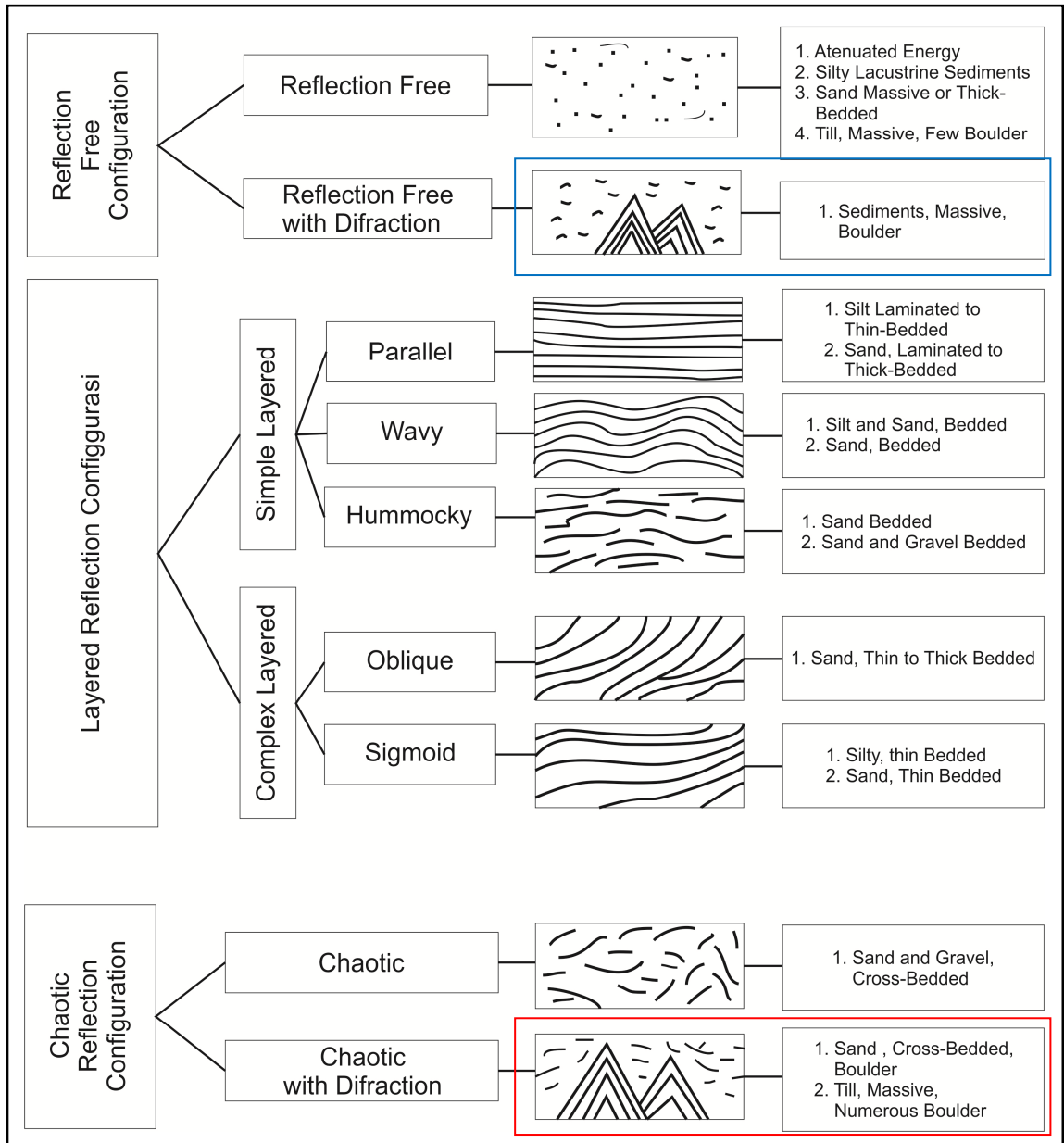
Material yang berada di bumi umumnya memiliki nilai konstanta dielektrik yang berbeda-beda. Konstanta dielektrik yaitu besaran yang menunjukkan kemampuan suatu material untuk menyimpan arus ketika medan listrik dialirkan (Sumargana, 2002). Besaran ini berpengaruh terhadap kuat lemahnya sinyal yang direfleksikan. Besaran sinyal tersebut bergantung pada perbedaan nilai konstanta dielektrik diantara kedua lapisan, yang nantinya akan berpengaruh pada saat direfleksikan.

Metode GPR memiliki sifat penjalaran terdapat pada dua lapisan material yang dialiri sinyal mempunyai perbedaan harga konstanta dielektrik. Nilai konstanta dielektrik yang besar akan menghasilkan reflektansi yang besar juga, begitupun sebaliknya pada nilai konstanta dielektrik yang kecil akan menghasilkan reflektansi yang kecil. Bongkah merupakan suatu massa batuan lepas yang agak membundar dan terlapukkan selama terbentuknya, bila dikaitkan dengan nilai konstanta dielektrik maka bongkah memiliki kesamaan dengan batuan yang mengalami pelapukan. **Tabel 3.2** menjelaskan bahwa nilai konstanta dielektrik dari bongkah tergantung oleh fragmen dari batuan, Kerikil memiliki nilai dielektrik 4 – 6 dan air memiliki nilai dielektrik 80. Kontras nilai tersebut menjadikan dasar untuk interpretasi guna memetakan zona bongkah. Kontras gelombang elektromagnetik terjadi akibat adanya perbedaan nilai konstanta dielektrik pada setiap lapisan.

Tabel 3. 2 Nilai Konstanta dielektrik, Konduktivitas elektrik, Cepat rambat gelombang, dan atenuasi (Davis, 1989)

Material	ϵ	σ (mS/m)	v (m/ns)	α (m/ns)
Udara	1	0	0,3	0
Air Sulingan	80	0,01	0,033	2×10^{-3}
Air Tawar	80	0,5	0,033	0,1
Air Laut	80	3×10^3	0,01	10^3
Pasir Kering	3 - 5	0,01	0,15	0,01
Pasir Jenuh	20 - 30	0,1 - 1,0	0,06	0,03 - 0,3
Batu Kapur	4 - 8	0,5 - 2	0,12	0,4 - 1
Batu Serpih	5 - 15	1 - 100	0,09	1 - 100
Lanau	5 - 30	1 - 100	0,07	1 - 100
Lempung	5 - 40	2 - 1000	0,06	1 - 300
Granit	4 - 6	0,01 - 1	0,13	0,01 - 1
Dry Salt	5 - 6	0,01 - 1	0,013	0,01 - 1
Es	3 - 4	0,01	0,14	0,01

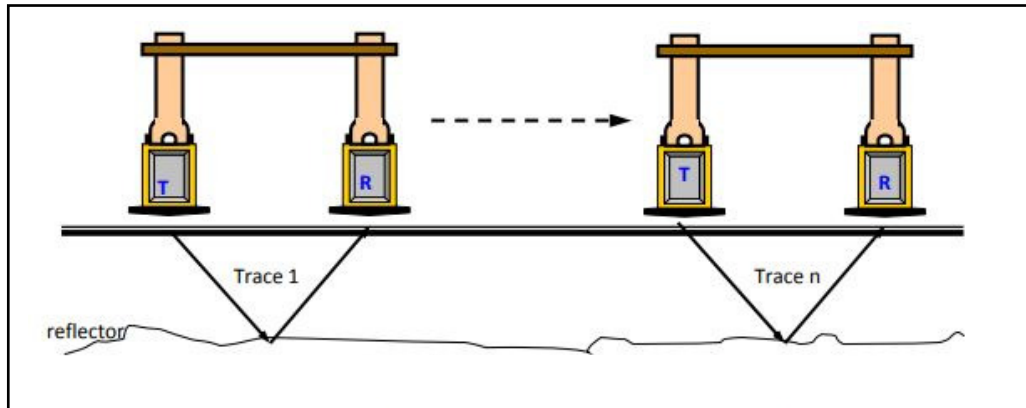
Sedimentasi batuan memiliki perbedaan konstanta dielektrik dan reflektor yang beragam (gambar 3.3). Pola reflektor tersebut merupakan konsep dari analisis *facies* refleksi yang di korelasikan dengan data litologi yang tersedia dari data sumur (Haeni, 1988). *Boulder* memiliki pola reflektor penghamburan gelombang (difraksi) seperti tanda biru dan merah pada gambar diatas. Litologi daerah penelitian tersusun



Gambar 3. 3 Chart hubungan konfigurasi refleksi pada rekaman radar terhadap litologi dan stratigrafi (Haeni, 1988)

dari endapan batuan vulkanik berupa sebaran lahar andesit dan tuff yang di duga sebagai *boulder* maka dari itu, respon yang akan di tampilkan dalam penampang GPR berupa difraksi.

3.2.3. Teknik Akuisi Data *Ground Penetrating Radar* (GPR)



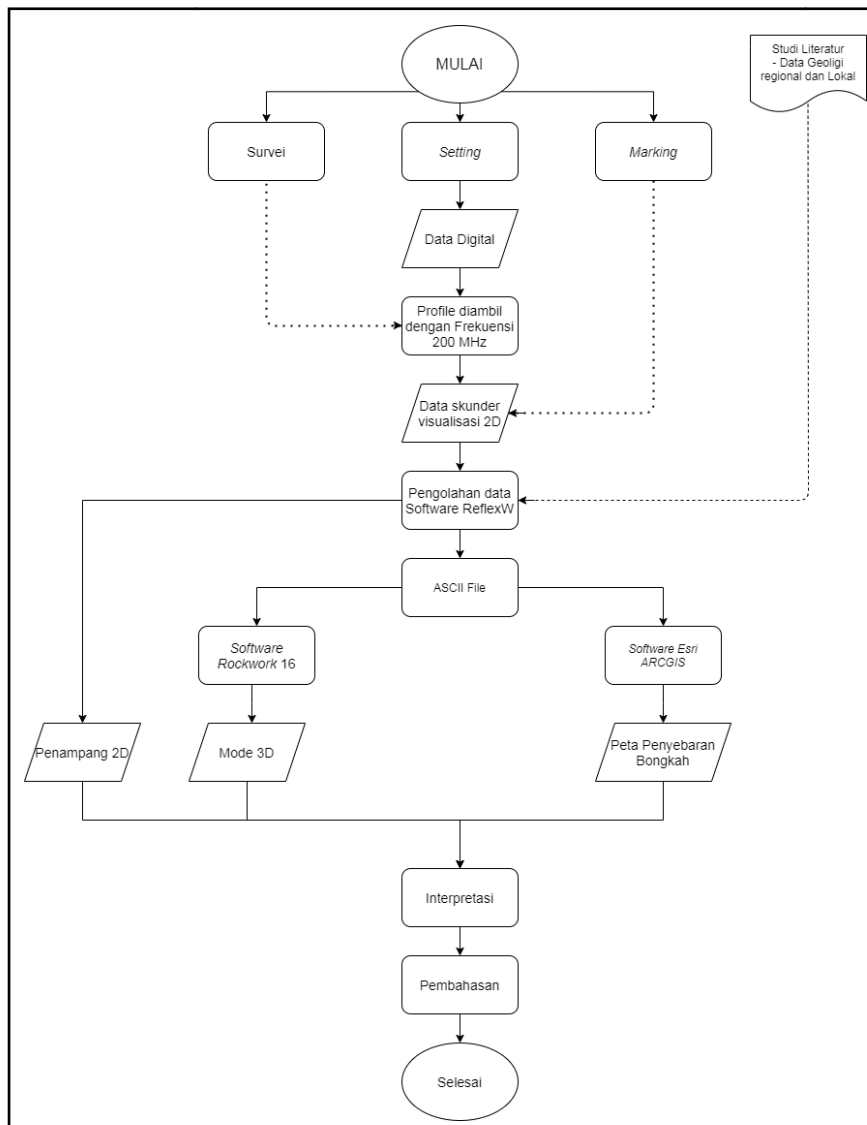
Gambar 3. 4 Pengukuran *Radar Reflection Profiling* (Reynolds, 1997)

Akuisisi GPR memiliki 3 teknik yaitu: *Radar Reflection Profiling* (Radar refleksi), CMP atau WARR dan *Transimulation* (Annan,1992). Akuisisi data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan teknik akuisisi radar refleksi. Akuisisi dilakukan dengan cara menggunakan antenna radar Transmitter sekaligus Receiver yang digerakan secara bersamaan sepanjang lintasan pengukuran yang sudah ditentukan.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian “Pemetaan Bongkah Bawah Permukaan Untuk Mengestimasi Pembangunan Infrastruktur Menggunakan Metode GPR Di Daerah Gunung Patuha Kabupaten Bandung” meliputi pengolahan data, pembuatan model 2D dan pemetaan penyebaran bongkah , dan interpretas.



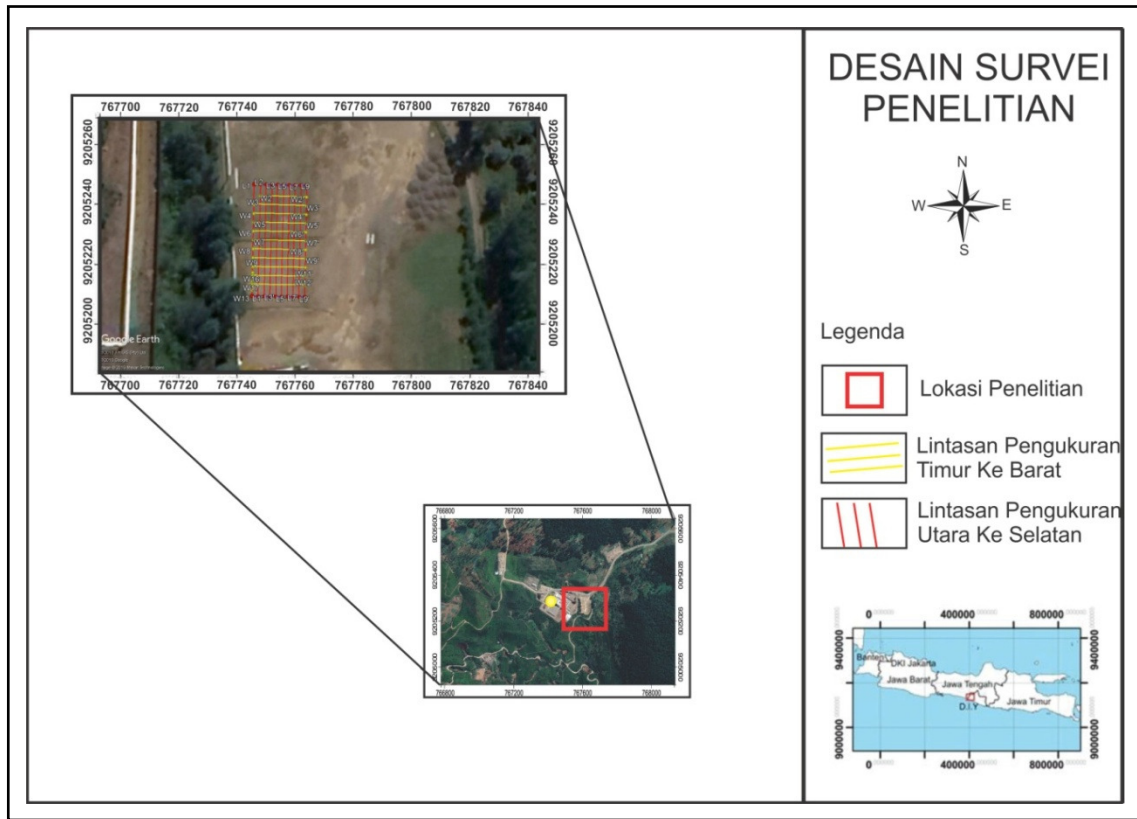
Gambar 4. 1 Diagram alir penelitian

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir diatas:

1. Studi literatur sangat penting untuk mengenal geologi regional kawasan penelitian, proses pengolah, dan interpretasi untuk mendapatkan target yang diinginkan
2. Langkah selanjutnya adalah survei dan *marking* daerah penelitian untuk menentukan lintasan sebelum dilakukannya pengambilan data agar mengetahui kondisi lapangan dan target yang dicari.
3. Pengambilan data skunder menggunakan metode GPR dengan series GSSI SIR-20 frekuensi 200 MHz dengan *range* profil 100 ns untuk mendapatkan visualisasi 2D
4. Pengolahan data skunder menggunakan *software Reflexw* untuk menampilkan target yang dicari. Pada proses ini merupakan titik awal dimulainya dalam penyusunan skripsi dikarenakan dalam pengambilan data GPR telah dilakukan oleh Pusat Survei Geologi pada tahun 2012.
5. Menghasilkan penampang 2D yang sudah dilakukan pengolahan untuk memetakan penyebaran bongkah.
6. Menampilkan peta persebaran bongkah menggunakan *Software Arcgis* dengan memasukkan data X,Y,Z lintasan dan anomali bongkah yang didapatkan dari hasil convert data *PROC* mejadi data *SEG-Y*
7. Menampilkan model 3D menggunakan *Software Rockwork16* yang dihasilkan dari data *SEG-Y* untuk menampilkan keadaan bawah permukaan bawah permukaan dan target yang dicari secara 3D.
8. Interpretasi dari hasil penampang 2D, model 3D dan peta persebaran yang dibantu dengan studi literatur.
9. Membuat pembahasan yang nantinya akan dibuat kesimpulan kelayakan daerah tersebut untuk dilanjutkannya perencanaan pembangunan patuha *unit 2*.

4.1. Desain Survei

Desain suvei daerah penelitian menggunakan pola *grid* **Gambar 4.2.** dikarenakan agar menghasilkan data GPR untuk pembuatan model 3D. Data yang diambil menggunakan metode ini mempunyai frekuensi 200 MHz sehingga dihasilkan radargram yang mempunyai resolusi baik.

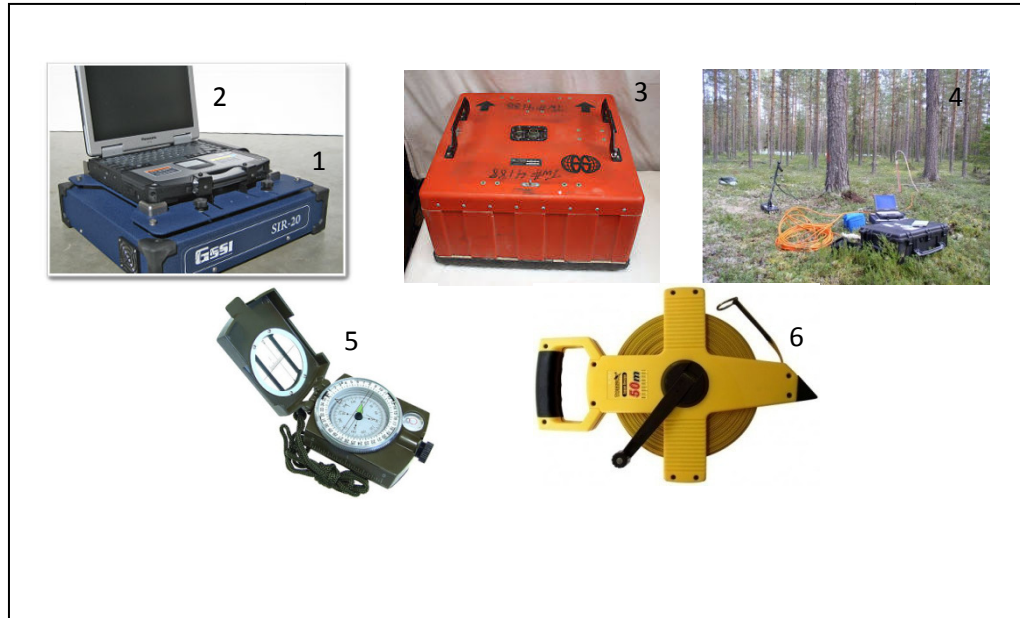


Gambar 4.2 Desain survei daerah penelitian

Pengukuran terbagi menjadi 2 lintasan terdiri dari lintasan berwarna kuning (LWE) dan merah (LNS). Lintasan pengukuran berjumlah 23 lintasan, dimana lintasan LWE mempunyai 13 lintasan pengukuran dan lintasan LNS memiliki 10 lintasan pengukuran. Lokasi pengukuran mempunyai kondisi topografi yang datar dengan panjang lintasan LWE mempunyai panjang *line* 14m - 17m dan lintasan LNS mempunyai panjang *line* 38m.

4.2. Instrumentasi

Akuisi data GPR membutuhkan alat-alat yang mendukung dalam proses pengambilan data. Berikut penjelasan perlengkapan yang dibutuhkan dalam proses akuisi **Gambar 4.3**, yaitu :

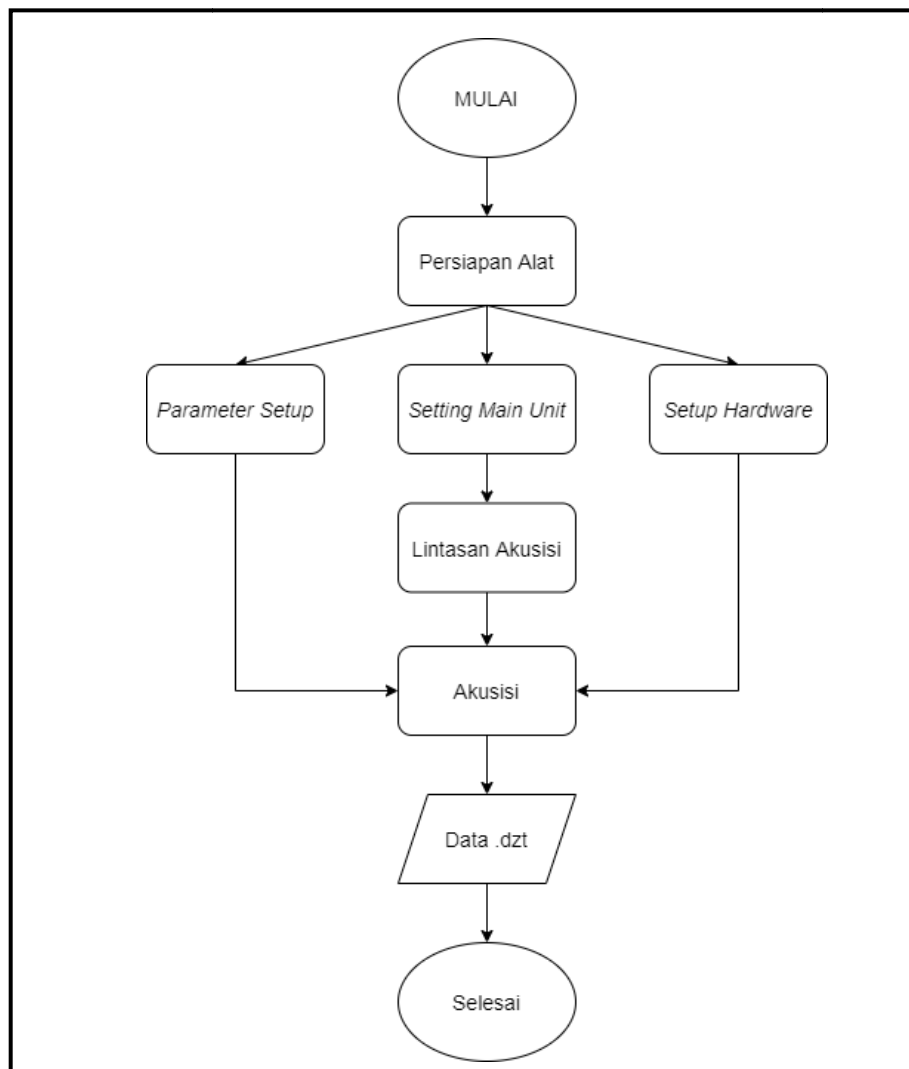


Gambar 4.3 Perlengkapan Akuisi

1. *Maisframe GSSI SIR 20* perangkat peralatan yang dapat merubah energi listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang di injeksikan ke bawah permukaan bumi dan mengirim tegangan listrik ke komputer untuk menampilkan hasil.
2. Komputer *Toughbook Panasonic* merupakan perangkat digital untuk menampilkan penampang data radargram.
3. Transducer merupakan antenna *transmitter* (pemancar gelombang elektromagnetik) sekaligus antena *receiver* (penerima gelombang elektromagnetik). Penggunaan alat ini dengan cara di tarik maupun di dorong secara perlahan.
4. Kabel konektor berfungsi untuk penghubung main unit dengan *transducer*
5. Kompas berfungsi untuk menentukan arah lintasan dari proses akuisi.
6. Meteran berfungsi untuk menentukan jarak lintasan.

4.3. Akuisisi GPR

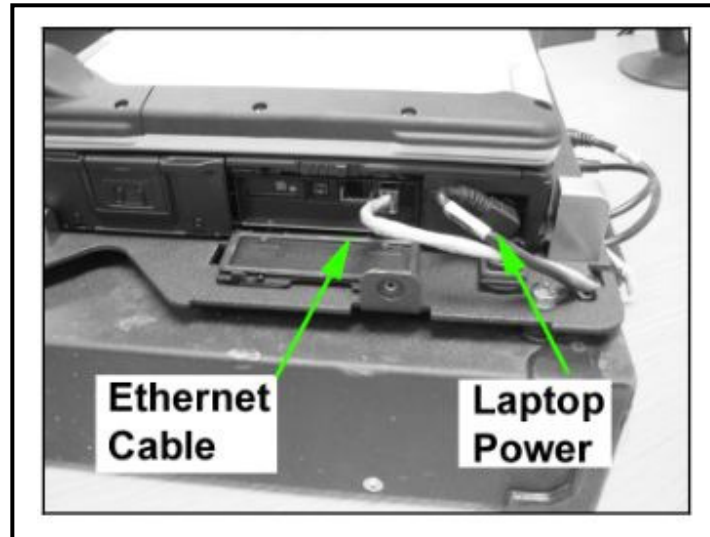
Akuisisi data GPR dimulai dari persiapan alat hingga pengukuran pada daerah penelitian. **Gambar 4.4** menunjukkan peralatan yang digunakan untuk kegiatan akuisisi data GPR. Langkah awal sebelum melakukan pengukuran yaitu melakukan persiapan kelengkapan alat seperti *main unit* (GSSI SIR 20), GPS/antena, laptop, meteran, kompas geologi dan kabel. *Main unit* yang digunakan merupakan seri GSSI SIR 20 dengan menggunakan frekuensi 200 Mhz. Gambar berikut merupakan diagram alir akuisisi data yang akan dijelaskan, antara lain:



Gambar 4. 4 Diagram Alir Akuisisi

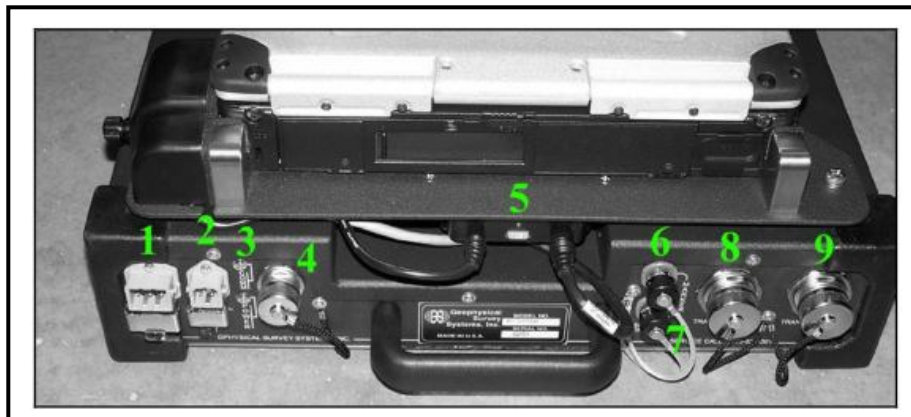
Akuisi data GPR dimulai dari langkah-langkah seperti pada gambar 4.4 yang diawali dengan persiapan *main unit*, *software*, parameter yang dipakai, penentuan lintasan akuisisi, akuisisi, data .dzt. Berikut penjelasan langkah-langkah di atas.

1. Langkah pertama dalam hal akuisisi adalah mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan. Mempersiapkan *main unit* adalah hal yang utama pada proses akuisisi.



Gambar 4.5 Panel Konektor laptop

Gambar di atas menjelaskan bagian dari laptop yang terdiri dari *Ethernet cable* dan *laptop power* berfungsi sebagai penghubung antara *main unit* dan laptop, *port* laptop terletak dibagian belakang untuk penggunaannya cukup membuka pelindung bagian belakang laptop.



Gambar 4.6 Panel Konektor *Main Unit*

Gambar 4.6 menjelaskan komponen port pada main unit, setiap port mempunyai fungsi masing masing diantaranya:

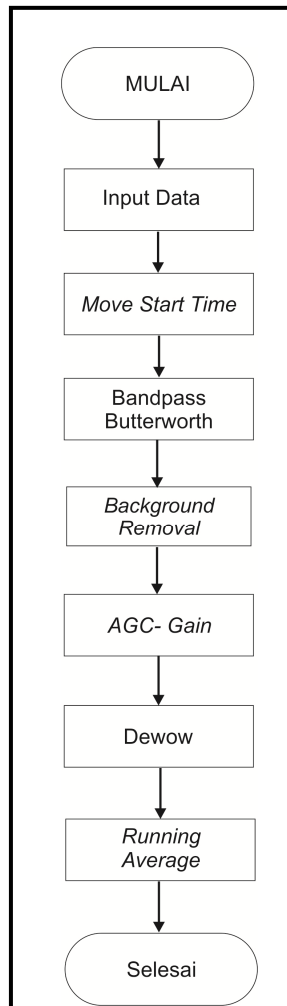
1. Merupakan *port* untuk mengisi daya baterai *main unit* yang terbuat dari logam untuk memastikan daya diterima dengan baik
 2. Port ini berfungsi sebagai penghubung untuk mengisi daya baterai *main unit*
 3. Lampu indikator berfungsi sebagai penghubung antara laptop dan *main unit*, lampu ini akan memberikan isyarat dengan warna, warna kuning menunjukkan tidak ada kendala pada main unit dan laptop.
 4. Konektor penghubung berfungsi sebagai cadangan apabila dibutuhkan penggunaan aplikasi yang dihubungkan bersamaan.
 5. SIR 20 *Power Converter* berfungsi untuk menjaga baterai laptop tetap terisi. Jika SIR 20 di hubungkan dengan sumber daya maka lampu akan menyala warna hijau pada *converter*.
 6. *Marker Connector* berfungsi sebagai port pemicu jarak jauh untuk melihat data yang perlu diperhitungkan.
 7. *Survey Wheel Connector* berfungsi sebagai port yang di hubungkan pada roda pada proses akusisi
 8. *Transducer port 1 & port 2* berfungsi sebagai penghubung antara main unit dan antena transmitter dan receiver
-
2. Langkah selanjutnya mempersiapkan perangkat yang digunakan dalam proses akusisi
 1. GSSI SIR 20
 2. Antenna *transmitter & receiver (Transducer)*
 3. Kabel Konektor
 4. Sumber tegangan (AC, Batere, DC)

Langkah-langkah dalam mempersiapkan perangkat sebagai berikut:

- Mempersiapkan main unit yang akan digunakan dan dihubungkan dengan sumber tegangan

- Memasangkan kabel konektor pada main unit yang akan dihubungkan dengan *tranducer*
- 3. Penentuan lintasan akusisi bertujuan untuk mempermudah pada saat pengambilan data dan menentukan arah lintasan, diharapkan pada saat pengambilan data mempunyai topografi yang datar.
- 4. Tahap akusisi ini adalah tahap dimana proses pengambilan data, pada tahap ini akan menghasilkan data radargram dalam format berbentuk (.dzt).

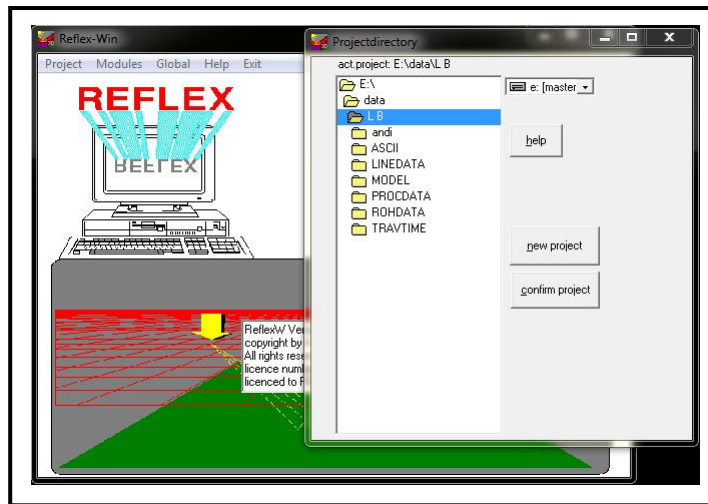
4.4. Pengolahan Data



Gambar 4. 7 Diagram Alir Sistematis Pengolahan Data

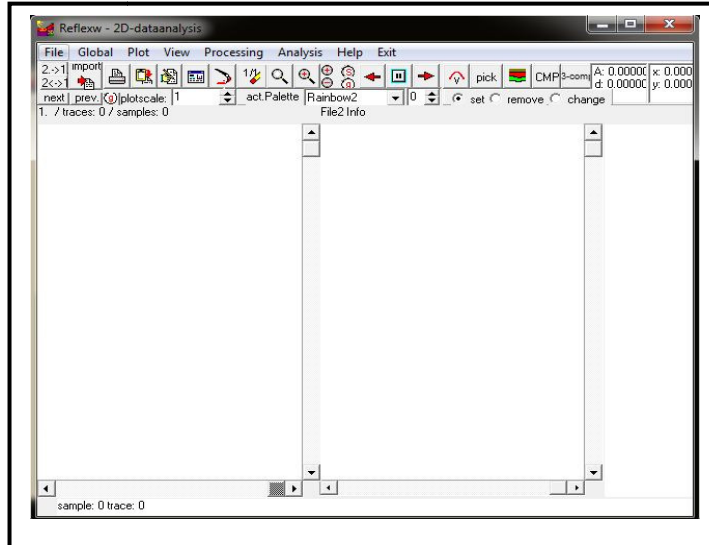
Akuisisi data GPR dilapangan menghasilkan data primer dalam bentuk *raw* data yang yang kemudian akan dilakukan pengolahan menggunakan software *Reflexw* untuk mengetahui persebaran boulder di bawah permukaan kawasan penelitian. Pengolahan metode GPR dimulai dari import data hingga dihasilkan penampang radargram 2D yang nantinya akan di interpretasikan kondisi bawah permukaannya. Berikut adalah proses- proses pengolahan menggunakan *software Reflexw*, yaitu:

1. Langkah awal dari pengolahan data primer GPR dengan membuka *Software Reflexw* dan membuat *folder project* untuk menyimpan hasil dari pengolahan data. Berikut adalah tampilan menu utama *software Reflexw*.



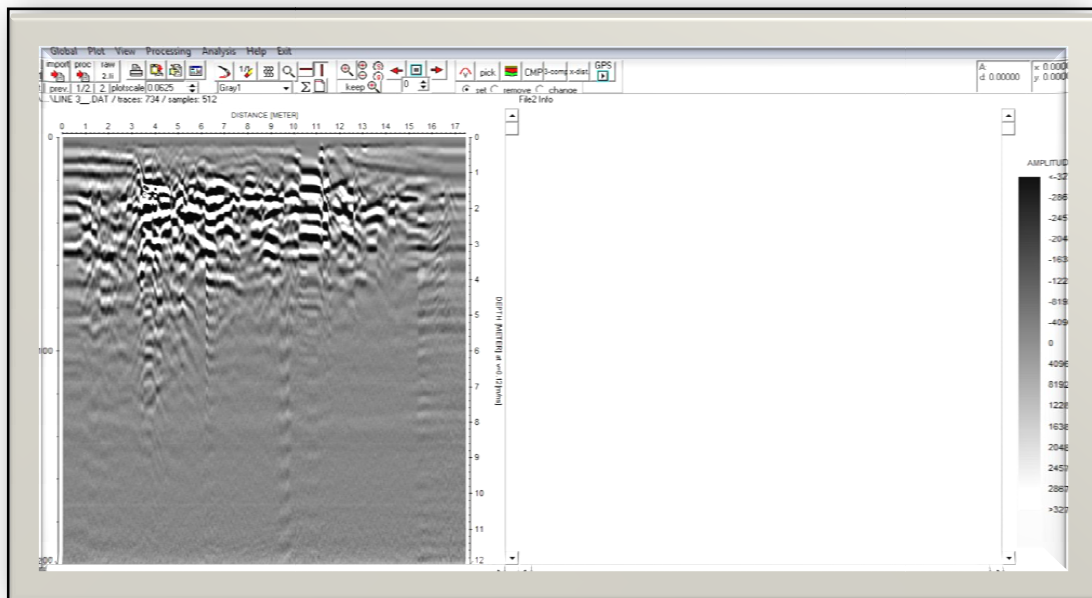
Gambar 4. 8 Menu utama *Software Reflexw*

2. Langkah selanjutnya memilih tab modul dan memilih submenu *2D-data-analysis*. Berikut adalah tampilan layar tersebut.



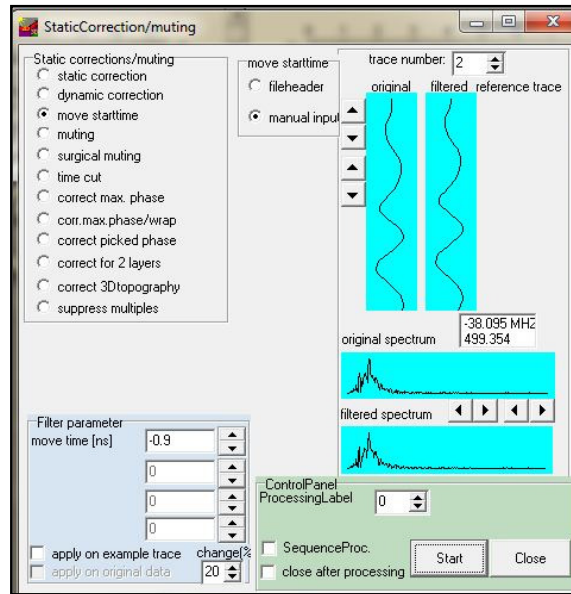
Gambar 4. 9 Tampilan *2D-data-Analysis*

3. Menampilkan radargram dengan cara memilih menu \rightarrow *file* \rightarrow *Open Rawdata*. Maka tampilan program akan seperti gambar dibawah ini. Pemilihan warna radargram dapat diubah untuk membedakan kontras amplitude agar lebih jelas. Gambar dibawah menampilkan penggunaan warna *Gray*.



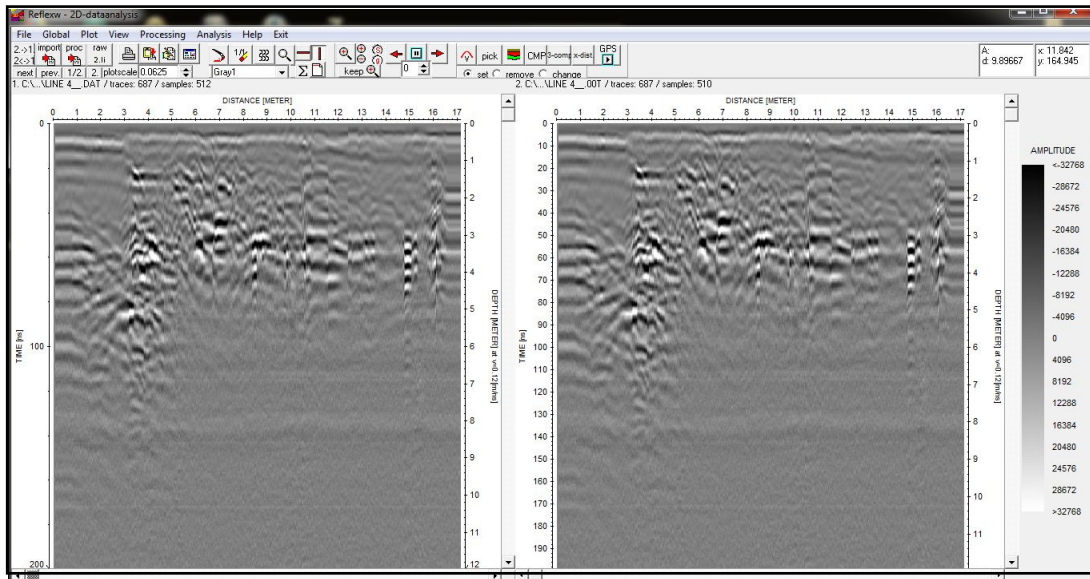
Gambar 4. 10 Tampilan Radargram dalam *Gray*

4. Langkah ini merupakan langkah awal dalam pengolahan radargram yang berada pada menu *processing* yaitu melakukan *static correction* digunakan untuk *move start time*. Koreksi ini bertujuan untuk mengembalikan tiba waktu gelombang pada lapisan pertama.



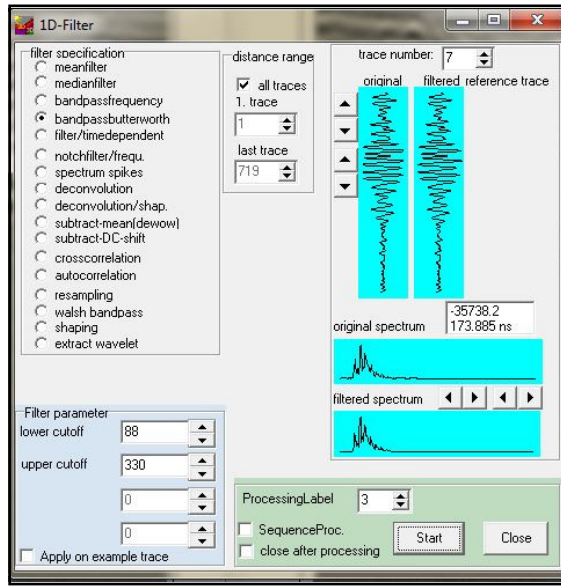
Gambar 4. 11 Tampilan menu *static correction*

Gambar diatas menunjukkan tampilan menu *static correction* yang proses tersebut akan mengasilkan perbedaan posisi awal gelombang yang kembali ke titik nol untuk memudahkan proses selanjutnya. Berikut gambar pengolahan *static correction*, gambar dibawah ini merupakan hasih dari pengolahan tersebut.

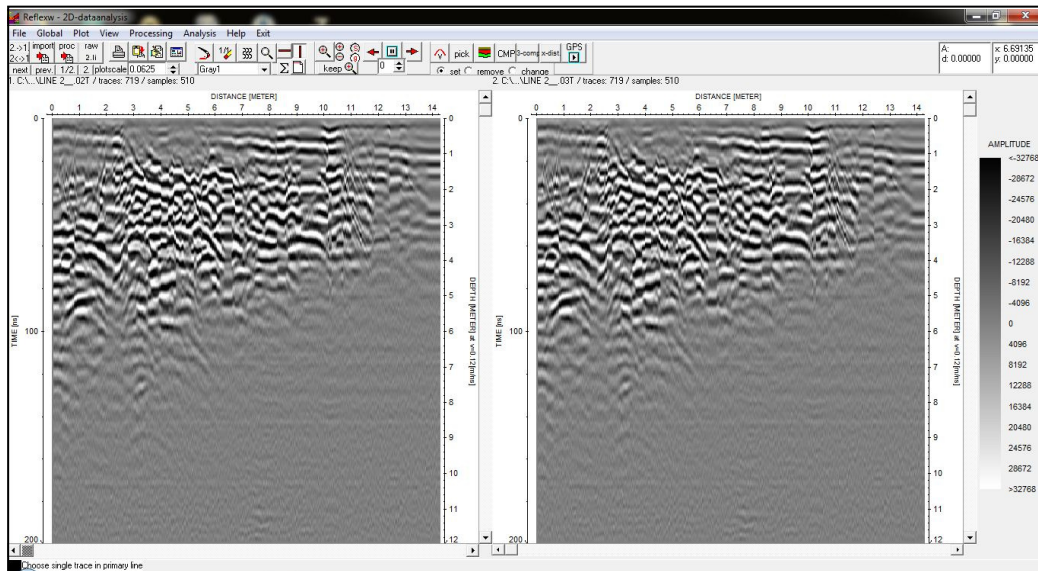


Gambar 4. 12 Tampilan hasil *static Correction*

5. *Bandpass Butterworth* merupakan salah satu proses pengolahan untuk menghilangkan frekuensi atau *noise* yang tidak diinginkan. Pengolahan ini untuk memfilter berdasarkan waktu penjaralan frekuensi yang diperlukan. Pada *filter* parameter menunjukkan nilai batas frekuensi yang akan dipotong. *Lower cutoff* adalah nilai batas bawah frekuensi yang akan dibatasi. *Upper cutoff* merupakan nilai batas atas frekuensi. Dari hasil pengolahan dapat dilihat *noise* yang beada di bawah *trace*.

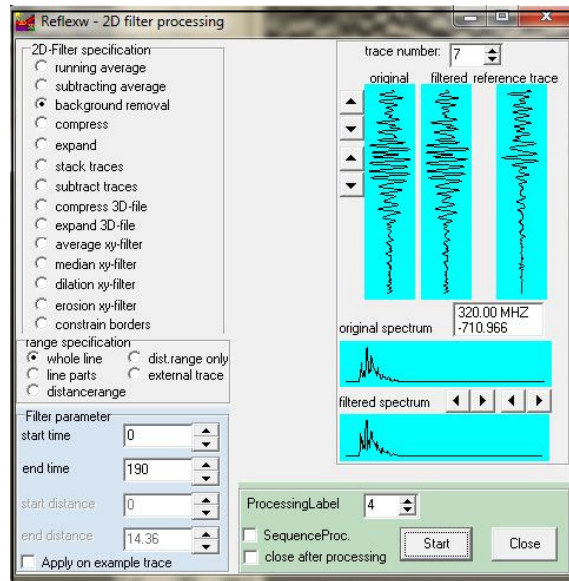


Gambar 4. 13 Tampilan jendela *Butterworth Bandpass*



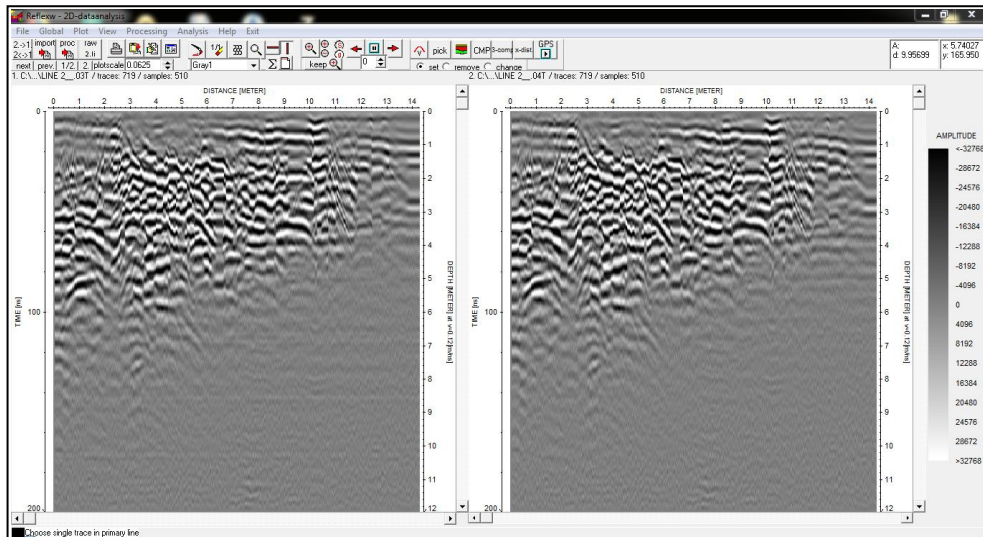
Gambar 4. 14 Tampilan setelah proses *bandpass butterworth*

6. *Background Removal* bertujuan untuk menghilangkan *noise* yang muncul dalam radargram secara konsisten sehingga *noise* ini dapat menutupi frekuensi yang sebenarnya dengan cara menghilangkan energi koheren horizontal. Berikut adalah tampilan jendela kerja.



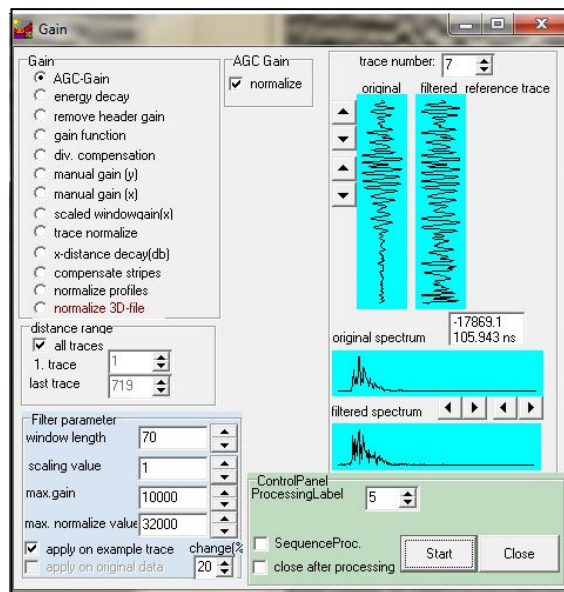
Gambar 4. 15 Tampilan jendela kerja *Background removal*

Pada jendela kerja diatas tidak ada parameter yang harus diubah karena sudah mewakili dengan apa yang diinginkan yaitu koreksi pada setiap radargram yang terekam, berikut adalah hasil dari *background removal*.



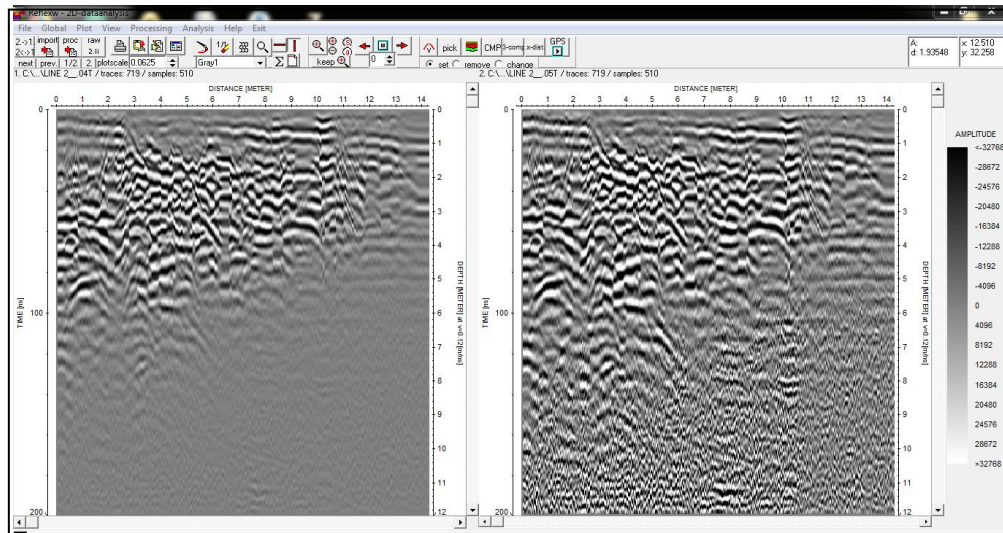
Gambar 4. 16 Tampilan setelah proses *Background removal*

7. Sinyal radar yang teratenuasi sangat cepat ketika menjalar kedalam permukaan bumi akibatnya sinyal pada kedalaman yang besar menjadi kecil, agar sinyal pada kedalaman yang besar sama dengan sinyal pada kedalaman yang dangkal maka diperlukan proses *automatic gain control (AGC) gain*.



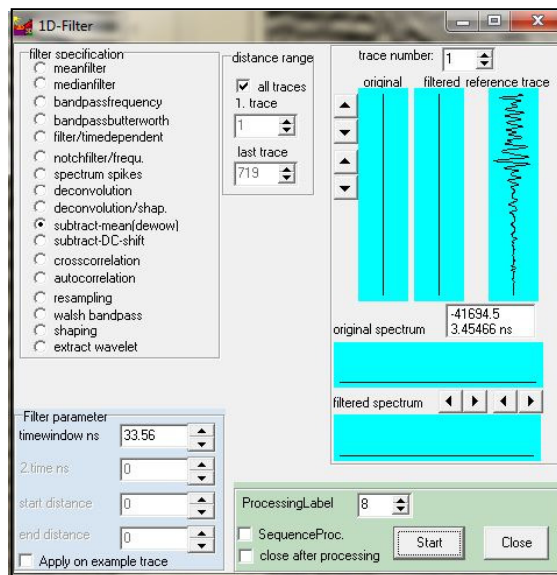
Gambar 4. 17 Tampilan jendela kerja AGC-Gain

Pada jendela kerja gain pilih AGC-gain dan masukkan nilai *window length*, hasil dari pengolahan AGC-gain yaitu seperti gambar dibawah ini.



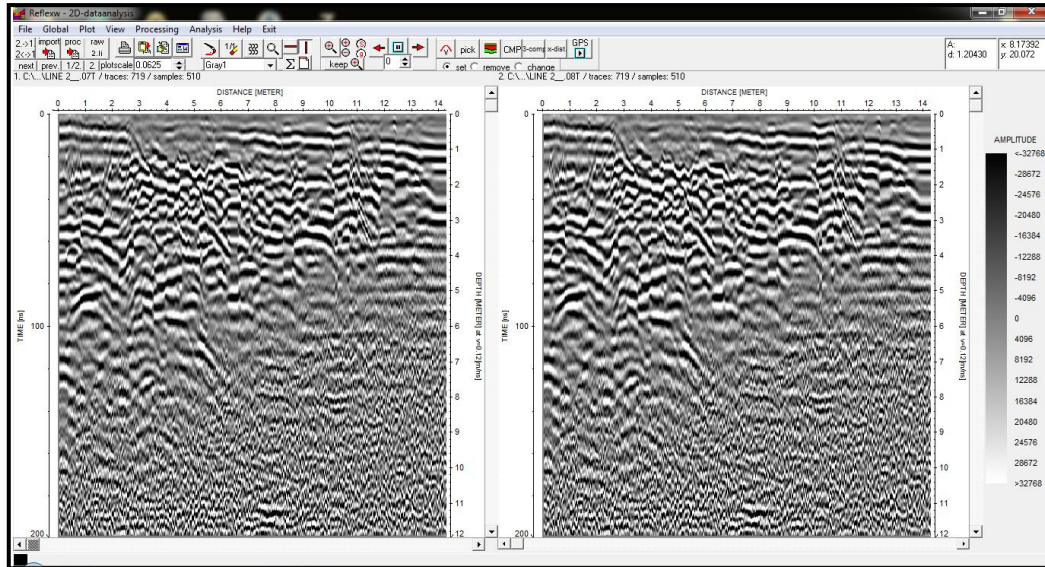
Gambar 4. 18 Tampilan setelah proses AGC-Gain

8. Tahapan pengolahan selanjutnya adalah *1D Filter- subtract mean* (dewow) yaitu langkah pengolahan yang bertujuan untuk menghilangkan frekuensi yang sangat rendah pada radargram yang disebabkan oleh instrumen elektronik yang tersaturasi oleh nilai amplitudo yang besar dari gelombang langsung (*direct wave*) dan gelombang udara.



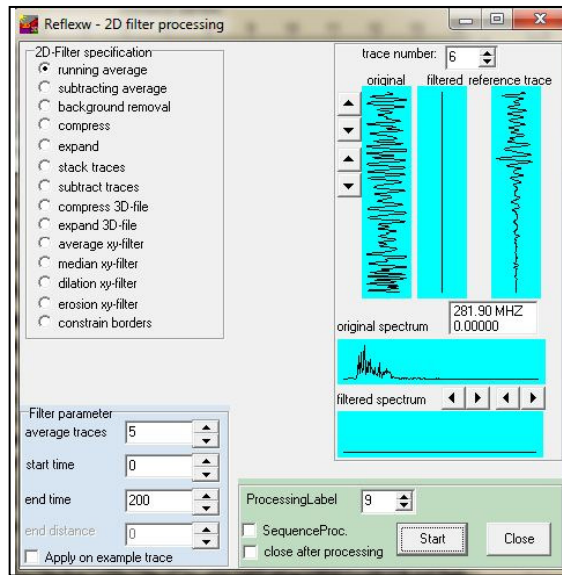
Gambar 4. 19 jendela kerja *1DFilter-subtract mean dewow*

Pada *filter* parameter *time window* di *input* dengan cara menurunkan dan menaikkan nilainya hingga pada bagian *filtered spectrum* dan *original spectrum* memiliki puncak frekuensi yang hampir sama dan amplitude yang tidak berbeda jauh. Gambar dibawah ini merupakan hasil dari pengolahan *substract mean* (*dewow*)



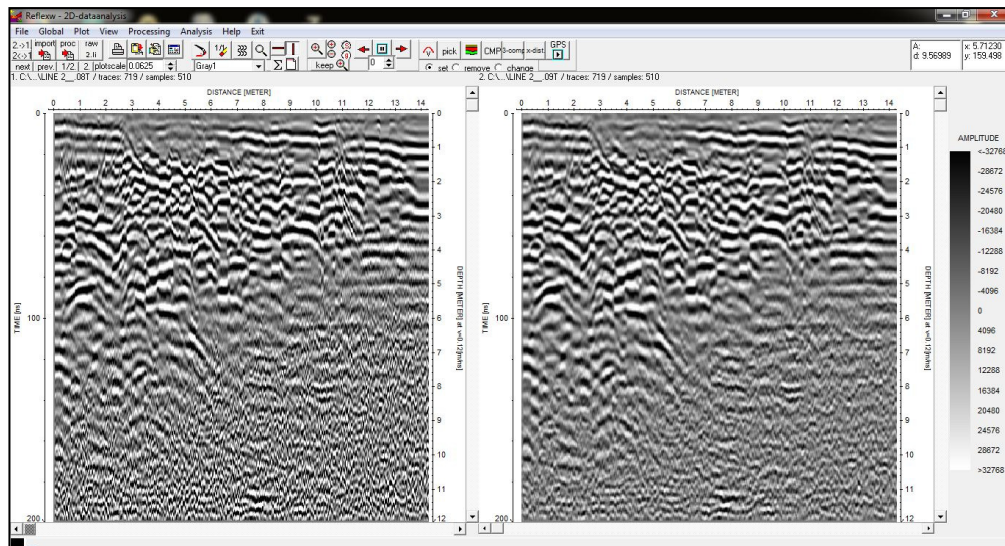
Gambar 4. 20 Tampilan setelah proses *1DFilter-substract mean dewow*

9. Pada pengolahan selanjutnya masuk pada menu *2D Filter* kemudian pilih *running average* yang berfungsi agar tampilan secara horisontal lebih smoothing dengan memasukkan angka *trace* nya, kemudian menambahkan *processing* label lalu pilih start maka tampilan radargram dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4. 21 Tampilan jendela kerja *running average*

Pada *filter* parameter *average traces* input nilai *trace*,semakin besar nilai *trace* maka tampilan gelombang semakin halus yaitu sesuai dengan fungsi pada proses ini yaitu menghaluskan tampilan gelombang secara horizontal. Hasil dari tahap pengolahan ini ditunjukkan pada gambar 4.18



Gambar 4. 22 Tampilan setelah proses *running average*

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Radargram

Jumlah radargram yang telah dilakukan pengolahan adalah sebanyak 23 lintasan yang terdiri dari 10 lintasan LNS dan 13 lintasan LWE. Lintasan LNS memiliki panjang lintasan 38 m dan lintasan LWE memiliki panjang lintasan 16 m dengan besar frekuensi 200 MHz dan dapat diperoleh kedalaman 11 m.

Radargram ini merupakan hasil dari respon gelombang elektromagnetik yang memperlihatkan kenampakan bawah permukaan, kenampakan ini merupakan hasil dari refleksi gelombang elektromagnetik dari kontak batas lapisan ataupun material. Selain batas, radargram menunjukkan besaran Amplitudo yang bernilai rentan positif (+) hingga negatif (-).

Radargram yang ditampilkan adalah radargram warna hitam dan putih. Warna putih menampilkan nilai amplitudo diatas +1, dan warna hitam menampilkan nilai amplitudo dibawah -1.

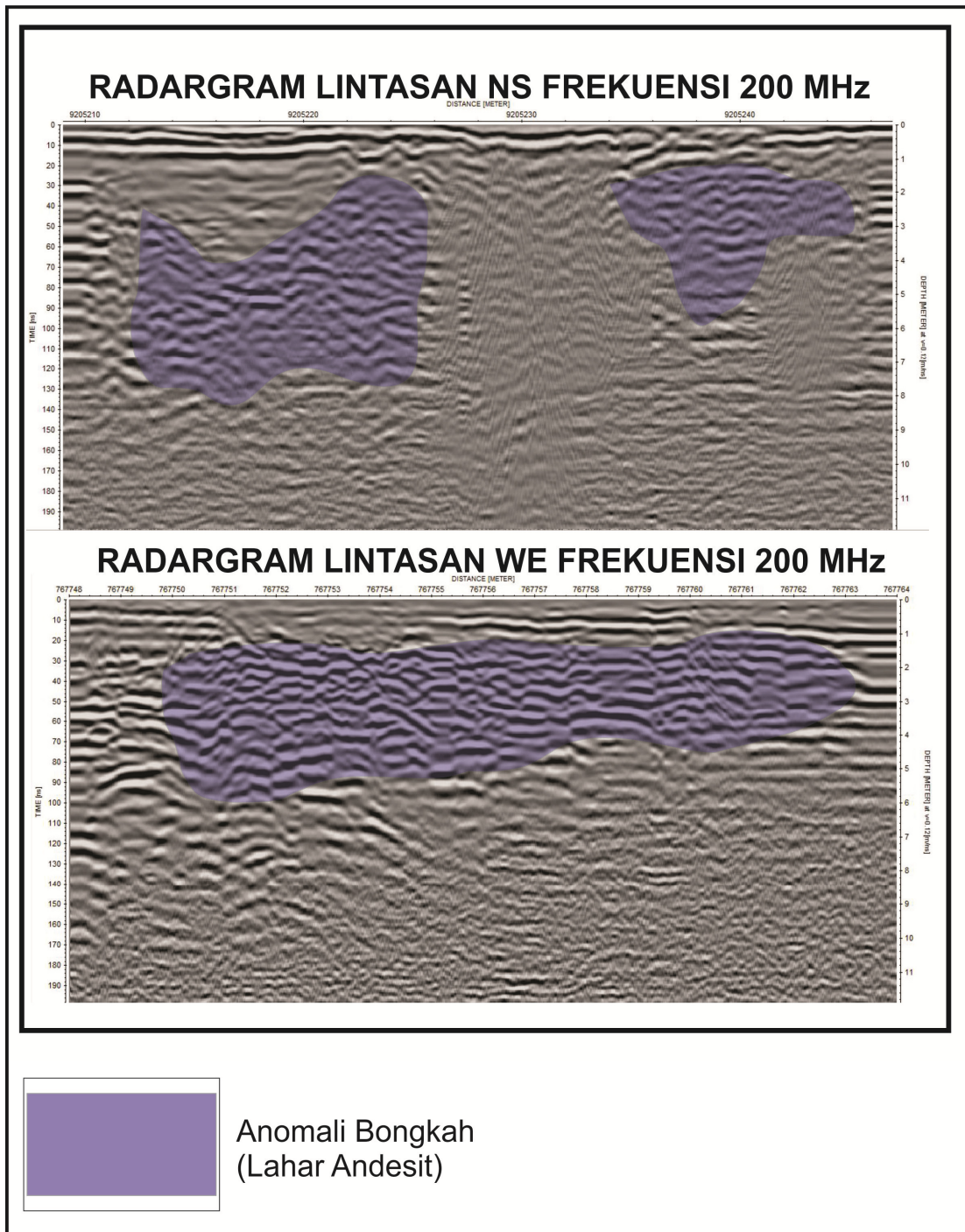
5.1.1 Radargram Hitam dan Putih Frekuensi 200 MHz

Radargram pada **Gambar 5.1** merupakan radargram hitam putih dengan frekuensi 200 MHz dan menggunakan nilai kecepatan batuan $v = 0.12$ m/ns. Penentuan kedalaman yang dihasilkan dari nilai kecepatan tersebut mempunyai kedalaman 11 m. Radargram frekuensi 200 MHz menggambarkan bawah permukaan daerah penelitian yang dangkal dan resolusi yang baik.

Pada radargram LWE difraksi ditampilkan dengan kotak berwarna biru. Kedalaman difraksi pada koordinat X 767750 hingga 767751 didapatkan kedalaman 2.5 m hingga 5 m, koordinat X 767752 hingga 767753 didapatkan kedalaman 5 m hingga 8 m, koordinat X 767754 hingga 767756 didapatkan kedalaman 2 hingga 5 m, koordinat 767758 hingga 767761 didapatkan kedalaman 1 m hingga 5 m. Pada

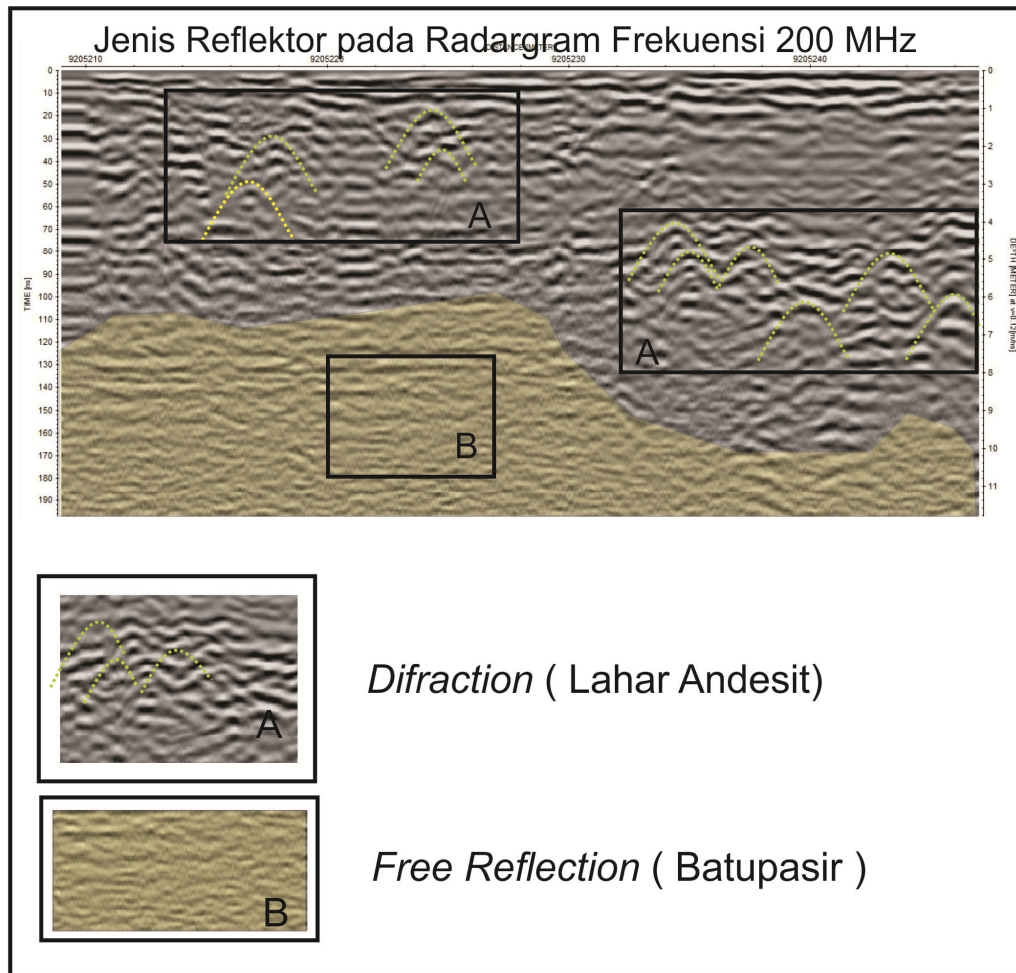
radargram tersebut gelombang yang terdifraksi mencirikan bongkah dengan penyebaran dari koordinat X 767750 hingga X 767761.

Radargram pada **Gambar 5.1** merupakan radargram hitam dan putih dengan frekuensi 200 MHz. Kedalaman yang dihasilkan mempunyai kedalaman 11 m. Pada Radargram LNS difraksi ditampilkan dengan kotak berwarna biru. Kedalaman difraksi pada koordinat Y 9205212 hingga 9205218 didapatkan kedalaman 3 m hingga 5 m, koordinat Y 9205214 hingga 9205218 didapatkan kedalaman 6 m hingga 8 m, koordinat Y 9205219 hingga 9205223 didapatkan kedalaman 2.5 hingga 3.5 m, koordinat Y 9205222 hingga 9205226 didapatkan kedalaman 4 m hingga 7 m, koordinat Y 9205234 hingga 9205240 didapatkan kedalaman 2 m hingga 5 m. Pada radargram tersebut gelombang yang terdifraksi mencirikan bongkah dengan penyebaran dari koordinat Y 9205212 hingga Y 9205226 dan koordinat Y 9205234 hingga 9205240.



Gambar 5. 1 Radargram Hitam Putih Frekuensi 200 MHz

5.1.2 Jenis Reflektor Bongkah dan Batupasir Radargram Frekuensi 200 MHz



Gambar 5. 2 Radargram Hitam Putih Frekuensi 200 MHz

Pada **Gambar 5.2** menjelaskan tipe reflektor pada anomali bongkah (lahar andesit) dan tanah keras daerah penelitian (batupasir). Reflektor dengan tipe A menjelaskan keadaan bawah permukaan dengan jenis *difraction*, terjadinya difraksi dikarenakan ketika gelombang elektromagnetik mengenai ujung atau puncak suatu bahan diskontinuitas dibawah permukaan memiliki perbedaan nilai permitivitas dengan batuan dasar disekitarnya. Tipe B menjelaskan keadaan bawah permukaan dengan jenis reflektor *free reflection* yang ditandai dengan gambar warna hijau, terjadi akibat adanya pengendapan batuan sedimen yang diengaruhi oleh gas atau air. Pada lokasi penelitian jenis reflektor *free reflection* disebabkan adanya batupasir yang terpengaruhi oleh air.

5.1.3. Radargram Lintasan NS Frekuensi 200MHz

Radargram hitam putih lintasan NS pada **Gambar 5.3** merupakan gabungan dari semua *line* NS dengan jumlah lintasan sebanyak 10 lintasan yang membentang dari arah utara – selatan dengan koordinat awal LNS1 X 767746 dan Y 9205247, LNS1' X 767746 dan Y 9205209, koordinat lintasan akhir LNS10 X 767764 dan Y 9205247, LNS10' X 767764 dan Y 9205209 dengan jarak setiap lintasan 2 m. Pada radargram tersebut menjelaskan reflektor dari setiap lintasan dan menjelaskan bagaimana keadaan secara fisik dan menghasilkan interpretasi bawah permukaan (Budiono, 2013). Warna biru pada **Gambar 5.3** menjelaskan tipe reflektor anomali bongkah yang tersebar pada penampang radargram lintasan LNS, kedalaman anomali bongkah pada lintasan LNS mempunyai kedalaman yang berbeda beda pada setiap penampangnya seperti **Tabel 5.1**.

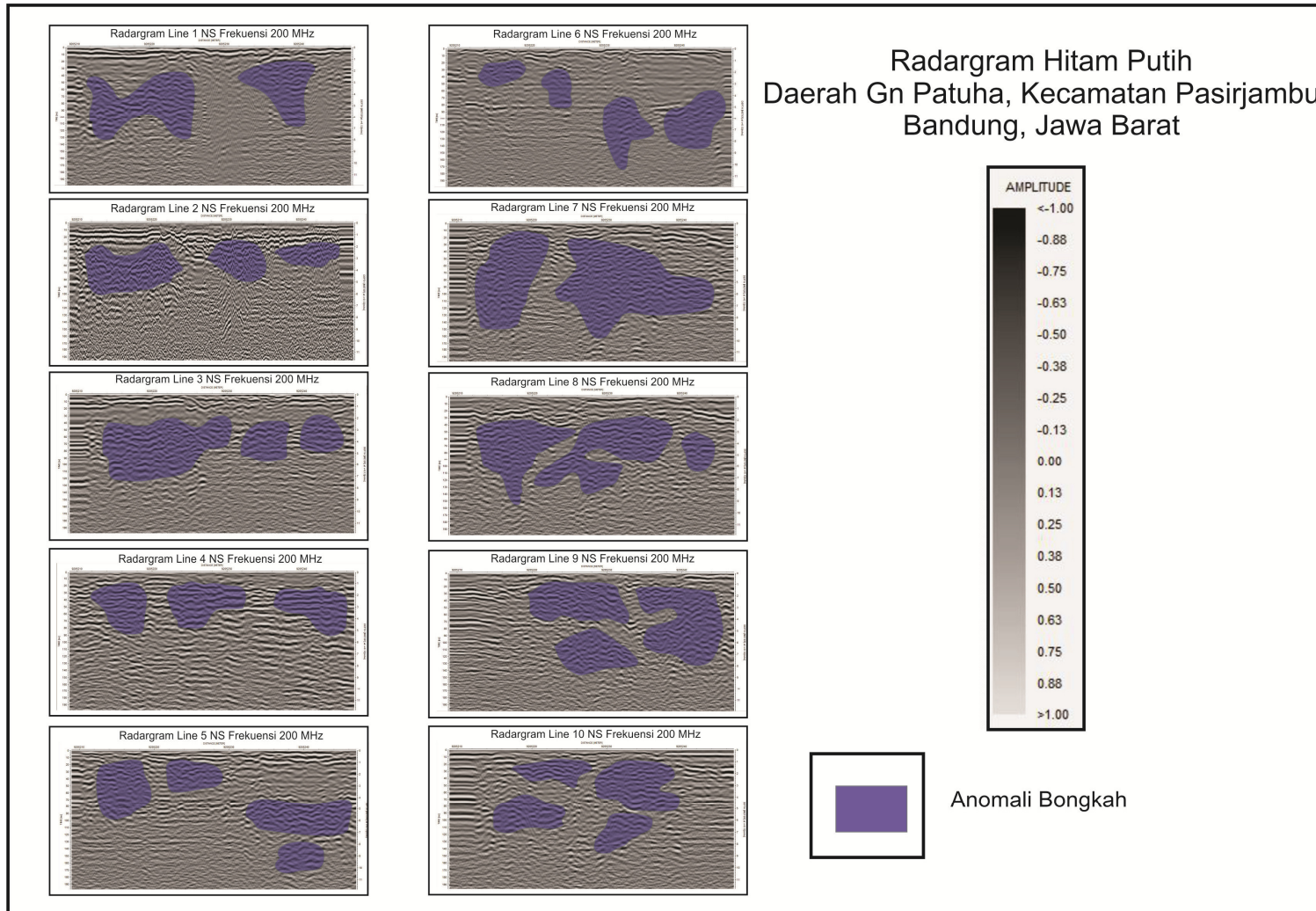
Proses *stacking* dilakukan untuk mengetahui penyebaran bongkah lapangan patuha **Gambar 5.4**. Jika dilihat dari gambar diatas penyebaran bongkah lintasan NS 1 sampai 10 yang menunjukkan penyebaran bongkah disetiap lintasan yang ditunjukkan dengan garis warna merah. Penyebaran seperti gambar diatas merata pada setiap lintasan dan kedalaman rata rata yang dihasilkan disetiap lintasan adalah 2.6 meter. *Stacking* pada **Gambar 5.4** melakukan penarikan anomali bongkah dari arah barat ke timur dikarenakan lintasan NS membentang dari arah selatan ke utara. Kedalaman soil didapatkan kedalaman rata-rata 0.6 meter dan batuan dasar penyusun lapangan patuha didapatkan hasil batuan pasir.

Radargram 200 MHz menggambarkan daerah penelitian yang dangkal dan resolusi yang baik dengan kedalaman yang dihasilkan dari semua penampang sebesar 11 m. Pada radargram didapatkan penyebaran difraksi disetiap lintasannya yang dapat diidentifikasi sebagai bongkah, berikut adalah tabel kedalaman bongkah lintasan NS:

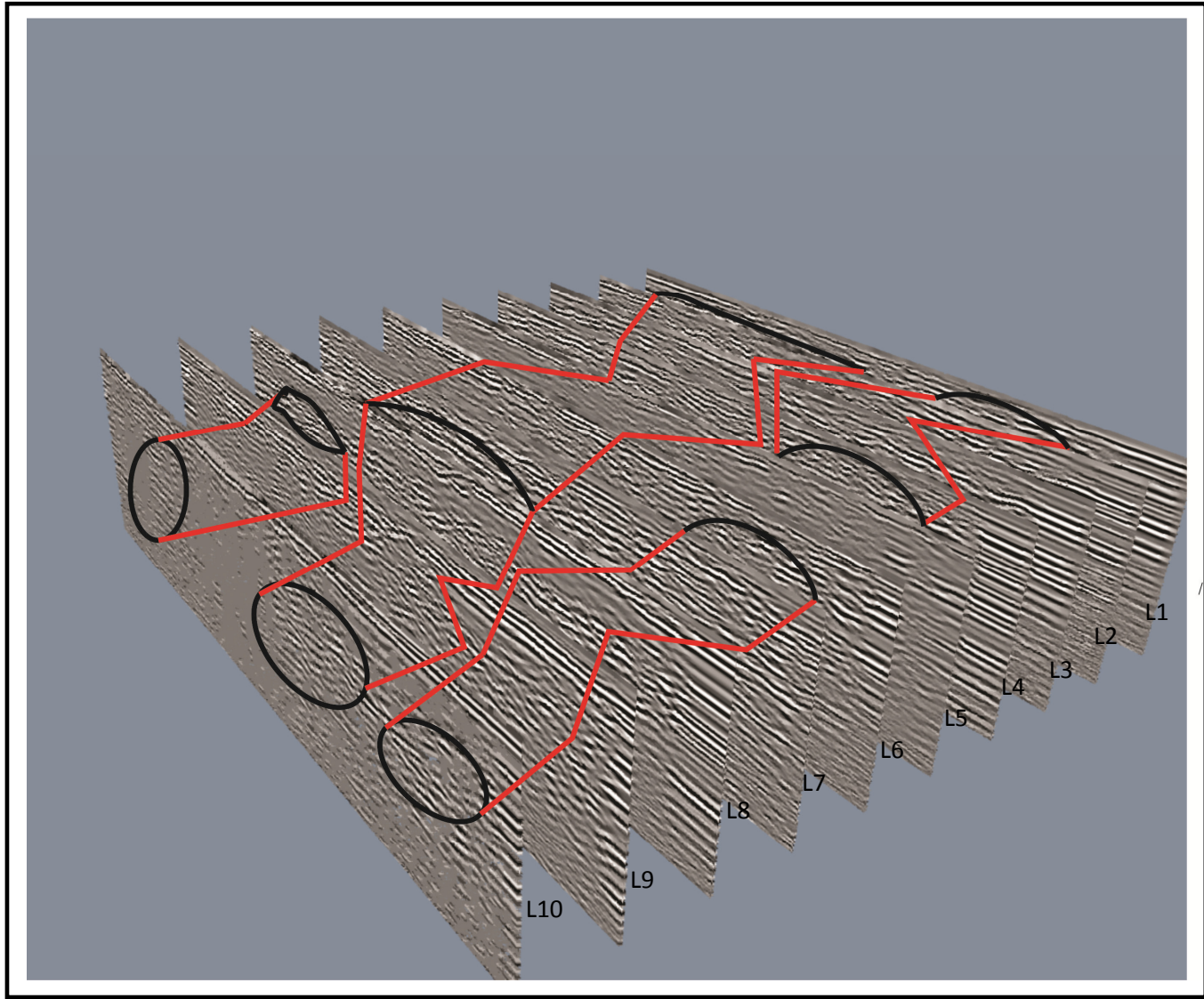
Hasil dari analisa radargram *line* NS didapatkan beberapa titik kedalam bongkah pada setiap radargram. Berikut adalah tabel dari hasil analisa bongkah menurut radargram *line* NS :

Tabel 5. 1 Tabel kedalaman lintasan NS

Line NS	Y	Z (meter)	Keterangan
1	9205212 - 9205218	3.7 - 6	Bongkah
	9205214 - 9205218	6.5 - 8.2	Bongkah
	9205220 - 9205226	1.8 - 6.5	Bongkah
	9205234 - 9205242	1 - 4.8	Bongkah
2	9205212 - 9205218	1.5 - 5	Bongkah
	9205220 - 9205224	1.5 - 5	Bongkah
	9205230 - 9205234	1 - 4.8	Bongkah
	9205240 - 9205244	0.6 - 2.8	Bongkah
3	9205214 - 9205218	3 - 5.5	Bongkah
	9205214 - 9205224	5.5 - 7.8	Bongkah
	9205222 - 9205231	2.2 - 4.8	Bongkah
	9205232 - 9205238	2.5 - 5	Bongkah
	9205242 - 9205244	2.5 - 5	Bongkah
4	9205211 - 9205220	0.8 - 4.5	Bongkah
	9205222 - 9205219	1.2 - 5.2	Bongkah
	9205238 - 9205244	1.2 - 4.2	Bongkah
5	9205214 - 9205218	2.5 - 5	Bongkah
	9205222 - 9205228	0.8 - 3	Bongkah
	9205232 - 9205246	4.2 - 7.5	Bongkah
	9205237 - 9205242	8 - 10.2	Bongkah
6	9205232 - 9205236	4.1 - 7	Bongkah
	9205238 - 9205245	4.2 - 8.4	Bongkah
Line NS	Y	Z (meter)	Keterangan
7	9205216 - 9205221	1.2 - 3.8	Bongkah
	9205213 - 9205218	4.8 - 8.2	Bongkah
	9205224 - 9205230	1.8 - 4.2	Bongkah
	9205234 - 9205240	1.8 - 5.4	Bongkah
	9205228 - 9205234	6 - 8.2	Bongkah
	9205228 - 9205238	9.5 - 11	Bongkah
8	9205214 - 9205218	1.6 - 5.2	Bongkah
	9205221 - 9205226	1.5 - 4.2	Bongkah
	9205232 - 9205238	2.4 - 5.5	Bongkah
	9205228 - 9205232	6 - 8.5	Bongkah
	9205240 - 9205243	3.8 - 6.2	Bongkah
9	9205224 - 9205231	1.2 - 3.8	Bongkah
	9205224 - 9205234	5.4 - 8.4	Bongkah
	9205232 - 9205244	1.4 - 4.4	Bongkah
	9205236 - 9205240	4.8 - 6.5	Bongkah
	9205241 - 9205245	4.5 - 8	Bongkah
10	9205216 - 9205223	4.2 - 7	Bongkah
	9205221 - 9205227	1.1 - 3.2	Bongkah
	9205233 - 9205240	1.4 - 5.1	Bongkah
	9205231 - 9205236	5.8 - 7	Bongkah



Gambar 5. 3 Radargram Hitam Putih Lintasan NS Frekuensi 200 MHz



Gambar 5. 4 *Stacking* Radargram Hitam Putih Lintasan NS Frekuensi 200 MHz.

5.1.4. Radargram Lintasan WE Frekuensi 200MHz

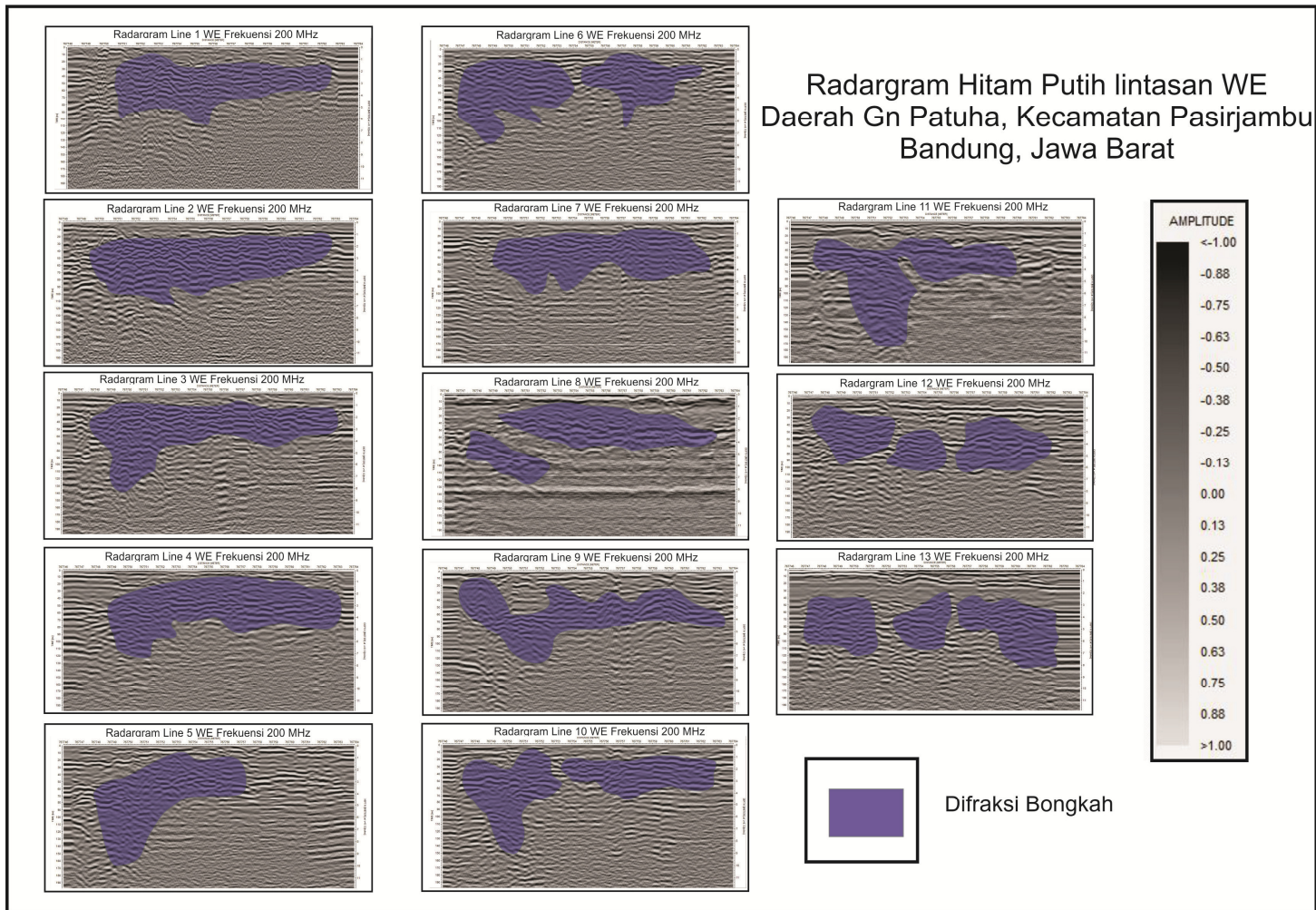
Radargram hitam putih lintasan WE pada **Gambar 5.5** merupakan gabungan dari semua *line* WE yang membentang dari arah barat - timur dengan koordinat awal LWE1 X 767748 dan Y 9205247, LWE1' X 767764 dan Y 9205247, koordinat lintasan akhir LWE13 X 767746 dan Y 9205209, LWE13' X 767764 dan Y 9205209 dengan jarak setiap lintasan 3 m. Pada radargram tersebut menjelaskan reflektor dari setiap lintasan dan menjelaskan bagaimana keadaan secara fisik dan menghasilkan interpretasi bawah permukaan (Budiono, 2013). Warna biru pada **Gambar 5.5** menjelaskan tipe reflektor anomali bongkah yang tersebar pada penampang radargram lintasan LWE, kedalaman anomali bongkah pada lintasan LWE mempunyai kedalaman yang berbeda beda pada setiap penampangnya seperti **Tabel 5.2**.

Proses *stacking* dilakukan untuk mengetahui penyebaran bongkah lapangan patuha **Gambar 5.6**. Jika dilihat dari gambar diatas penyebaran bongkah lintasan WE 1 sampai 10 yang menunjukkan penyebaran bongkah disetiap lintasan yang ditunjukkan dengan garis warna merah. Penyebaran seperti gambar diatas merata pada setiap lintasan dengan proses dan kedalaman rata rata yang dihasilkan disetiap lintasan adalah 2.6 meter. Stacking pada **Gambar 5.6** melakukan penarikan anomali bongkah dari arah selatan ke utara dikarenakan lintasan WE membentang dari arah barat ke timur Untuk kedalaman soil didapatkan kedalaman rata-rata 0.6 meter dan batuan dasar penyusun lapangan patuha didapatkan hasil batuan pasir.

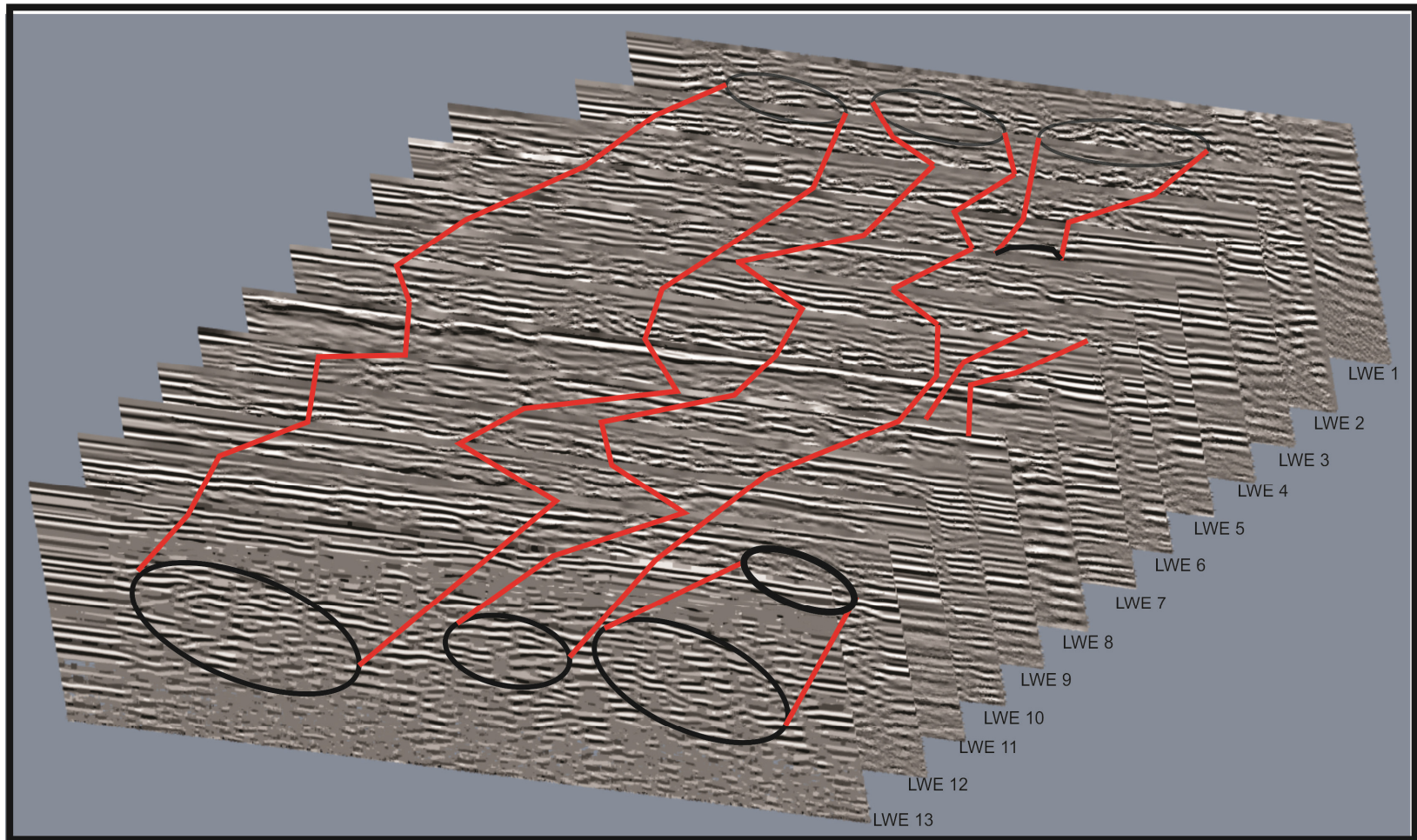
Radargram 200 MHz menggambarkan daerah penelitian yang dangkal dan resolusi yang baik dengan kedalaman yang dihasilkan dari semua penampang sebesar 11 m. Pada radargram didapatkan penyebaran difraksi disetiap lintasannya yang dapat diidentifikasi sebagai bongkah, berikut adalah tabel kedalaman bongkah lintasan WE:

Tabel 5. 2 Tabel kedalaman lintasan WE

Line WE	X	Z (meter)	Keterangan
1	767750.2 - 767752.6	1.9 - 4.8	Bongkah
	767753.6 - 767756.4	1.9 - 5.2	Bongkah
	767758.2 - 767761.2	1.4 - 4.8	Bongkah
2	767751 - 767754.6	1.2 - 5.2	Bongkah
	767755.2 - 767760	1.2 - 4.5	Bongkah
	767760.4 - 767763	1.8 - 4.6	Bongkah
3	767749.1 - 767753	1.2 - 7.8	Bongkah
	767754.2 - 767756.6	1.4 - 3.8	Bongkah
	767758.2 - 767761.8	0.8 - 3.8	Bongkah
4	767749.2 - 767752	2 - 7.1	Bongkah
	767754 - 767757	1.2 - 4.4	Bongkah
	767761 - 767763.1	1 - 4.1	Bongkah
5	767747.6 - 767752	2 - 6.1	Bongkah
	767752.8 - 767756.4	0.8 - 3.5	Bongkah
6	767748.4 - 767752.4	0.6 - 3.8	Bongkah
	767754.6 - 767759.2	0.8 - 4	Bongkah
7	767750.2 - 767753	3 - 5.8	Bongkah
	767754 - 767758.4	1 - 3.1	Bongkah
	767757.6 - 7677589.2	3.2 - 5	Bongkah
	767760 - 767763	1.1 - 4.6	Bongkah
8	767747.6 - 767751.2	3.6 - 6.8	Bongkah
	767752 - 767756.2	0.8 - 5	Bongkah
	767757.8 - 767761	1.4 - 4.8	Bongkah
Line WE	X	Z (meter)	Keterangan
9	767747.6 - 767751.9	0.4 - 4.1	Bongkah
	767749 - 767751.4	4.6 - 7	Bongkah
	767752.8 - 767755	1 - 3.4	Bongkah
	767756 - 767758	1.4 - 4	Bongkah
	767759 - 767761.6	1.1 - 4	Bongkah
10	767740.4 - 767751	6.6 - 8.7	Bongkah
	767749 - 767752	2.4 - 4.4	Bongkah
	767756 - 767759	0.9 - 3.8	Bongkah
11	767748.2 - 767751.4	2.2 - 4.8	Bongkah
	767751.4 - 767754.5	5.2 - 8.5	Bongkah
	767752.8 - 767755.2	2.4 - 4	Bongkah
	767757.4 - 767761.4	1.8 - 4.9	Bongkah
12	767746.4 - 767749.6	0.8 - 3.2	Bongkah
	767751 - 767753.3	0.8 - 4	Bongkah
	767755 - 767757.4	0.8 - 3.4	Bongkah
	767758.6 - 767762	2.4 - 4.8	Bongkah
13	767747 - 767748.4	5.8 - 10.3	Bongkah
	767748 - 7677551.4	2.7 - 5	Bongkah
	767749.4 - 767753.4	5.8 - 9	Bongkah
	767754.2 - 767757.3	1.8 - 4.2	Bongkah
	767754.2 - 767759.8	5.4 - 7.2	Bongkah



Gambar 5. 5 Radargram Hitam Putih Lintasan WE Frekuensi 200 MHz

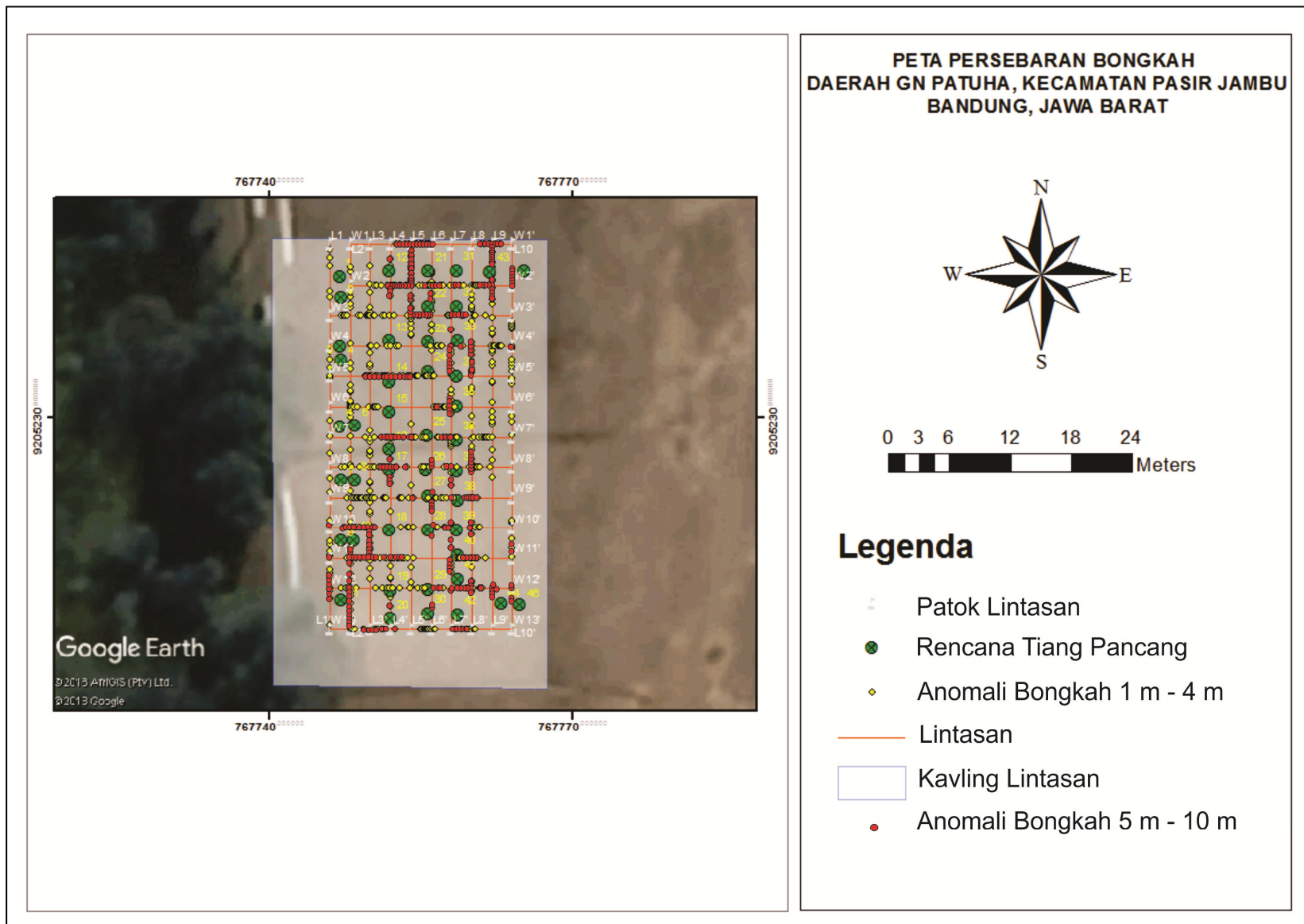


Gambar 5. 6 *Stacking Radargram Hitam Putih Lintasan WE Frekuensi 200 MHz*

5.2. Penyebaran Bongkah kawasan Gn Patuha

Pembangunan infrastruktur pada PLTA Gn patuha menjadi sebuah ciri kemajuan di daerah tersebut. Dalam pembangunan ini didapatkan hambatan untuk pemasangan sebuah tiang pancang yang diakibatkan oleh adanya persebaran bongkah di dalam permukaan daerah penelitian. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* dengan metode *Grid* dalam pengambilan data radargram. Untuk mendapatkan pola penyebaran bongkah penelitian ini mengambil data sebanyak 23 lintasan yang terdiri dari LNS sebanyak 10 lintasan, dan lintasan LWE sebanyak 13 lintasan serta perencanaan akan di pasang tiang pancang sebanyak 46 tiang dengan panjang 9 m. Persebaran bongkah pada kawasan patuha dapat di interpretasikan dalam **Gambar 5.7** dengan persebaran bongkah hampir berada pada setiap lintasan. Pembuatan peta persebaran bongkah menggunakan *software arcgis* dimana data yang di input kedalam *software arcgis* hasil dari *picking data* dari *software reflexw*.

Peta persebaran bongkah **Gambar 5.7** menggambarkan kondisi lapangan daerah penelitian. Pada peta tersebut titik warna kuning menjelaskan anomali bongkah dengan kedalaman 1 meter hingga 4 meter, dan titik warna merah menjelaskan anomali bongkah dengan kedalaman 5 meter hingga 10 meter. PLTP Patuha *unit 2* akan terhambat proses pembangunannya dikarenakan adanya sebaran anomali bongkah yang tersebar secara menyeluruh pada setiap rencana pemasangan tiang pancang dengan kedalaman bongkah seperti **tabel 5.3**. Pada perencanaan pemasangan tiang pancang dengan jumlah 46 tiang didapatkan kedalaman anomali bongkah yang rata rata mempunyai kedalaman 2 meter hingga 8 meter yang tersebar secara merata pada kawasan PLTP patuha *unit 2* yang akan dilakukan pembangunan infrastruktur.



Gambar 5. 7 Peta persebaran Bongkah kawasan Gn Patuh menggunakan *Software Arcgis*

Tabel 5. 3 Tabel kedalaman anomali bongkah pada rencana pemasangan tiang pancang

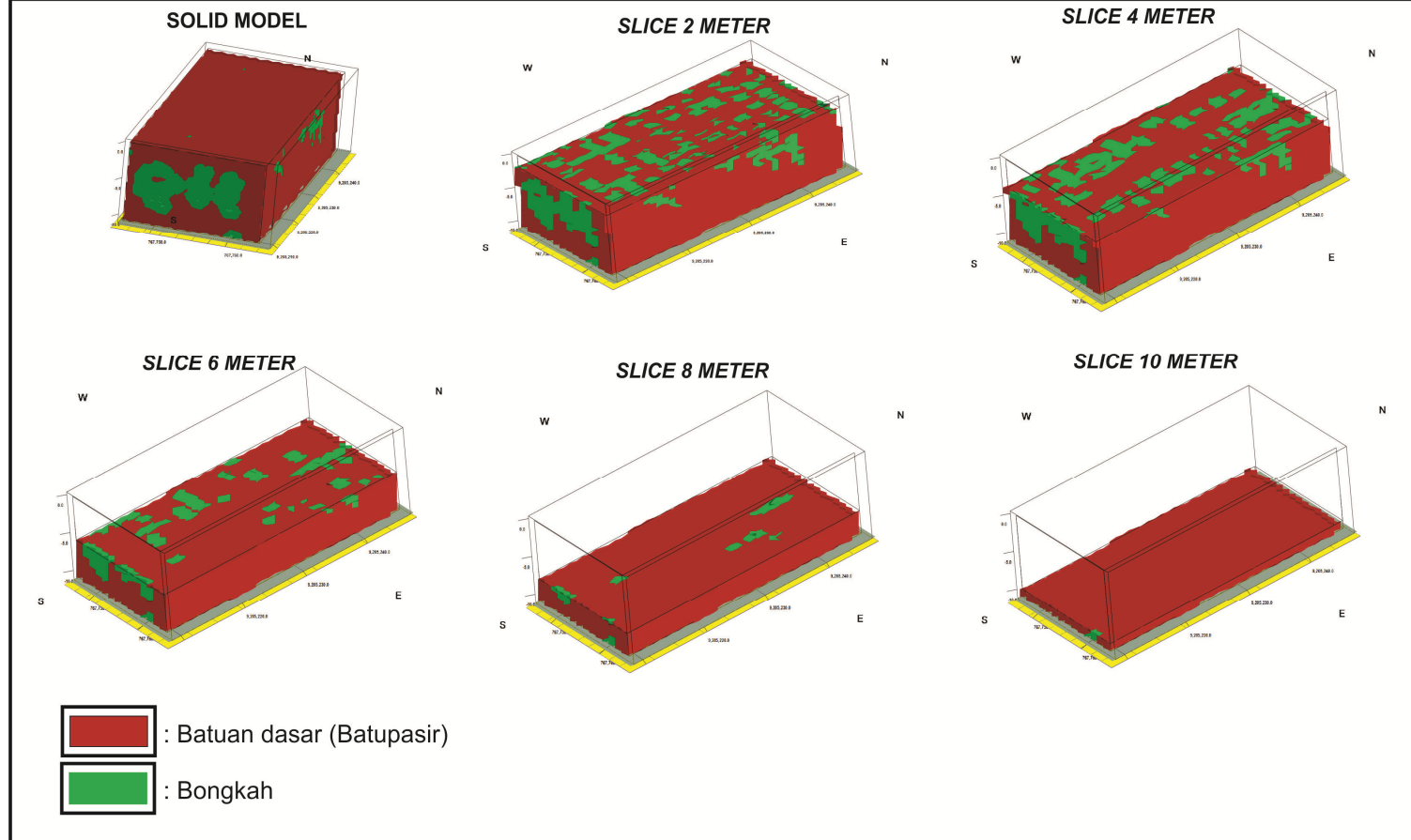
Tiang Pancang(TP)	Kedalaman Bongkah (meter)	Tiang Pancang(TP)	Kedalaman Bongkah (meter)	Tiang Pancang(TP)	Kedalaman Bongkah (meter)	Tiang Pancang(TP)	Kedalaman Bongkah (meter)
1	1.4 m - 2.1 m	14	0.6 m - 2.9 m	27	1.5 m - 4.4 m	40	2 m - 4.9 m
			5.8 m - 7.2 m		5.2 - 10 m		5 m - 8 m
2	1.3 m - 2.9 m	15	1.3 m - 2.5 m	28	1.4 m - 4.3 m	41	3 m - 4.2 m
					5 m - 8 m		5 m - 7.9 m
3	1.4 m - 3.5 m	16	1.5 m - 3.4 m	29	1 m - 4 m	42	5 m - 8.7 m
			5 m - 7 m		5 m - 8 m		
4	0.7 m - 3.5 m	17	5.1 m - 7 m	30	2.1 m - 4.9 m	43	1 m - 4 m
					5 m - 8 m		5 m - 6 m
5	1.2 m - 4.1 m	18	1.4 m - 3.6 m	31	1 m - 4 m	44	2 m - 4.9 m
					5 m - 9 m		5 m - 8.2 m
6	0.9 m - 4.1 m	19	0.6 m - 3.4 m	32	1 m - 4.9 m	45	1 m - 4 m
					5 m - 9 m		5 m - 8 m
7	1.6 m - 3.7 m	20	2 m - 4.1 m	33	3.3 m - 4.9 m	46	5 m - 9.7 m
			5 m - 8 m		5 m - 8 m		
8	1 m - 2.4 m	21	1.2 m - 3.8 m	34	1 m - 3 m	47	5 m - 10 m
			5 m - 8 m		5 m - 10 m		
9	0.7 m - 3.4 m	22	1 m - 4.5 m	35	1 m - 2.3 m	48	5 m - 9.8 m
	5.2 m - 8.1 m		5 m - 7.9 m				
10	1.2 m - 2.9 m	23	1 m - 3.5 m	36	1 m - 4.9 m	49	5 m - 10 m
	5.6 m - 8.7 m				5 m - 10 m		
11	3.4 m - 4.7 m	24	1 m - 4 m	37	2.5 m - 4.5 m	50	5 m - 10 m
	6.2 m - 9.4 m				5 m - 10 m		
12	2.3 m - 4.4 m	25	1 m - 3.5 m	38	2.1 m - 3.7 m	51	5 m - 8 m
	5.1 m - 8 m				5 m - 8 m		
13	2.7 m - 3.1 m	26	1.7 m - 3.9 m	39	1 m - 4.9 m	52	5 m - 10 m
			5.2 m - 10 m		5 m - 10 m		

5.3. 3D Modelling lapangan Patuha

Pengolahan model 3D lapangan patuha untuk menggambarkan bawah permukaan secara vertikal dan horizontal. Pemodelan ini diolah menggunakan software *Rockwork 16*. Dalam hasil dari pengolahan tersebut diperoleh gambar 3D yang memvisualisasikan keadaan bawah permukaan dan target yang dicari serta untuk merencanakan pemasangan tiang pancang untuk menunjang pembangunan infrastruktur. Dari pengolahan model 3D didapatkan dua hasil model visualisasi diantaranya model 3D *solid* **Gambar 5.8** dan Model penyebaran 3D bongkah rencana pemasangan tiang pancang **Gambar 5.9**. Setiap model menampilkan hasil yang berbeda untuk menampilkan hasil yang lebih representatif.

Pemodelan ini didapatkan dari hasil pengolahan menggunakan *software Rockwork 16* Dalam Penentuan kedalaman batuan tersebut didapatkan hasil dari *ploting software reflex* yang didapatkan X,Y,Z target batuan yang di cari.

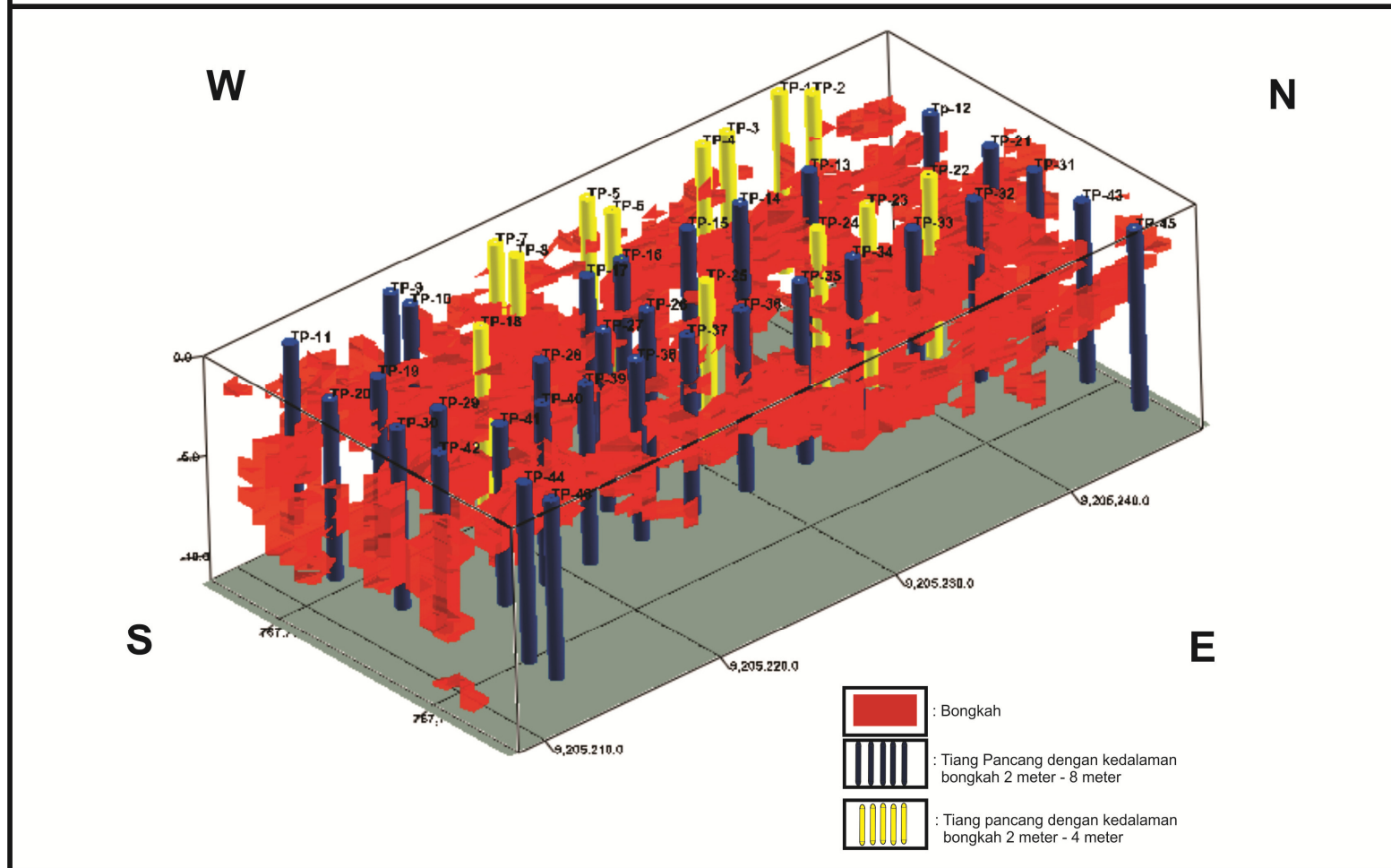
MODEL 3D LAPANGAN PATUHA



Gambar 5.8 Solid Model 3D lapangan Patuha

Model diatas **Gambar 5.8** menampilkan visualisasi 3D lapangan patuha yang direncanakan untuk pemasangan tiang pancang. Model dengan warna merah menunjukkan tanah keras yaitu batu pasir dan warna hijau menunjukkan anomali bongkah . Dilihat pada model diatas dilakukan slice secara vertikal, untuk *slice* 2 meter didapatkan anomali bongkah dengan penyebaran merata disetiap lintasan. Untuk *slice* 4 meter didapatkan anomali bongkah dengan penyebaran yang mulai menghilang pada setiap lintasannya, arah utara dan selatan masih didapatkan penyebaran anomali bongkah, arah timur dan barat masih didapati anomali bongkah, dan pada bagian tengah model persebaran anomali mulai menghilang penyebarannya. *Slice* 6 menunjukkan anomali bongkah yang mulai menghilang persebarannya, dapat dilihat dari model 3D diatas persebarannya mulai hilang dari arah tenggara hingga ke timur, arah utara dan selatan dengan *slice* 6 meter masih didapatkan penyebaran anomali bongkah yang mulai menghilang, arah barat masih terlihat penyebaran anomali bongkah. *Slice* 8 meter mulai menunjukkan menghilangnya penyebaran anomali bongkah, jika dilihat pada gambar diatas anomali bongkah hanya terlihat sedikit penyebarannya dan ditemukan pada arah utara dan selatan model tersebut. *slice* 10 meter tidak dilihat penyebaran dari anomali bongkah lagi.

3D MODEL PENYEBARAN BONGKAH LAPANGAN PATUHA



Gambar 5. 9 3D Model penyebaran bongkah rencana pemasangan tiang pancang

Pada model diatas **Gambar 5.9** merupakan penggambaran penyebaran anomali bongkah secara 3D pada setiap tiang pancang yang akan dilakukan pemasangan untuk membangun Unit 2 PLTA patuha. Warna merah menunjukkan sebaran anomali bongkah yang mempunyai persebaran sangat meluas pada model 3D seperti gambar diatas dan adanya persebaran anomali bongkah tersebut sangat menghambat dalam proses pembangunan infrastruktur pada kawasan patuha. Model diatas menunjukkan kelayakan dan tidak layak dalam pemasangan tiang pancang dikarenakan adanya anomali bongkah hamper disetiap kedalaman tiang pancang yang akan dipasang.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Dari penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Didapatkan jenis tanah keras pada daerah penelitian yaitu batupasir yang berdasarkan tipe reflektor *free reflection* serta hasil *compere* dengan peta geologi lokal daerah Sindangbarang. Pola *free reflection* pada batupasir dipengaruhi oleh adanya air, dikarenakan pada saat pengambilan data di daerah penelitian terjadi hujan. Anomali Bongkah (lahar andesit) berdasarkan ciri dari radargram mempunyai pola reflektor difraksi, dikarenakan ketika gelombang elektromagnetik mengenai ujung atau puncak suatu bahan diskontinuitas dibawah permukaan memiliki perbedaan nilai permitivitas dengan tanah keras disekitarnya.
2. Didapatkan kedalaman bongkah (lahar andesit) pada semua lintasan dari LNS dan LWE dengan kedalaman minimum 0.6 meter dan kedalaman maksimum 10.3 m. Rata-rata kedalaman bongkah pada semua lintasan mempunyai kedalaman 2 meter hingga 4 meter dan 5 meter hingga 8 meter.
3. Didapatkan anomali bongkah pada perencanaan posisi tiang pancang dengan rata rata kedalaman 2 meter hingga 8 meter yang tersebar secara merata di kawasan PLTP patuha *unit 2*, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian tersebut tidak layak untuk dilakukan pembangunan infrastruktur, dikarenakan adanya anomali bongkah yang tersebar secara merata hingga kedalaman 8 meter.

6.2. Saran

Pemasangan tiang pancang dapat dilakukan di lokasi penelitian dengan cara ekskavasi hingga 9 meter agar tiang pancang dengan tinggi 9 meter dapat ditanam, akan tetapi untuk mengestimasi waktu dan biaya maka dilakukan pemindahan lokasi pembangunan patuha *unit* 2. Sebelum dilakukannya pembangunan infrastruktur alangkah baiknya dilakukan penelitian geofisika dengan metode apapun yang dapat memberikan hasil yang sesuai dengan target. Untuk perencanaan pembangunan lebih lanjut, pada daerah penelitian yang teridentifikasi adanya bongkah lahar andesit maka dilakukan penambangan bongkah tersebut dalam upaya meminimalisir bahan konstruksi dalam pembangunan PLTP Patuha *Site* 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., Akbar, N. And Bachri, S. 1992. Systematic geological map, Indonesia, quadrangle garut 1208-6 & Pameungpeuk 1208-3, Scale 1:100.000. Geological Research and Development Centre.
- ASTM. 2016. *Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation*. United States Amerika.
- Bemmelen, Van R.W., 1949, The Geology of Indonesia, Vol. I A. Government Printing Office, The Hague.
- Budiono, K. 2010. Kondisi Geologi Bawah Permukaan Kuater Pasca Gempa Tahun 2009 di Kotamadya Padang Berdasarkan Pendugaan GPR (Ground Penetrating Radar. IAGI Annual Convention and Exhibition. Lombok.
- Dam, M.A.C. 1994. The Late Quaternary evolution of the Bandung Basin, West-Java, Indonesia. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam. Pp. 252.
- Daniels, J.J. 2000. Ground Penetrating Fundamental. Departmen of Geological Sciencences, The Ohio State University.
- Elfaraby., Widodo, A. dan Syaifudin,F. 2017. Pengolahan Data Ground Penetrating Radar (GPR) dengan Menggunakan Software MATGPR R-3.5. Jurnal Teknik ITS Vol.6, No.1.
- Giancoli, D.C. Physics Principles with Application, Vol.I. Pearson Prentice Hall is a Trademark, U.S.
- Haeni, F. P. 1998. Integrated Use of Continous Seismic-Reflection Profiling and Ground Penetrating Radar Methods at John's Pond, Cape Cod, Massachusetts, U.S. Geological Survey.
- Koesmono, M., Kusnama dan Suwarna,N. 1996. Peta geologi lembar Sindang Barang dan Bandarwaru, Jawa. Skala 1 : 100.000. Pusat Survei Geologi
- Mala Geoscience. 1997. Easy locator HDR user Manual. SE-920 70 Mala, Sweden.
- Martodjojo, S., 1984, Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat, Disertasi Doktor, ITB, Bandung. (tidak diterbitkan)

- Sanny, T.A., Gunawan. H, Sitorus. J. E.B. H., 2000. Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR) dan Pemodelan Kedepan Untuk Eksplorasi Emas. Bandung.
- Singarimbun, A. 2013. Penentuan Struktur Bawah Permukaan Area Panas Bumi Patuha dengan Menggunakan Metoda Magnetik. Jurnal Matematika dan Sains.
- Sriwana, T. 2001. Penyebaran Unsur Kimia dari Daerah Kenampakan Panabuni dan Lumpur Belerang di Gunung Patuha Ciwidey Jawabarat. Volcanological Survey of Indonesia.
- Sudjatmiko.1972.*Peta Geologi Lembar Cianjur , Jawa*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sumargana, L., Sulistijo,B.,Kristianto, A. 2002. Penggunaan Metode Very Low Frequency (VLF) untuk PEmetaan Penyebaran Kontaminan di TPA Pasir Impun Kodya Bandung, Prosiding PIT HAGI 27.
- Vankateswarlu, B.,Vinod, C.T. 2014. Geotechnical Applications of Ground Penetrating Radar (GPR). Journal, Ind, Geol., Vol.6(1). Wadia Institute Himalayan Geology (WIHG), Uttarakhand.