EVALUASI KETEBALAN *CONCRETE* LANTAI *BASEMENT* DAN IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS LAMPUNG (RSP UNILA) BERDASARKAN DATA *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)

(Skripsi)

Oleh

IDA RETNO WIDAYU

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG

2021

ABSTRACT

EVALUATION OF THE CONCRETE THICKNESS OF THE BASEMENT FLOOR AND IDENTIFICATION OF THE SURFACE ROCK LAYER OF LAMPUNG UNIVERSITY EDUCATIONAL HOSPITAL (RSP UNILA) BASED ON GROUND-PENETRATING RADAR (GPR) DATA

By

IDA RETNO WIDAYU

In construction, the thing that must be considered is the reliability of the building, which includes safety, health, comfort, and convenience. Preliminary analysis of the building's ability to support loads is important in the construction of the Unila Teaching Hospital (RSP). In this study, the GPR method was applied to determine and analyze the concrete thickness of the basement floor of RSP Unila and analyze rock layers at RSP Unila. Data processing includes several filters, namely static correction, subtract mean (dewow), AGC Gain, background removal, bandpass frequency, FK-filter, FK-migration, and time-depth conversion which then produces 2D cross-sectional data. Analysis of the GPR profile that has been processed shows that the average thickness of the basement floor concrete layer is about 2 meters. Under the concrete layer, there is a compact layer with an average thickness of 8 meters. The complex layer is found at a depth of 10-32 meters with an average thickness of about 22 meters. The dominant lithology in the rock layers at RSP Unila is clay and there is a mixture of clay-sand, rock boulders, and water fractures.

Keywords: GPR, concrete, rock layers, RSP Unila

ABSTRAK

EVALUASI KETEBALAN *CONCRETE* LANTAI *BASEMENT* DAN IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS LAMPUNG (RSP UNILA) BERDASARKAN DATA *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)

Oleh

Ida Retno Widayu

Dalam pembangunan, hal yang harus diperhatikan yaitu keandalan bangunan gedung, yang meliputi keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Analisis awal kemampuan bangunan Gedung untuk mendukung beban muatan merupakan hal yang penting dalam pembangunan Rumah Sakit Pendidikan (RSP) Unila. Pada penelitian ini metode GPR diaplikasikan untuk menentukan dan menganalisis ketebalan *concrete* lantai basement RSP Unila dan menganalasis lapisan batuan di RSP Unila. Pengolahan data meliputi beberapa *filter*, yaitu *static correction, subtract mean (dewow), AGC Gain, background removal, bandpass frequency, FK-filter, FK-migration dan time depth convertion* yang kemudian menghasilkan data penampang 2D. Analisis terhadap profil GPR yang telah dilakukan pengolahan menunjukkan bahwa rata-rata tebal lapisan *concrete* lantai *basement* adalah sekitar 2 meter. Di bawah lapisan *concrete* terdapat lapisan kompak dengan tebal rata-rata 8 meter. Lapisan kompleks terdapat pada kedalaman 10-32 meter dengan tebal rata-rata sekitar 22 meter. Litologi dominan pada lapisan batuan di RSP unila adalah *clay* dan terdapat percampuran *clay-sand*, *bolder-bolder* batuan dan rekahan air.

Kata kunci: GPR, *concrete*, lapisan batuan, RSP Unila

EVALUASI KETEBALAN *CONCRETE* LANTAI *BASEMENT* DAN IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS LAMPUNG (RSP UNILA) BERDASARKAN DATA *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)

Oleh

IDA RETNO WIDAYU

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

Judul Skripsi : **EVALUASI KETEBALAN *CONCRETE* LANTAI *BASEMENT* DAN IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS LAMPUNG (RSP UNILA) BERDASARKAN DATA *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)**

Nama Mahasiswa : Ida Retno Widayu

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415051033

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.
NIP 19730716 200012 1 002

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720912 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.** .....

Sekretaris : **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Nandi Haerudin, M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 April 2021**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukuman yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2021

Penulis,

Ida Retno Widayu

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kotabumi pada 14 April 1996, anak keempat pasangan Bapak Temon dan Ibu Surniah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar pada tahun 2008 di SD Negeri 1 Ketapang. Selanjutnya, penulis menempuh Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sungkai Selatan hingga tahun 2011. Pada saat SMP, penulis mengikuti organisasi Pramuka. Penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Kotabumi hingga tahun 2014. Pada saat SMA, penulis mengikuti ekstrakulikuler Club Olimpiade Kebumian, SNK Bahasa Jepang, dan Karya Ilmiah Remaja (KIR). Pada tahun 2012, penulis meraih Juara 2 Olimpiade Kebumian Tingkat Kabupaten, dan Juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah tingkat provinsi yang diselenggarakan oleh STKIP Muhammadiyah Kotabumi pada tahun 2013.

Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN, dan juga sebagai penerima beasiswa Bidik Misi. Pada tahun pertama, penulis bergabung menjadi anggota Korps Muda BEM (KMB) X Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas (BEM U). Pada tahun 2015, penulis menjadi Anggota Publikasi Dan Dokumentasi Panitia Khusus Pemilihan Raya (Pansus Pemira) Presiden Wakil

Presiden dan Dewan Perwakilan Mahasiswa. Pada tahun yang sama, penulis tergabung sebagai anggota Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika "Bhuwana" Universitas Lampung dan juga staff BEM U di kementrian Hukum, Advokasi, dan Perundang-undangan (HAN). Penulis pernah menjadi sekretaris pelaksana pemilihan Duta genre Universitas Lampung 2016 yang diselenggarakan PIK-M RAYA Universitas Lampung. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan sebagai anggota SBM Hima TG Bhuwana, dan dipercaya menjadi Sekretaris Biro Kesekretariatan Forum Silaturahmi Dan Studi Islam Fakultas Teknik Universitas Lampung (Fossi-FT Unila).

Pada tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktek di BMKG Kotabumi dan melakukan **"Analisis Mekanisme Sumber Gempabumi Dengan *Seiscomp3*: Studi Kasus Gempabumi 6 April 2016 Wilayah Jawa Bagian Selatan"**. Pada tahun yang sama, penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Babakan Loa, Kecamatan Kedondong Kabupaten Pesawaran. Penulis dipercaya menjadi asisten praktikum Metode Elektromagnetik pada tahun2018. Pada tahun selanjutnya, penulis mempelajari dan mendalami metode yang sama (Elektromagnetik), hingga akhirnya berhasil menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul **"Evaluasi Ketebalan *Concrete* Lantai *Basement* Dan Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP Unila) Berdasarkan Data *Ground Penetrating Radar* (GPR)"** pada akhir Bulan April 2021.

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah,

Segala puji kepada Tuhanku, Tuhan semesta alam, ku persembahkan skripsi ini untuk:

Diri SayaSendiri

Terimakasih Idasan, telah kuat dan mampu bertahan hingga mampu melewatinya. Banyak sekali pelajaran hidup yang telah saya dapatkan bersamaan dalam proses penyelesaian skripsi ini. Semoga di masa selanjutnya diri saya bisa menjadi lebih baik lagi dalam mecintai diri sendiri, memanfaatkan waktu, mengambil peluang dan kesempatan, menjaga kepercayaan, dan lebih baik lagi dalam menunaikan hak dan kewajiban.

Ayahanda dan Ibunda Tersayang

dan

Dosen TG Unila

Terimakasih kepada Allah, Tuhan Yang Maha Esa yang telah mengirimkan orang-orang baik; yang telah memberikan kekuatan dan kesabaran tak terhingga dalam mendukung dan membimbing saya yang lemah dan lambat ini. Semoga segala bentuk kepedulian, doa, usaha, lelah, tawa, perjuangan, dan pengorbanan selama ini dapat tergantikan dengan hasil yang tidak sia-sia nantinya.

Keluarga dan Sahabat

Di masa sulitpun, saya selalu mendapat dukungan, mendapat doa-doa baik, serta mendapat kasih sayang dari semuanya. Terimakasih atas dukungan moril maupun materil selama ini. Entah dengan apa mengungkapkannya, yang saya tau saya menyayangi kalian semua.

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

Almamater kebanggan,

UNIVERSITAS LAMPUNG

QUOTES PENENANG

Sesudah kesulitan ada kemudahan
(Janji Allah)

Kamu boleh lelah, tapi tidak untuk menyerah
~Idasan~

Disaat kita tidak bisa melakukan apa-apa dalam hidup ini, maka berdoa adalah hal termewah yang Tuhan berikan
~Koko~

Hidup Untuk Bahagia
~Idasan~

Allaah yang Maha Baik yang mengatur segala pertemuan dan perpisahan
~nn~

Pada akhirnya setiap pertemuan selalu ada perpisahan. Entah dipisahkan untuk dipertemukan dengan yang lainnya, atau dipisahkan untuk dipertemukan kembali
~Idasan~

Tak perlu seseorang yang sempurna, cukup temukan orang yang selalu membuatmu bahagia dan membuatmu berarti lebih dari siapapun.
~B.J. Habibie~

Nikmati prosesnya, setiap orang mempunyai waktunya masing-masing
~nn~

Tetaplah menjadi baik

Kesabaran adalah salah satu simpanan surga. Orang yang bisa sabar di dunia merupakan orang yang dipilih Allah untuk mengambil simpanan itu di surga.
~Hasan Al Bashri~

Wahai jiwa yang tenang, Kembalilah kepada Tuhanmu dengan hati yang puas lagi diridhai-Nya. Maka masuklah ke dalam jama'ah hamba-hamba-Ku. masuklah ke dalam surga-Ku
(Firman Allah)

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah Subhanahu wa ta'ala karena telah melimpahkan berkat, rahmat, hidayah, dan inayah-Nya. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah pada Rasullulah Muhammad SAW, sehingga Penulis dapat menyelesaikan

Skripsi berjudul *"Evaluasi Ketebalan Concrete Lantai Basement Dan Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP Unila) Berdasarkan Data Ground Penetrating Radar (GPR)"* salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Temon dan Ibu Surniah. Terimakasih atas segala doa, usaha dan dukungan, baik secara moril maupun materil. Semoga jerih payahnya selama ini diterima dan dibalas oleh Allah subhanahu wata'ala.
2. Keluarga, tetangga dan saudara, Yayuk, Mas Hartadi, Mas Agus, Mba Tika mas Bambang, Yusuf, Hadi dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.terimaksih telah memberi dukungan yang tidak dapat disebutkan dan tak mungkin terlupakan.

3. Bapak Prof. Dr. Suharno, B.Sc.,M.sc.,Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
5. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing 1 Tugas Akhir di Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T Selaku Pembimbing 2, Pembimbing Akademik dan sebagai Dosen Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Penguji Tugas Akhir Geofisika Universitas Lampung
8. Dosen, staff, dan keluarga besar Teknik Geofisika Universitas Lampung, yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
9. Pak Yogi. Pak Boy, Ilham, Martin, Jefri, Kak Rivaldi, Arie, Desta, Isti, Fitria, Alfan, Agung, Fhera yang telah membantu Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Teknik Geofisika angakatan 2014 (Agnes, Agra, Agung, Budi, Amir, Andi, Alfa, Alfan, Arief, Aul, Aziz, Chintia, Delvia, Desta, Diana, Dicky, Dimas, Erwin, Evi, Fajar, faqih, Fhera, Filza, Fitria, Gaffar, Galang,, Ghiat, Helbrat, Ikhwan, Ilham, Indra, Isti, Jefri, Martin, Azri, Mora, Farizi, Asrin, Zaky, Romi, Niko, Nabila, Nana, Norman, Indah, Nupit, Tiwi, Pungky, Malik, Iqbal, Rhaka, Ridho, Aldi, Rita, Pakde, Sidharta, Sofyan, Kiki, Umi Diana, Ipeh, Viska, Ino, Witta, Yuda)

11. Kakak-kakak dan adik-adik angkatan 2012, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga dengan adanya skripsi dapat bermanfaat bagi pembaca. Kritik dan saran yang membangun penulis sangat harapkan untuk kebaikan penulis untuk menjadi lebih baik.

Bandar Lampung, Juni 2021

Ida Retno Widayu

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRACT ..... *i*

ABSTRAK ii

HALAMAN JUDUL iii

PENGESAHAN iv

PERNYATAAN vi

RIWAYAT HIDUP ..... *vii*

PERSEMBAHAN ix

QUOTES x

SANWACANA xi

DAFTAR ISI xiv

DAFTAR TABEL xvii

DAFTAR GAMBAR xviii

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan 2
1.3 Batasan masalah 3
1.4 Manfaat penelitian 3

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Penelitian 4
2.2 Struktur Geologi 5
2.3 Stratigrafi 6
2.4 *Concrete* (Beton) 6
2.5 Aplikasi *Ground Penetrating Radar* 7

III. TEORI DASAR

3.1 *Ground Penetrating Radar* 8
3.2 Prinsip Dasar GPR 9
3.3 Teori Medan Elektromagnetik 10
3.4 Propagasi Gelombang Radio 13
3.5 Kecepatan Gelombang Radio 14
3.6 Koefisien Refleksi Amplitudo 15
3.7 Faktor atenuasi 16
3.8 Sifat Dielektrik Material Bumi 17
3.9 Permitivitas Dan Konduktivitas Kompleks 18
3.10. Desain Survei 20
3.10.1. Kesesuaian GPR (*suitability of GPR*) 21
3.10.2 Pemilihan frekuensi antena 22
3.10.3 Jendela waktu (*time window*) 24
3.11 Prinsip Umum dalam Pemrosesan dan Interpretasi Data GPR 25
3.11.1 Pengeditan data (*data editing*) 25
3.11.2 Koreksi statis (*static correction*) 26
3.11.3 Penyaringan *dewow (dewow filtering)* 26
3.11.4 Perolehan waktu (*time gain*) 26
3.11.5 Pengurangan/penghapusan *background* 27
3.11.6 Frekuensi penyaringan (*frequency filtering*) 27
3.11.7 Dekonvolusi 28
3.11.8 Migrasi 29
3.11.9 Visualisasi volume 29

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat 30
4.2 Alat dan Bahan 30
4.3 Diagram Alir 30

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Lapangan GPR 34
5.1.1. *profile*-41 36
5.1.2. *profile*-42 36
5.1.3. *profile*-43 37
5.1.4. *profile*-44 38
5.1.5. *profile*-45 38
5.1.6. *profile*-46 39
5.1.7. *profile*-47 40
5.1.8. *profile*-48 40
5.1.9. *profile*-49 41

5.2 Pengolahan Data GPR....41
5.2.1 *Static correction*....42
5.2.2 *Subtract-mean* (*dewow)*....42
5.2.3 *AGC-gain*....44
5.2.4 *Background removal*....45
5.2.5 *Bandpass frequency*....46
5.2.6 FK *filter*....47
5.2.7 FK *migration*....48
5.2.8 *Time-depth conversion*....49
5.3 Interpretasi Data....49
5.3.1 *profile*-41....50
5.3.2 *profile*-42....53
5.3.3 *profile*-43....55
5.3.4 *profile*-44....58
5.3.5 *profile*-45....60
5.3.6 *profile*-46....63
5.3.7 *profile*-47....65
5.3.8 *profile*-48....67
5.3.9 *profile*-49....70

KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Nilai dielektivitas material 19

Tabel 2. Antena Frekuensi Sebagai Fungsi Kedalaman Penetrasi 24

Tabel 3. *Time Window*.....25

Tabel 4. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir 33

Tabel 5 .Nilai *timewindows* pada *filter dewow* 43

Tabel 6. Nilai *window length* pada *filter AGC-gain* 46..... 45

Tabel 7. Interpretasi *profile*-41 51

Tabel 8. Interpretasi *profile*-42 53

Tabel. 9. Interpretasi *profile*-43 56

Tabel. 10. Interpretasi *profile*-44 60

Tabel. 11. Interpretasi *profile*-45 61

Tabel 12. Interpretasi *profile*-46 65

Tabel 13. Interpretasi *profile*-47 67

Tabel 14. Interpretasi *profile*-48 68

Tabel 15. Interpretasi *profile*-49 70

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Lokasi Penelitian. 4

Gambar 2. Peta geologi lokasi penelitian. 5

Gambar 3. Skema GPR 10

Gambar 4. Proses yang mengarah pada pengurangan kekuatan sinyal. 17

Gambar 5. Diagram alir penelitian. 31

Gambar 6. Diagram alir pengolahan data. 31

Gambar 7. Lintasan pengukuran GPR. 35

Gambar 8**.** Data lapangan *profile*-41. 36

Gambar 9. Data lapangan *profile*-42. 36

Gambar 10. Data lapangan *profile*-43. 37

Gambar 11. Data lapangan *profile*-44. 38

Gambar 12. Data lapangan *profile*-45. 38

Gambar 13. Data lapangan *profile*-46. 39

Gambar 14. Data lapangan *profile*-47. 40

Gambar 15. Data lapangan *profile*-48. 40

Gambar 16. Data lapangan *profile*-49. 41

Gambar 17. *Profile*-41 setelah diterapkan *filter static correction.*. 42

Gambar 18. *Profile*-41 setelah diterapkan *filter dewow*. 43

Gambar 19 *Profile*-41 setelah diterapkan *filter AGC-gain*. 44

Gambar 20. *Profile*-41 setelah diterapkan *filter background removal* 46

Gambar 21. *Profile*-41 setelah diterapkan *filter bandpass frequency* 47

Gambar 22. *Profile*-41 setelah diterapkan FK-*filter* 48

Gambar 23 *Profile*-41 setelah diterapkan FK-*migration* 48

Gambar 24. *Profile*-41 setelah diterapkan *time-depth convertion* 49

Gambar 25. *Profile*-41 50

Gambar 26. Inter pretasi *Profile*-41 52

Gambar 27. *Profile*-42 53

Gambar 28. Interpretasi *Profile*-42 54

Gambar 29. *Profile*-43 55

Gambar 30. Interpretasi *Profile*-43 57

Gambar 31. *Profile*-44 58

Gambar 32. Interpretasi *Profile*-44 59

Gambar 33. *Profile*-45 60

Gambar 34. Interpretasi *Profile*-45 62

Gambar 35. *Profile*-46 63

Gambar 36. Interpretasi *Profile*-46 64

Gambar 37. *Profile*-47 65

Gambar 38. Interpretasi *Profile*-47 66

Gambar 39. *Profile*-48 67

Gambar 40. Interpretasi *Profile*-48 69

Gambar 41 *Profile*-49 70

Gambar 42. Interpretasi *Profile*-49 71

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2018 hingga awal tahun 2020, Universitas Lampung melakukan pembangunan gedung Rumah Sakit Pendidikan (RSP Unila). Dalam pembangunan, hal yang harus diperhatikan yaitu keandalan bangunan gedung, yang meliputi keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, persyaratan keamanan bangunan yaitu kemampuan bangunan untuk mendukung beban muatan, serta kemampuan bangunan gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran dan bahaya petir.

Kemampuan bangunan gedung untuk mendukung beban muatan merupakan kemampuan struktur bangunan gedung yang stabil dan kukuh dalam mendukung beban muatannya. Kemampuan struktur tersebut merupakan kemampuan struktur bangunan gedung yang stabil dan kukuh sampai dengan kondisi pembebanan maksimum dalam mendukung beban muatan hidup dan beban muatan mati, serta untuk daerah/zona tertentu kemampuan untuk mendukung beban muatan yang timbul akibat perilaku alam. Untuk mendukung kemampuan struktur, tanah harus mampu menahan beban muatan

dari setiap konstruksi yang terletak di atasnya tanpa mengalami kegagalan geser dan dengan penurunan yang masih dalam batas yang diperbolehkan.

Penurunan yang berlebihan dapat menyebabkan timbulnya kerusakan struktural pada kerangka bangunan atau kerusakan lain seperti tembok retak, lantai pecah, dan pintu jendela yang sukar dibuka. Sehinggga pondasi harus diletakkan di lapisan tanah yang cukup keras/padat serta kuat. Untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah keras maka perlu dilakukan penyelidikan tanah (Gunawan, 1993). Penyelidikan ketebalan dan kedalaman lapisan tanah dapat dilakukan menggunakan metode geofisika, diantaranya yaitu georadar, geolistrik, dan seismik refraksi. Pada penelitian ini metode yang dipakai untuk pendeteksian yaitu georadar atau disebut juga GPR (*Ground Penetrating Radar*).

GPR merupakan teknik eksplorasi geofisika yang menggunakan gelombang elektromagnet, bersifat nondestruktif dan mempunyai resolusi tinggi terhadap kontras dielektrik material bumi dan mampu melakukan pendeteksian ketebalan dan kedalaman lapisan

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Menentukan dan menganalisis ketebalan *concrete* lantai *basement* RSP Unila.
2. Menganalasis lapisan batuan di RSP Unila.

1.3 Batasan Masalah

1. Data penelitian yang digunakan yaitu pada gedung utama RSP Unila.
2. Data yang digunakan merupakan hasil pengukuran alat Akula 9000C dengan format .gsf.
3. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software reflexw* 8.5.
4. Data hasil pengolahan dalam bentuk 2D.

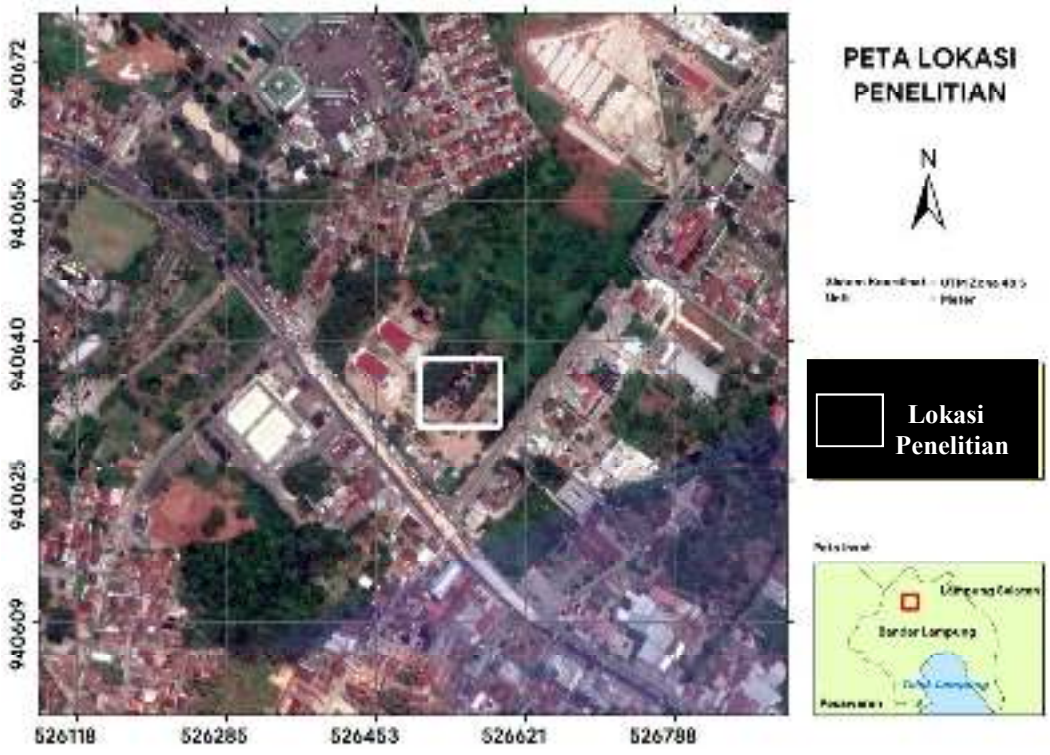
1.4 Manfaat Penelitian

Menambah informasi terkait keadaan aktual bangunan sehingga dapat dimanfaatkan untuk evaluasi lebih lanjut terhadap kelayakan suatu bangunan untuk merencanakan penambahan jumlah lantai, pembebanan, rekonstruksi, dan evaluasi kelayakan daya dukung pondasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

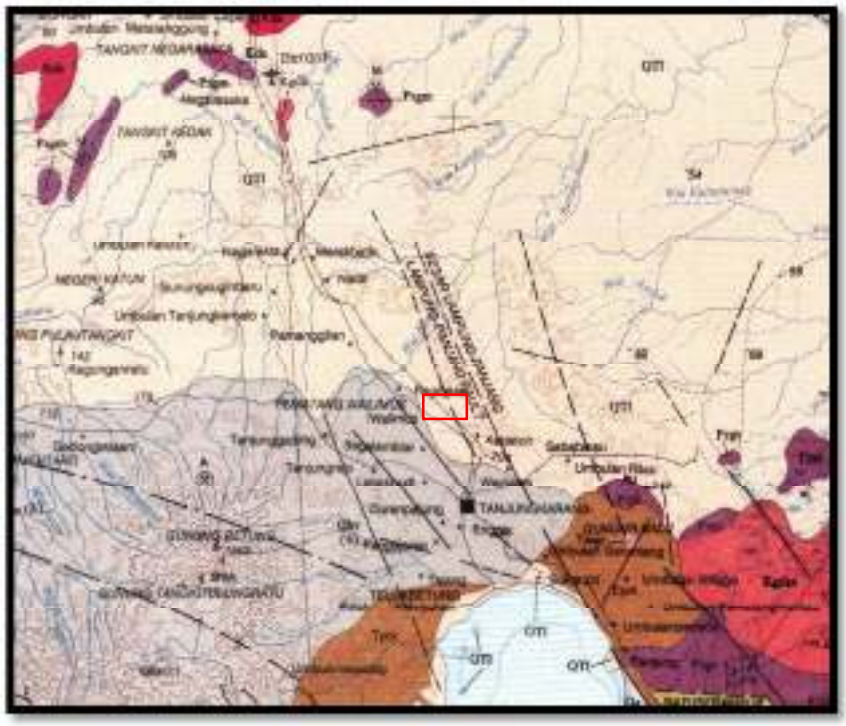
2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung yang berada pada lintang -5.429750 dan bujur 105.262268.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

2.2 Struktur Geologi



Gambar 2. Peta geologi lokasi penelitian.

Secara umum daerah lembar Tanjungkarang dibagi menjadi tiga satuan morfologi, yaitu: dataran bergelombang di bagian Timur dan Timur Laut, pegunungan kasar di bagian Tengah dan Barat Daya, daerah pantai berbukit sampai datar. Daerah dataran bergelombang terdiri dari endapan vulkanoklastika Tersier dan Kuater dan alluvium dengan ketinggian beberapa puluh meter di atas muka laut. Pegunungan Bukit Barisan terdiri batuan alas beku dan malihan serta batuan gunungapi muda. Lereng-lereng umumnya curam dengan ketingian antara 500-1.680 m di atas muka laut. Daerah pantai bertopografi beraneka ragam dan sering kali terdiri dari perbukitan kasar, mencapai ketinggian 500 m di atas muka laut dan terdiri dari batuan gunungapi Tersier dan Kuarter serta batuan terobosan (Mangga, dkk., 1993).

2.3. Stratigrafi

Urutan Stratigrafi Lembar Tanjungkarang dapat dibagi menjadi tiga bagian: PraTersier, Tersier dan Kuarter. Urutan PraTersier: batuan yang tersingkap adalah runtuhan batuan malihan derajat rendah-sedang, yang terdiri dari sekis, genes, pualam dan kuarsit, yang termasuk kompleks Gunungkasih. Urutan Tersier: Batuan yang tersingkap di lembar Tanjungkarang terdiri dari runtuhan batuan gunungapi busur dan benua dan sedimen yang diendapkan di tepi busur gunungapi, yang diendapkan bersama-sama secara luas, yaitu formasi-formasi sabu, campang dan tarahan. Urutan Kuarter terdiri dari lava Plistosen, breksi dan tuf bersusunan andesit-basal di lajur Barisan, Basal Sukadana celah di Lajur Palembang, endapan batu gamping terumbu dan sedimen alluvium Holosen (Mangga, dkk., 1993).

Universitas Lampung berada pada Formasi Lampung (QTl) yang terdiri dari tuf berbatu apung, tuf riolitik, tuf padu tufit batu lempung tufan dan berbatu pasir tufan.

2.4 *Concrete* (Beton)

Beton adalah batu-batuan dan bahan lain yang terdiri dari semen, pasir, dan kerikil/split dengan perbandingan tertentu yang bila diaduk dan dicampur dengan air kemudian dimasukkan ke dalam suatu cetakan akan mengikat, mengering, dan mengeras dengan baik setelah beberapa lama. Beton mudah dibentuk sesuai cetakan yang direncanakan.

Bahan beton dan baja atau besi satu sama lain saling mengikat sehingga merupakan satu kekuatan untuk menahan beban-beban yang bekerja pada beton bertulang tersebut, terutama untuk menahan gaya tarik atau menahan kelenturan. Bila beton tidak diberi tulangan atau hanya beton saja maka beton tersebut tidak akan kuat menahan beban tarik. Ini disebabkan oleh sifat beton yang kuat terhadap gaya tekan, tetapi lemah terhadap gaya tarik atau kelenturan. Sementara sifat baja atau besi adalah kuat terhadap gaya tarik maupun gaya tekan (Adiyono, 2009).

2.5 Aplikasi *Ground Penetrating Radar*

Pada tahun 2008, Graham Parkinson telah menggunakan GPR untuk memetakan kondisi lapisan terowongan dan lokasi kerusakan beton serta void dengan cara terus meneus tanpa merusak di Kapoor Water Supply Tunnel, Victoria, Canada menggunakan frekuensi 1000 MHz. Selain itu, Heksa Agus Wiyono (2016) telah melakukan penelitian yang memanfaatkan GPR untuk mengukur ketebalan lapisan dan identifikasi lapisan aluvial dan lempung di Danau Saguling. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil kedalaman dan ketebalan masing-masing lapisan air segar, aluvial, dan lempung.

Pada penelitian yang lain, di tahun 2018 (Rasimeng dan Mandang) memanfaatkan GPR untuk identifikasi ketebalan dan kedalaman Sungai Mahakam. Pada tahun yang sama (2018) juga telah dilakukan penelitian menggunakan GPR untuk identifikasi kedalaman dari *Spun Pile* stasiun gas di Batam (Rasimeng, dkk., 2018).

III. TEORI DASAR

3. 1 *Ground Penetrating Radar*

GPR adalah teknik nondestruktif yang menggunakan pulsa elektromagnetik untuk mendeteksi pemantulan permukaan di dalam tanah yang memungkinkan pencitraan benda-benda yang terkubur, stratigrafi dan fitur tanah lainnya di kedalaman dangkal, menyediakan profil *real-time* yang berkelanjutan dari bawah permukaan. Biasanya peralatan terdiri dari sistem kontrol terkomputerisasi yang terhubung ke antena yang digerakkan secara perlahan di sepanjang permukaan tanah untuk menghasilkan profil bawah permukaan yang kontinu. Satu antena memancarkan pulsa elektromagnetik dan yang kedua merekam sinyal pantulan dari objek, diskontinuitas atau fitur lain di dalam tanah. Gelombang yang dipantulkan berasal dari perubahan sifat elektromagnetik tanah yang mungkin disebabkan oleh variasi dalam kadar air, perubahan densitas karena adanya permukaan stratigrafi dan diskontinuitas, atau rongga yang ada di jalur pulsa. Oleh karena itu keberhasilan teknik sangat bergantung pada kontras dielektrik yang cukup di lokasi retakan untuk menghasilkan sinyal yang jelas dipantulkan.

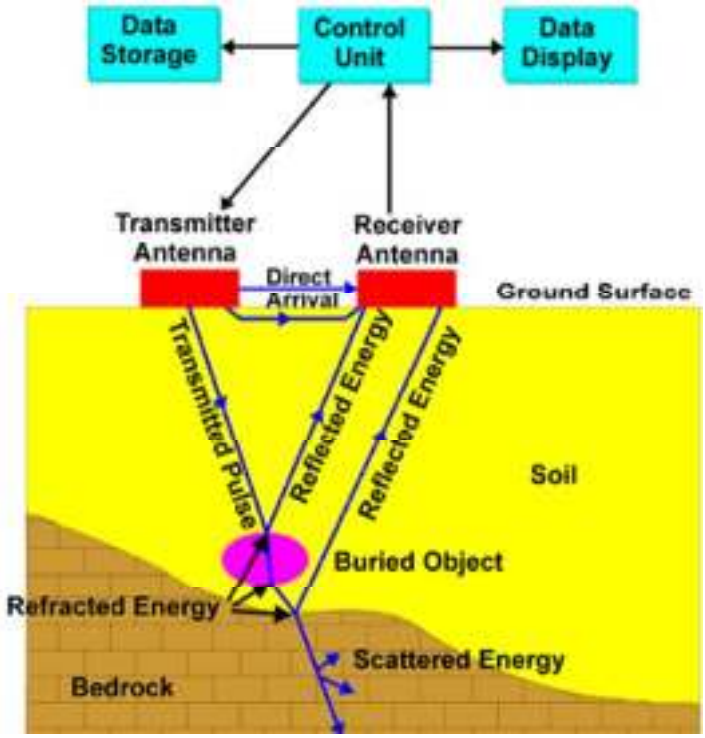
Kedalaman penetrasi pulsa, dan resolusi data, bergantung pada panjang gelombang dan konstanta dielektrik tanah. Parameter ini terutama dikontrol

oleh kadar air tanah. Kedalaman dan resolusi berbanding terbalik dengan besaran: meningkatkan frekuensi antena, resolusi lebih baik, tetapi kedalaman lebih kecil (Prat, 2013).

3.2 Prinsip Dasar GPR

Metode GPR menggunakan energi elektromagnetik pada frekuensi tinggi (10 hingga 4000 MHz) untuk menyelidiki bawah permukaan, dan propagasi sinyal radar tergantung pada sifat listrik tanah pada frekuensi tinggi. Metode GPR mengukur kecepatan dan atenuasi gelombang radar, dan ini dapat digunakan untuk menentukan konstanta dielektrik atau permitivitas relatif, yang merupakan properti listrik utama dari bahan geologi pada frekuensi tinggi.

GPR sebagai metode non-destruktif menggunakan radiasi elektromagnetik dalam pita gelombang mikro (UHF/VHF *Frequencies*) dari spektrum radio, dan mendeteksi sinyal yang dipantulkan dari struktur bawah permukaan. Dorongan *Ground Penetrating Radar* (georadar) adalah alat pengukur penerima transmisi yang tepat, yang mengimplementasikan fenomena pantulan gelombang elektromagnetik.



Gambar 3. Skema GPR (Ziboon, 2017).

GPR sangat cocok untuk sebagian besar aplikasi di pasir kering dan kerikil, di mana kedalaman penetrasi dapat melebihi 160 kaki dengan antena frekuensi rendah. Kedalaman penetrasi GPR ditentukan oleh frekuensi antena dan konduktivitas listrik dari material tanah yang diprofilkan.

Konduktivitas listrik secara langsung berkaitan dengan jumlah, distribusi, komposisi kimia, dan fase (cair, padat, atau gas) dari air tanah. Pada frekuensi yang diberikan, atenuasi energi elektromagnetik meningkat dengan meningkatnya kadar air (Ziboon, 2017).

3.3 Teori Medan Elektromagnetik

Metode *GPR* didasarkan atas persamaan Maxwell yang merupakan perumusan matematis untuk hukum-hukum fisika yang mendasari semua

fenomena elektromagnetik. Persamaan Maxwell terdiri dari empat persamaan medan, masing-masing dapat dipandang sebagai hubungan antara medan distribusi sumber (muatan atau arus) yang bersangkutan. Persamaan Maxwell untuk medium *homogen isotropic* sebagai berikut:

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (1)$$

Persamaan Maxwell 1 menyatakan bahwa medan magnet dihasilkan dari aliran arus listrik yang berubah terhadap waktu.

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

Persamaan Maxwell 2 menyatakan bahwa medan listrik dihasilkan dari perubahan induksi medan magnet terhadap waktu.

$$\nabla . D = \boldsymbol{\rho} \quad (3)$$

Persamaan Maxwell 3 menyatakan bahwa medan listrik berdasarkan medium akan sama dengan rapat muatan seluas area itu sendiri.

$$\nabla . B = 0 \quad (4)$$

Persamaan Maxwell 4 menunjukan tidak adanya muatan sumber medan yang berupa medan magnet.

dimana :

$\boldsymbol{H}$: Kuat medan magnet (A/m)

$\boldsymbol{E}$: Kuat medan listrik (V/m)

$\boldsymbol{D}$: Perpindahan elektrik (As/m^2)

$\boldsymbol{B}$: Induksi magnet (Vs/m^2)

$\boldsymbol{J}$: Rapat arus (A/ m^2)

$\boldsymbol{\rho}$: Rapat muatan (As/m^3)

Persamaan (1) sampai (4) menggambarakan syarat-syarat sumber gelombang dari vektor kuat medan listrik dan vektor kuat medan magnet ataupun hubungan antara kedua vektor tersebut. Dalam penjalarannya di dalam batuan, gelombang elektromagnetik pada persamaan-persamaan tersebut dihubungkan dengan medium bumi menggunakan persamaan-persamaan material sebagai berikut :

$$\boldsymbol{J} = \sigma E \tag{5}$$

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon E = \varepsilon_0 \varepsilon_r E \tag{6}$$

$$\boldsymbol{B} = \mu H = \mu_0 \mu_r H \tag{7}$$

Dimana:

σ: Konduktivitas (Siemens/m)

ε: Permitivitas medium (Farad/m); $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$

ε_r: Permitivitas relatif medium

ε_0: Permeabilitas ruang vakum = 8.885 x10^{-12} (Farrad/m)

μ: Permeabilitas magnet medium

μ_r: Permeabilitas magnet relatif medium

μ_0: Permeabilitas magnet dalam ruang vakum = 4μ x10^{-7} (Henry/m)

Melalui manipulasi matematik menggunakan persamaan-persamaan di atas akan diperoleh persamaan Helmholtz untuk kuat medan listrik E yang mempunyai bentuk:

$$\Delta E - \sigma \mu_0 \mu_r \frac{\partial E}{\partial t} - \varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \tag{8}$$

Dimana Δ adalah operator *laplace*

Persamaan (8) mempunyai solusi:

$$E = E_0 r^{-j(\omega t - kr)} \tag{9}$$

atau

$$E = E_0 e^{\alpha t} e^{-j(\omega t - \beta r)} \quad (10)$$

Dari persamaan-peersamaan tersebut, akan didapatkan dua persamaan yang mengggambarkan penjalaran gelombang elektromagnet di dalam medium, yaitu kecepatan fasa *v* dan koefisien atenuasi *α* atau jangkauan/*skin depth* **τ:**

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{C}{\sqrt{\frac{\mu r\, \varepsilon r}{2}\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\varepsilon r\, \varepsilon 0\, \omega}\right)^2}-1}} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{\mathrm{C}} = \frac{\mathrm{C}}{\sqrt{\frac{\mu r\, \varepsilon r}{2}\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\varepsilon r\, \varepsilon 0\, \omega}\right)^2}-1}} \quad (12)$$

$$\tau = \frac{1}{\alpha} = \frac{\mathrm{c}}{\omega\sqrt{\frac{\mu r\, \varepsilon r}{2}\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\varepsilon r\, \varepsilon 0\, \omega}\right)^2}-1}} \quad (13)$$

Sifat elektromagnetik meliputi sifat kelistrikan dan sifat kemagnetan. Yang termasuk sifat kelistrikan adalah permitivitas ($\varepsilon=\varepsilon_0\varepsilon_r$) dan konduktivitas σ, sedangkan yang termasuk sifat kemagnetan adalah permeabilitas magnet μ ($\mu=\mu_0\mu_r$). Konduktivitas adalah kebalikan dari resistivitas ρ ($\sigma=1/\rho$).

3.4 Propagasi Gelombang Radio

Setiap material memiliki sifat elektromagnetik yang berbeda-beda berdasarkan komposisi dan kandungan air. Kedua hal ini menjadi kontrol utama atas kecepatan propagasi gelombang radio dan pelemahan gelombang elektromagnetik dalam material.

Kecepatan gelombang radio dalam medium apapun tergantung pada kecepatan cahaya di ruang bebas (c = 0,3 m/ns), konstanta dielektrik relatif

(ε_r) dan permeabilitas magnetik relatif (μ_r = 1 untuk bahan bukan magnetik). Hal ini merupakan kemampuan tanah untuk melakukan transmisi gelombang radio pada beberapa medium, seperti tanah liat jenuh air dan air laut, apakah dapat menyerap, atau memantulkan gelombang radio sedemikian rupa sehingga mereka benar-benar kedap terhadap gelombang radio dimana hal tersebut merupakan kontras dalam konstanta dielektrik relatif antara lapisan yang berdekatan yang menimbulkan refleksi radiasi elektromagnetik, dimana semakin besar kontrasnya, semakin besar jumlah energi gelombang radio yang dipantulkan. Proporsi energi yang dipantulkan, ditunjukkan oleh koefisien pantulan (*R*), yang ditentukan oleh kontras dalam kecepatan gelombang radio, dan lebih mendasar, oleh kontras dalam konstanta dielektrik relatif dari media yang berdekatan. Dalam semua kasus, kekuatan *R* terletak pada kisaran ±1. Proporsi energi yang ditransmisikan sama dengan 1-*R*. Persamaan yang diberikan berlaku untuk kejadian normal pada permukaan planar dengan asumsi tidak ada kehilangan sinyal lain dan merujuk pada amplitudo sinyal, dengan koefisien refleksi daya sama dengan R^2.

3.5 Kecepatan Gelombang Radio

Kecepatan gelombang radio dalam suatu materi (*Vm*) diberikan oleh:

$$V_m = c'\{(\varepsilon_r \mu_r 2)[(1 + P^2) + 1]\}^{12} \quad (14)$$

dimana *c* adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa, ε_r adalah konstanta dielektrik relatif, dan μ_r adalah permeabilitas magnetik relatif (=1 untuk bahan non-magnetik). P adalah *loss factor*, sehngga $P = \sigma\omega\varepsilon$ dan σ adalah konduktivitas, $\omega = 2\pi f$ dimana f adalah frekuensi, ε adalah permitivitas = $\varepsilon_r\varepsilon_0$ dan ε_0 adalah permitivitas pada ruang bebas (8.854 x 10^{-12} F/m). Dalam

material *low-loss*, *P≈0*, dan kecepatan dari gelombang radio. $V_m = c'\sqrt{\varepsilon_r} = 0.3/\sqrt{\varepsilon_r}$

Perlu diingat ketika berkaitan dengan *ground radar* bahwa radiasi bersifat elektromagnetik dan propagasinya dijelaskan oleh Persamaan Maxwell dengan komponen listrik (*E*) ortogonal terhadap komponen magnetik (*H*). Bentuk dan ukuran spesifik dari rumus lobus *directivity* adalah fungsi dari konstanta dielektrik dari media utama. Dalam membuat perbandingan radargram untuk seismogram biasanya terjadi kesalahan karena sifat vektor radar mungkin diabaikan, sehingga asumsi yang salah dibuat tentang cara gelombang radio merambat di media geologi. Sementara pengolahan data seismik dapat digunakan secara efektif dalam banyak kasus, karakteristik kutub elektromagnetik dari gelombang radio lebih mudah dilakukan dengan gelombang S seismik daripada ke gelombang-P.

3.6 Koefisien Refleksi Amplitudo

Keberhasilan dari metoda *georadar* bergantung pada variasi bawah permukaan yang dapat menyebabkan gelombang tertransmisikan. Perbandingan energi yang direfleksikan disebut koefisien refleksi **(***R***)** yang ditentukan oleh perbedaan cepat rambat gelombang elektromagnet dan lebih mendasar lagi adalah perbedaan dari konstanta dielektrik relatif dari media **(**ε_r**)** yang berdekatan.

Koefisien refleksi amplitudo yaitu:

$$R = \frac{\{V_1 - V_2\}}{\{V_1 + V_2\}} \qquad (15)$$

Dimana V_1dan V_2adalah kecepatan gelombang radio di masing-masing lapisan 1 dan 2, dan $V_1 < V_2$. Juga

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_2}-\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2}+\sqrt{\varepsilon_1}} \quad (16)$$

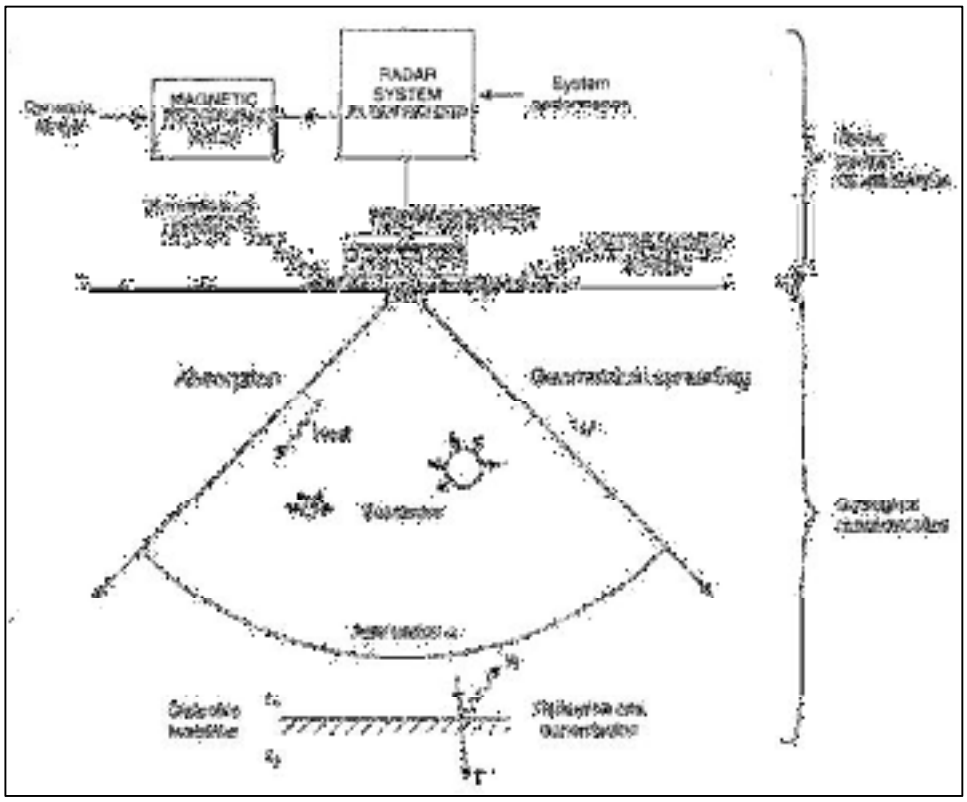
Dimana ε_1 dan ε_2 merupakan konstanta dielektrik relatif (ε_r) masing-masing dari lapisan 1 dan 2, berlaku untuk insidensi pada sudut-kanan terhadap reflektor bidang. biasanya ε_r meningkat dengan kedalaman.

3.7 Faktor Atenuasi

Faktor-faktor yang menghasilkan penurunan kekuatan sinyal pada gelombang radio umumnya menyebar melalui media sub-permukaan yang diilustrasikan secara skematik pada Gambar 4. Kehilangan energi terjadi sebagai akibat dari refleksi/kehilangan transmisi pada setiap kontak dan terjadi setiap kali gelombang radio melewati batas. Selanjutnya, jika ada objek dengan dimensi dari urutan yang sama dengan panjang gelombang sinyal radar, objek-objek ini akan menyebabkan hamburan energi secara acak. Hal ini dikenal sebagai *Mie Scattering* dan menyebabkan *noise* '*clutter*' di bagian radar. Hal itu sejalan dengan *noise* yang terlihat di layar radar laut yang disebabkan oleh *backscatter* dari gelombang laut dalam cuaca yang buruk.

Selain itu. untuk merefleksikan/mentransmisikan kehilangan pada kontak antarmuka, energi dihilangkan oleh penyerapan (mengubah energi elektromagnetik menjadi panas). Hal ini sebaiknya digambarkan dengan analogi *oven microwave* yang menggunakan gelombang radio berkekuatan tinggi untuk memasak makanan. Kehilangan energi lebih lanjut disebabkan oleh penyebaran energi secara geometris. Sinyal radar ditransmisikan dalam

bentuk balok dengan sudut kerucut 90^0. Dalam hal ini, sinyal radio yang berpindah dari pemancar menyebar sehingga menyebabkan pengurangan energi per satuan luas pada tingkat $\frac{1}{r^2}$, dimana r adalah jarak yang ditempuh.



Gambar 4. Proses yang mengarah pada pengurangan kekuatan sinyal.

3.8 Sifat Dielektrik Material Bumi

Konstanta dielektrik suatu mineral menyatakan kemampuan material tersebut untuk menyimpan muatan yang relatif sama dalam ruang hampa ketika medan listrik diberikan. Selain konstanta dielektrik, sifat elektromagnetik lain seperti koduktivitas material juga merupakan parameter yang sangat penting dalam membahas perambatan gelombang. Konduktivitas merupakan parameter yang menyatakan kemampuan suatu material untuk meneruskan atau mentransmisikan energi gelombang.

Ketika gelombang yang ditransmisikan dari *transmitter* mengenai suatu benda atau material di bawah permukaan yang memiliki konduktivitas yang tinggi, maka amplitudo gelombang terekam di *receiver* akan sangat kecil. Hal ini disebabkan gelombang yang ditransmisikan diserap oleh material yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Hilangnya energi gelombang merupakan akibat dari adanya sinyal transmisi atau refleksi yang hilang pada bidang batas antar lapisan dan terjadi setiap gelombang radio melewati bidang batas lapisan. Hal ini terjadi karena adanya proses absorbsi pada bidang batas lapisan.

Kemampuan dielektrik suatu bahan dijelaskan dalam hal permitivitas kompleks (ε^*) dan konduktivitas kompleks (σ^*) yang saling berkaitan. Permitivitas frekuensi tinggi (ε_x) digunakan sebagai permitivitas terendah ketika permitivitas imajiner (ε'') bernilai nol. Permitivitas nyata (ε') meningkat seiring menurunnya frekuensi. Ketika material merupakan materi non-konduktor, permitivitas-frekuensi digambarkan oleh setengah lingkaran, pusat yang terletak pada sumbu permesivitas real di tengah-tengah antara permitivitas frekuensi tinggi dan statis (ε_x dan ε_y masing-masing). Permitivitas imajiner (ε'') menunjukkan absorpsi atau kehilangan energi dalam bahan dielektrik, dan ini pada gilirannya berkontribusi pada penyerapan *radiowaves* di dalam tanah.

3.9 Permitivitas Dan Konduktivitas Kompleks

Gelombang elektromagnetik merambat dalam air dengan kecepatan sangat rendah dan dengan atenuasi tinggi. Permitivitas dielektrik air adalah besar

(sekitar 80 tetapi variabel dengan komposisi suhu dan mineral) dan kontras permitivitas tinggi dengan bahan lain yang membentuk tanah membuat air menjadi elemen kunci dalam kecepatan propagasi rata-rata gelombang elektromagnetik di tanah (Prat, 2013).

Permitivitas kompleks ε^* dari sebuah material non-konduktif ditunjukkan oleh:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + i\varepsilon'' \quad (17)$$

Ketika ε^* diplot sebagai fungsi ε', grafik yang dihasilkan adalah setengah lingkaran. Plot ini dikenal sebagai plot Cole-Cole, karena pencetusnya, Cole dan Cole (1947). Jika bahan memiliki *t* konduktivitas, maka:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + i(\varepsilon'' + \sigma_s/\omega\varepsilon_0) \quad (18)$$

Di mana σ adalah konduktivitas statis atau DC, dan ε_0 adalah permitivitas ruang kosong. Pada frekuensi rendah, istilah DC mendominasi dan menghasilkan frekuensi rendah yang khas. ε'' adalah kerugian yang tergantung pada frekuensi yang terkait dengan fenomena respons relaksasi pada molekul air. Konduktivitas kompleks ditunjukkan oleh

$$\sigma^* = \sigma' + i\sigma'' = j\omega\varepsilon_0\sigma^* \quad (19)$$

Tabel 1. Nilai dielektivitas material (Reynolds, 1991)

Material	ε_r	*V* (mm/ns)
Air	1	300
Water (fresh)	81	33
Water (sea)	81	33
Polar snow	1.4-3	194-252

Polar ice	3-3.15	168
Temperate ice	3.2	167
Pure ice	3.2	167
Freshwater lake ice	4	150
Sea ice	2.5-8	78-157
Permafrost	1-8	106-300
Coastal sand (dry)	10	95
Sand (dry)	3-6	120-170
Sand (wet)	25-30	55-60
Silt (wet)	10	95
Clay (wet)	8-15	86-110
Clay soil (dry)	3	173
Marsh	12	86
Agricultural land	15	77
Pastoral land	13	83
Average 'soil'	16	75
Granite	5-8	106-120
Limestone	7-9	100-113
Dolomite	6.8-8	106-115
Basalt (wet)	8	106
Shale (wet)	7	113
Sandstone (wet)	6	112
Coal	4-5	134-150
Quartz	4.3	145
Concrete	6-30	55-112
Asphalt	3-5	134-173
PVC, Epoxy, Polyesters	3	173

3.10 Desain Survei

Sangat penting untuk membuat rencana dan desain yang tepat untuk survei lapangan GPR. Hal ini diperlukan untuk mengoptimalkan akuisisi data di lapangan sehingga hasil yang diharapkan terpenuhi setelah mengumpulkan dan pemrosesan data. Hal itu diperlukan untuk menentukan beberapa parameter ketika merancang survei lapangan, termasuk juga frekuensi radar, jendela waktu, sampling temporal dan interval sampling.

3.10.1. Kesesuaian GPR (*suitability of GPR*)

Sebelum survei, sangat penting untuk menetapkan apakah metode ini akan efektif dan layak, jika tidak, seluruh pekerjaan survei akan membuang-buang waktu dan uang. Lingkungan yang sedang diselidiki perlu diperiksa untuk meminimalisasi berbagai halangan yang mungkin mempengaruhi hasil survei. Misalnya, benda-benda logam dan fitur struktural utama dapat sangat mempengaruhi hasil. Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan ketika memeriksa kesesuaian GPR:

1. Kedalaman target harus berada dalam kisaran kedalaman sistem GPR. Jika kedalaman target lebih tinggi dari jangkauan sistem GPR, maka pekerjaan survei tidak akan menghasilkan apa pun.
2. Target harus menunjukkan sifat listrik (konstanta dielektrik dan konduktivitas listrik) yang bervariasi dengan *subsurface* utama.

Harus dicatat bahwa dengan memperhatikan sifat listrik, kekuatan refleksi EM sebanding dengan besarnya variasi (kontras). Energi yang dipantulkan diberikan oleh koefisien refleksi (R).

$$R = \frac{\sqrt{V_2}-\sqrt{V_1}}{\sqrt{V_2}+\sqrt{V_1}} \quad (20)$$

Dimana V_1 dan V_2 adalah kecepatan dari lapisan 1 dan lapisan 2, target dan *subsurface* utama. Dalam semua kasus, *R* berkisar dari +1 dan -1 dengan nilai lebih jauh dari nol mewakili perbedaan yang lebih besar dalam sifat listrik.

3.10.2. Pemilihan frekuensi antena

Pemilihan frekuensi antena menentukan resolusi dan kedalaman penetrasi. Gelombang frekuensi rendah menembus lebih dalam daripada yang tinggi karena mereka tidak mengalami banyak redaman dibandingkan dengan gelombang setelahnya. Namun, resolusi akan semakin memburuk pada frekuensi yang lebih rendah. Pemilihan frekuensi antena yang optimal melibatkan *trade-off* antara resolusi spasial, kedalaman penetrasi dan portabilitas sistem. Sebagai aturan praktis, lebih baik melakukan *trade-off* resolusi untuk penetrasi, dengan resolusi tinggi menjadi tidak berguna jika target tidak dapat terdeteksi.

Ada tiga faktor yang pada dasarnya dipertimbangkan ketika memilih frekuensi antena. Ini adalah:

1. Resolusi spasial
2. Keterbatasan *clutter* dan
3. Kedalaman penetrasi

Masing-masing faktor menghasilkan kendala pada frekuensi.

Mempertimbangkan resolusi spasial yang diperlukan, dan mengasumsikan frekuensi pusat untuk rasio *bandwidth* 1, batas frekuensi pusat, fc memiliki rumus:

$$f_c^R > \frac{75}{\Delta z\sqrt{K}} MHz \qquad (21)$$

Dimana Δz adalah pemisahan spasial yang harus diselesaikan dalam meter dan K adalah konstanta dielektrik (permitivitas relatif).

Clutter mengacu pada sinyal radar yang dikembalikan dari heterogenitas material. Respon radar meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi, demikian pula peningkatan *clutter* dengan peningkatan frekuensi. Jumlah energi yang tersebar oleh *clutter* harus diminimalkan untuk melihat kedalamannya. batasan frekuensi pusat gangguan memiliki rumus:

$$f_c^C < \frac{30}{\Delta L\sqrt{K}} MHz \quad (22)$$

Di mana, ΔL adalah dimensi *clutter*

Terakhir, kedalaman frekuensi penetrasi mensyaratkan bahwa penampang target menempati bagian utama dari pancaran radar. Ini membutuhkan energi yang cukup untuk dipantulkan dan kemudian dideteksi. Dimensi target juga harus mendekati ukuran Zona Fresnel sehingga sinyal yang dipantulkan akan tiba dan terdeteksi di antena penerima. Batasan frekuensi ini memiliki rumus:

$$f_c^D < \frac{v\beta\sqrt{K-1}}{D} \quad (23)$$

Dimana β adalah jejak sinar radar untuk ukuran target rasio dan D adalah kedalaman dalam meter. Dalam survei GPR, β dapat diasumsikan 4, menghasilkan ke:

$$f_c^D < \frac{1200\sqrt{K-1}}{D}\ MHz \quad (24)$$

Pada akhir perhitungan batasan frekuensi, perlu dicatat bahwa

$$f_c^D < f_c < \min(f_{cD}, f_c^C$$

Jika itu terjadi bahwa frekuensi resolusi lebih besar dari dua lainnya, maka resolusi spasial yang diinginkan tidak sesuai dengan dimensi *clutter* atau penetrasi kedalaman.

Tabel 2 memberikan panduan cepat untuk pemilihan frekuensi. Data didasarkan pada asumsi bahwa resolusi spasial yang dibutuhkan adalah sekitar 25% dari kedalaman target.

Tabel 2. Antena Frekuensi Sebagai Fungsi Kedalaman Penetrasi

Depth (m)	*Centre Frequency* (MHz)
0.5	1000
1.0	500
2.0	200
7.0	100
10.0	50
30.0	25
50.0	10

3.10.3. Jendela waktu (*time window*)

Estimasi time window memiliki rumus:

$$W = 1.3\frac{2\times depth}{velocity} \qquad (25)$$

Dengan kedalaman maksimum dan kecepatan minimum yang mungkin diamati dalam pekerjaan lapangan yang digunakan. Persamaan tersebut menjelaskan ketidakpastian dalam variasi kedalaman dan kecepatan dengan meningkatkan perkiraan waktu sebesar 30%. Dengan tidak adanya informasi tentang sifat listrik dari

daerah survei, Tabel 3 dapat digunakan sebagai panduan untuk data ini.

Tabel 3. *Time Window (*Annan, 2003)

Depth (m)	Rock	Wet soil	Dry soil
0.5	12	24	10
1	25	50	20
2	50	100	40
5	120	250	100
10	250	500	200
20	500	1000	400
50	1250	2500	1000
100	2500	5000	2000

3.11 Prinsip Umum dalam Pemrosesan dan Interpretasi Data GPR

Data GPR diperlakukan sebagai kuantitas skalar tetapi masih pada bidang EM, dimana yang membentuk dasar dari metode ini adalah jumlah vektor. Pengolahan data GPR sangat penting dan sangat bermanfaat sebelum interpretasi yang sama, bagaimanapun, itu harus memiliki biaya yang efektif.

3.11.1. Pengeditan data (*data editing*)

Pengeditan data adalah proses yang paling memakan waktu namun sangat penting. Ini mencakup reorganisasi data, penggabungan file data, *header* data atau pembaruan informasi latar belakang, reposisi dan penyertaan informasi ketinggian dengan data. Akuisisi data di lapangan sering termasuk kesalahan, kelalaian atau redundansi data dan panggilan ini untuk membalik, menggabungkan atau menghilangkan beberapa *trace*.

3.11.2. Koreksi statis (*static correction*)

Koreksi statis melibatkan penyesuaian waktu awal (pengaturan waktu nol) dan koreksi topografi. Penyesuaian waktu-nol melibatkan penyelarasan posisi waktu-nol umum. Jika posisi telah sejajar, semua pantulan di bawahnya akan disejajarkan dengan benar.

Demikian pula, koreksi topografi menempatkan data GPR dalam konteks spasial yang benar. Pada permukaan horisontal dan stratigrafi bawah permukaan, koreksi statis digunakan untuk mengoreksi data GPR, memposisikan ulang waktu mulai pada sumbu vertikal, sehingga menyesuaikan semua pantulan.

3.11.3. Penyaringan *dewow (dewow filtering)*

Jenis penyaringan sementara ini akan menghilangkan komponen frekuensi yang sangat rendah pada data. Komponen frekuensi sangat rendah pada data dikaitkan dengan induksi atau kemungkinan keterbatasan instrumen. Instrumen GPR moderen menerapkan proses ini secara otomatis.

3.11.4. Perolehan waktu (*time gain*)

Sinyal GPR cepat dilemahkan ketika mereka merambat ke bawah permukaan. Ini menyulitkan untuk menunjukkan informasi yang lebih dalam daripada dari bawah permukaan yang dangkal. Perolehan waktu melibatkan penggunaan semacam fungsi penguatan tergantung waktu untuk mengkompensasi hilangnya energi sinyal

karena atenuasi. Keuntungan meningkatkan bentuk visual dari profil GPR dan meningkatkan penampilan visual karena efek pelemahan sinyal dan kerugian akibat penyebaran geometrik. Untuk mengubah fungsi gain, kita harus mengubah *time window*.

3.11.5. Pengurangan/penghapusan *background*

Pengurangan *background* sering mengambil bentuk *high pass filter* atau menghilangkan *trace* rata rata. Penghapusan *trace* rata-rata bertujuan untuk menghilangkan pita horizontal dari profil karena gangguan sistem, *noise* dan refleksi. Hal ini memungkinkan sinyal lemah halus menjadi terlihat setelah diproses dengan meningkatkan penghapusan *noise* horizontal. Hal ini diperlukan untuk menerapkan pengurangan background di area-area yang dicurigai terjadi peristiwa horizontal yang menarik. Namun, biasanya tidak diperlukan kecuali peralatan yang digunakan memperoleh data cacat.

3.11.6. Frekuensi penyaringan (*frequency filtering*)

Filtering diterapkan untuk menghapus sistem atau suara yang diinduksi manusia pada frekuensi yang lebih tinggi atau lebih rendah dari sinyal GPR utama. Ini membuat *filtering* berfungsi sebagai perangkat pembersih, sehingga bagian GPR terlihat lebih baik. Harus dicatat bahwa meskipun data GPR telah dikumpulkan menggunakan sumber yang ditentukan dan frekuensi antena penerima, sinyal yang direkam termasuk pita frekuensi di sekitar frekuensi dominan ini. Pem-*filter*-an mencoba untuk menghilangkan

frekuensi tinggi atau rendah yang tidak diinginkan ini untuk menghasilkan gambar GPR yang dapat diinterpretasi. *High pass filter* akan menghilangkan frekuensi rendah dan mempertahankan yang tinggi sementara *low pass filter* mempertahankan frekuensi rendah. *Filter* yang menerapkan kombinasi dari dua efek ini dikenal sebagai *band pass filter*, dimana cenderung untuk menghapus frekuensi tinggi dan rendah, namun tetap mempertahankan semua frekuensi di *band pass*.

3.11.7. Dekonvolusi

Dekonvolusi adalah operasi penyaringan terbalik yang mencoba untuk menghapus efek dari *wavelet* sumber. Ia bekerja dengan mengompresi *wavelet* yang direkam sehingga m28enghasilkan resolusi data yang lebih baik. Dalam dekonvolusi, operator dirancang dengan asumsi bahwa *wavelet* sumber propagasi minimal dan bentuk gelombang yang dipantulkan memiliki sinyal reguler yang tidak menghamburkan energi. Ini tidak selalu benar karena tanah yang menjadi bagian dari antena dalam akuisisi data GPR, dan sumber biasanya bervariasi dari jejak ke jejak dan bukan fase minimum. Oleh karena itu perlu diketahui sumber selama pemrosesan data; jika tidak, itu akan menghasilkan menurunkan citra GPR. Annan dan Conyers mengkritik teknik ini karena tidak lurus ke depan dan tidak sering menghasilkan hasil yang berarti.

3.11.8. Migrasi

Hal ini berlaku untuk merekonstruksi gambar *aperture* sintetis yang memfokuskan sinyal yang tersebar, kolaps hyperbola ke reposisi yang memantulkan pantulan. Ini bertujuan untuk menghilangkan distorsi yang disebabkan oleh refleksi dalam pengumpulan data. Ketika menerapkan migrasi, operator harus memperhatikan kecepatan aslinya, asal dari pantulan terdistorsi dan jalur perjalanan gelombang.

3.11.9. Visualisasi volume

Meskipun demikian, profil GPR dapat diinterpretasikan setelah diproses, sementara dalam 2D, interpretasi akan sangat menarik jika profil diintegrasikan ke dalam blok 3D. Dengan kemajuan teknologi komputer, alat visualisasi 3D yang terjangkau dan mudah diakses telah dikembangkan untuk analisis data GPR Mengintegrasikan profil data ke 3D dari 2D dapat dilakukan pada file yang sudah diproses atau tidak. Ketika dilakukan pada file yang tidak diproses, mereka dapat diproses dengan cara yang sama saat dalam 3D. Visualisasi volume 3D membantu menganalisa dan memvisualisasikan blok dengan banyak cara, sehingga memberikan lebih banyak pilihan untuk interpretasi (Ninje, 2017).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Geofisika Lingkungan dan Rekayasa Teknik Geofisika, Universitas Lampung pada Bulan Agustus 2020 sampai April 2021.

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penilitian ini yaitu:

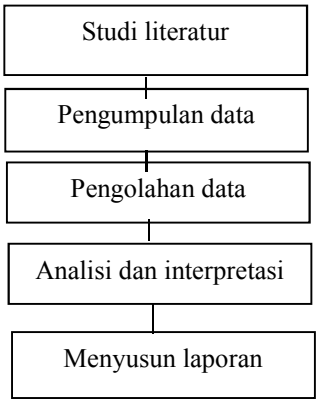
1. Data GPR
2. Laptop
3. *Software reflexw 8.5*

4.3. Diagram Alir

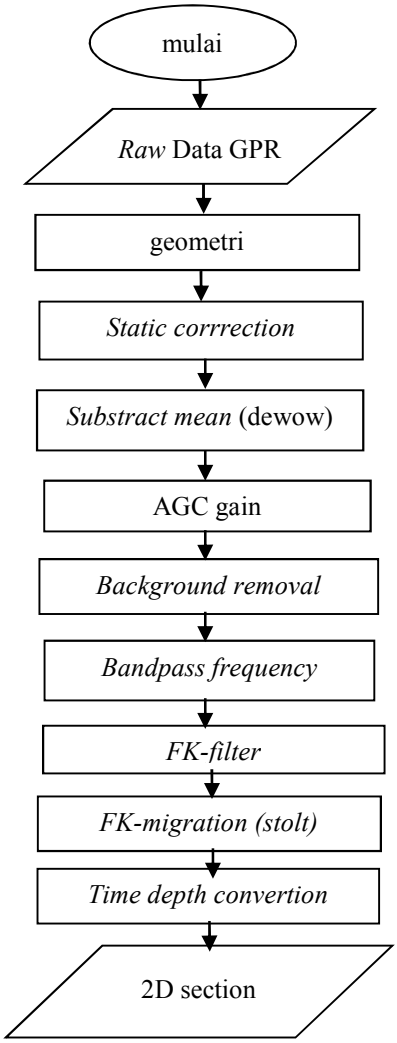
Alur dari penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur, mengumpulkan data penelitian, melakukan pengolahan data, lalu interpretasi hasil, dan menyusun laporan.

Proses pengolahan data/prosesing GPR pada penelitian ini dimulai dengan melakukan geometri data, lalu *filter*ing data yang meliputi *static correction, subtract-mean (dewow), AGC-gain, background removal, bandpass filter*

(frequency) dan *FK-filter,*selanjutnya dilakukan *FK-migrasi,* dan *time-depth conversion.*



Gambar 5. Diagram alir penelitian.



Gambar 6. Diagram alir pengolahan data.

1. *Static correction*

Tujuan dilakukanya koreksi ini adalah untuk mengembalikan waktu tiba pertama gelombang pada kontras lapisan pertama yang ditemukan (menempatkan posisi awal gelombang ke titik nol).

2. *Subtract mean (Dewow)*

Dewow adalah langkah prosesing yang dilakukan untuk menghilangkan frekuensi sangat rendah yang terekam dalam radargram. *Dewow* termasuk kedalam *temporal filtering*. *Wow* adalah *noise* frekuensi rendah yang terekam oleh sistem radar. Terjadi akibat instrumen elektronik yang tersaturasi oleh nilai amplitudo yang besar dari gelombang langsung *(direct wave)* dan gelombang udara.

3. *AGC-gain* (penguatan sinyal)

Pada pengambilan data selalu terjadi pelemahan energi sinyal pada batuan ataupun lapisan tanah karena frekuensi tinggi diserap lebih cepat dibandingkan dengan frekuensi rendah dan terjadi juga *spherical* divergensi yaitu energi gelombang yang menjalar berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat dari sumber dan hal ini sejalan dengan jarak dan waktu, maka untuk menghilangkanya dilakukan penguatan amplitudo yang hilang sehigga seolah-olah di setiap titik energinya sama.

4. *Background removal*

Removal background ini berguna untuk mengurangi lintasan rata-rata (*tracerange*) yaitu memberikan jarak jangkauan secara aktual pada suatu bagian. Koreksi ini melakukan pembersihan pada latar belakang,

menghilangkan energi koheren yang horizontal dengan frekuensi yang rendah. *Filter* ini diterapkan terhadap semua *trace* untuk menghilangkan *noise* yang selalu muncul secara konsisten pada seluruh profil, sehingga menutupi sinyal yang sebenarnya. Efek yang dilakukan pada proses ini adalah menghilangkan energi koheren yang horizontal.

5. *Bandpass filter (frequency)*

Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan (*noise*), dengan membatasi nilai jangkauan frekuensi sinyal pada radargram.

6. *FK – Migrasi*

Sebuah gabungan fk-*filter* dan migrasi yang dilakukan secara cepat untuk profil 2D, migrasi ini bertujuan untuk menelusur balik energi difraksi dan refleksi pada sumber-sumbernya.

Tabel 4. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir

No	Kegiatan	Waktu							
		Agustus	Septem	Okto	Nov	Dese	Januari	Februari	April
1	Studi literatur								
2	Pengumpulan data								
3	Seminar usul penelitian								
4	Pengolahan data								
5	Analisis hasil								
6	Seminar hasil penelitian								
7	Sidang komprehensif								
8	Penyusunan laporan								

VI. SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

1. Lapisan *concrete* lantai *basement* RSP Unila memiliki ketebalan rata-rata 2 meter.
2. Kedalaman lapisan sedimen kompak di bawah lapisan rata-rata yaitu 2 sampai 10 meter, sedangkan keberadaan lapisan sedimen kompleks rata-rata berada di kedalaman 10 hingga 32 meter.
3. Lapisan batuan di RSP Unila secara umum didominasi oleh lapisan batuan *clay*, dan secara kompleks terdapat cempuran antara batuan *clay-sand* (lempung-pasiran), *bolder-bolder* batuan, dan rekahan aliran air.

6.2 Saran

Sebaiknya penelitian GPR didukung dengan data *core* dan data tambahan lainnya agar lebih mudah dilakuan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

Adiyono. 2009. *Menghitung Kontruksi Beton Untuk Pengembangan Rumah Bertingkat Dan Tidak Bertingkat*. Griyakreasi, Jakarta.

Annan, A.P., 2003. *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures & Applications*.: Sensors & Software Incorporated.

Gunawan, R. 1993. *Pengantar Teknik Fondasi*. Penerbit Kanikus, Yogyakarta.

Mangga, S.A., Amirudin, Suwarti, T., Gafoer, S., dan Sidarto. 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia.

Ninje, D.J. 2017. Treatment, Processing And Interpretation Of Data Acquired From The Archaeological Site Of Castro De Ul, Northern Portugal. (Dissertation). University of Porto. Portugal

Parkinson, G. and Ekes, C. 2008. Ground Penetrating Radar Evaluation Of Concrete Tunnel Linings. *12th International Conference On Ground Penetrating Radar*. Birmingham, U K.

Prat, P.C., Ledesma, A., Cuadrado, A., and H. Levatti. 2013. Ground Penetrating Radar System For Detection Of Desiccation Cracks In Soils. *The Third International Symposium on Computational Geomechanics (ComGeo III).*

Rasimeng, S. and Mandang, I. 2018. Identification Of Eroded Sediment Layer Thickness And Depth Of Mahakam River At Tenggarong Bridge Area, Kutai Kartanegara East Kalimantan Using Ground Penetrating Radar Method. *The 1st International Conference on Geoscience (ICoGeS) Hasanuddin University Makassar.*

Rasimeng, S., Sukma, A.M., Krisningrum, N.N., Assyiffa, T.N., Alami, F., and Alhadi, A. 2018. Ground Penetrating Radar (GPR) For Identifying The Depth Of Spun Pile Gas Station At Batam. *The 43rd Annual Scientific Meeting of Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.* Semarang, Indonesia.

Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. West Sussex, England.

Wiyono, H. A. 2016. Identifikasi Lapisan Aluvial Dan Lempung Di Danau Saguling, Kabupaten Bandung Barat Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Ziboon, T.A., Mohammed, N.S., and Annam, G.H. 2017. Ground Penetrating Radar as a Non-Destructive Evaluation Method of Concrete Slabs. *International Journal of Current Engineering and Technology*.