

**IDENTIFIKASI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR) DI MUARA SUNGAI
WAY SEPUTIH, LAMPUNG TENGAH**

(Skripsi)

Oleh

Lucky Larasati

2115051039



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**IDENTIFIKASI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR) DI MUARA SUNGAI
WAY SEPUTIH, LAMPUNG TENGAH**

Oleh

Lucky Larasati

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

IDENTIFIKASI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR) DI MUARA SUNGAI WAY SEPUTIH, LAMPUNG TENGAH

Oleh

Lucky Larasati

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lapisan sedimen bawah permukaan di Muara Sungai Way Seputih, Kabupaten Lampung Tengah, menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR). Data diperoleh melalui tiga lintasan pengukuran dengan antena 100 Mhz dan diolah melalui tahapan, *dewow*, *gain*, *background removal*, *bandpass filter*, dan *time depth conversion*. Interpretasi radargram mengindikasikan tiga lapisan utama, yaitu kolom air, sedimen pasir jenuh air, dan batu gamping sebagai batuan dasar. Ketebalan sedimen berkisar 9-25 meter dan cenderung meningkat ke arah laut, mencerminkan proses sedimentasi yang aktif akibat pengaruh aliran sungai dan pasang surut. Pola refleksi yang terlihat juga menggambarkan dinamika pengendapan yang dipengaruhi oleh interaksi antara aliran sungai, arus pasang surut, serta transportasi material sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GPR efektif dalam memetakan struktur sedimen bawah permukaan serta memberikan informasi penting bagi pengelolaan lingkungan pesisir di wilayah muara.

Kata Kunci: *Ground Penetrating Radar*, Ketebalan Sedimen, Muara Sungai, Way Seputih

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE LAYERS USING GROUND PENETRATING RADAR (GPR) IN THE ESTUARY OF THE WAY SEPUTIH RIVER, CENTRAL LAMPUNG

By

Lucky Larasati

This study aims to identify subsurface sediment layers in the estuary of the Way Seputih River, Central Lampung Regency, using the Ground Penetrating Radar (GPR) method. Data were collected from three survey lines using a 100 MHZ antenna and processed through several stages, including dewow, gain, background removal, bandpass filter, and time depth conversion. Interpretation of the radargrams indicates three main layers: the water column, water-saturated sand sediment, and limestone as the bedrock. The sediment thickness ranges from 9 to 25 meters and tends to increase toward the sea, reflecting active sedimentation influenced by river flow and tidal processes. The observed reflection patterns also illustrate dynamic deposition controlled by interactions between river discharge, tidal currents, and sediment transport. The results show that GPR is effective for mapping subsurface sediment structures and provides important information for coastal environmental management in the estuarine area.

Key word: Ground Penetrating Radar, Sediment Thickness, River Estuary, Way Seputih

PERSETUJUAN

Judul Skripsi : **Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan
Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar*
(GPR) di Muara Sungai Way Seputih, Lampung
Tengah**

Nama Mahasiswa : **Lucky Larasati**

Nomor Induk Mahasiswa : 2115051039

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



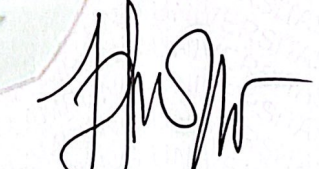
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2


**Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.,
C.EIA., IPM**

NIP. 197307162000121002


Isti Nur Kumalasari, M.T

NIP.199707152022032027

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

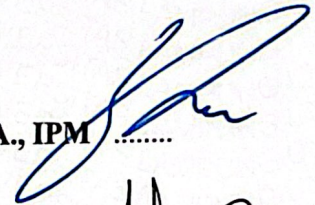

Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM

NIP. 197307162000121002

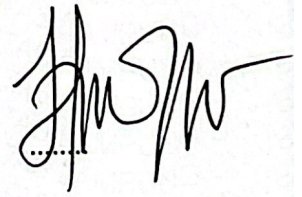
PENGESAHAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM



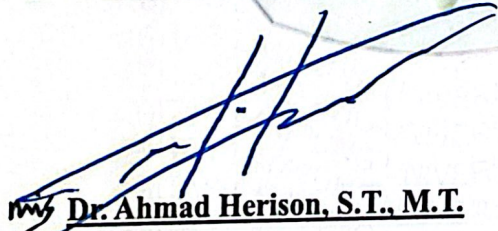
Sekretaris : Isti Nur Kumalasari, M.T



Anggota : Dr. Rustadi, S.Si., M.T



2. Dekanat Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP.196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Januari 2026

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul **“Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) di Muara Sungai Way Seputih, Lampung Tengah”** merupakan karya ilmiah mandiri bukan merupakan karya orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma kaidah, dan etika penulisan.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Januari 2026

Penulis,



Lucky Larasati

2115051039

RIWAYAT HIDUP



Penulis dengan nama lengkap Lucky Larasati, lahir di Panutan, 31 Juli 2003 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan yang bahagia Bapak Tarmin dan Ibu Sulasih. Penulis berkebangsaan Indonesia dan beragama Islam. Pendidikan yang pernah ditempuh oleh penulis, yaitu pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Aisisyah Patoman pada tahun 2009, Pendidikan Sekolah

Dasar di SD N 02 Panutan selesai pada tahun 2015, selanjutnya menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Pagelaran yang terselesaikan pada tahun 2018 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Pringsewu selesai pada tahun 2021.

Tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai organisasi kampus diantaranya menjadi anggota Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa TG Bhuwana Universitas Lampung pada tahun 2023 dan pada tahun 2024 penulis bergabung menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Wilayah 1 dan di amanahkan menjadi ketua divisi internal pada tahun 2024-2025. Penulis bergabung menjadi anggota Mahasiswa Teknik Pecinta Alam Universitas Lampung pada tahun 2023, tahun 2021 bergabung menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa Persaudaraan Setia Hati Terate Universitas Lampung dan diamanahkan menjadi Bendahara Umum. Selain itu, penulis juga dipercaya menjadi Asisten Praktikum Analisis Sinyal Geofisika pada tahun 2025 di jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT.*Soil Investigation Survey & Engineering Services* dengan judul laporan “Identifikasi Litologi dan Klasifikasi

Tanah menggunakan Metode Seismik *Downhole* pada Sumur SD-010 daerah Tuban, Jawa Timur” pada November 2024. Penulis juga melaksanakan kuliah kerja nyata (KKN) di Desa Braja Sakti, Kecamatan Way Jepara, Lampung Timur pada bulan juni 2024. Pada saat masa studi, penulis melakukan Tugas Akhir di Jurusan Teknuk Geofisika, Universitas Lampung untuk memperoleh gelar sarjananya hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada Januari 2026 dengan Judul “Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) di Muara Sungai Way Seputih, Lampung Tengah.

Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik geofisika, serta menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, skripsi ini aku persembahkan untuk orang-orang tercinta yang selalu ada dan senantiasa menjadi sumber doa, semangat, dan inspirasi dalam hidup saya.

AYAHANDA DAN IBUNDA TERCINTA

TARMIN

&

SULASIH

Skripsi ini kupersembahkan untuk Ayah dan Bunda tercinta. Terima kasih atas cinta, kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang tidak pernah berhenti mengiringi setiap langkahku. Dari kecil hingga kini, kalian adalah alasan terbesar aku bisa berdiri tegak dan melangkah sejauh ini. Tidak ada pencapaian yang lebih berharga selain bisa membuat kalian bangga. Skripsi ini hanyalah setetes kecil dari rasa hormat, cinta, dan terima kasihku yang tak terbatas kepada kalian berdua.

KAKAK TERSAYANG

LUSCY ARYA PUTRI

Terima kasih kupersembahkan dengan penuh cinta untuk kakakku tersayang. Terima kasih sudah selalu ada, jadi tempatku bersandar, dan tak pernah lelah ketika aku sering merepotkanmu dengan segala macam permintaan dan keluhan. Dari kecil sampai besar, kau selalu hadir memberi jalan keluar tanpa mengeluh. Kesabaran dan ketulusanmu jadi salah satu alasan aku bisa berdiri sampai di titik ini. Semoga skripsi sederhana ini bisa menjadi tanda kecil betapa aku bersyukur punya kakak sebaik dirimu. Doain adikmu terus ini ya mba lusecy semoga bisa sukses kelak.

ADIKKU TERSAYANG

LUTVI ARYA KASIH

Untuk adikku yang bikin kesel tapi selalu aku rindukan, makasih udah nemenin perjalanan panjang kakakmu ini dengan segala caramu. Candaan, dukungan, bahkan ribut-tibut kecil kita justru menjadi penguatku. Karya kecil ini aku persembahkan juga untukmu.

ANGKATAN 2021

TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG

Untuk teman-teman breksi, terima kasih atas tawa, semangat, dan kebersamaan yang selalu bikin perjalanan kuliah ini lebih berwarna. Kalian bukan hanya teman seperjuangan, tapi juga keluarga kedua yang selalu ada dalam suka maupun duka

Semua orang yang terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir

MOTTO HIDUP

“Cukuplah Allah bagiku, tidak ada Tuhan selain Dia. Hanya kepada-Nya aku bertawakal, dan Dia adalah Tuhan yang memiliki ‘Arsy yang agung”

QS. At-Taubah:129

“Hidup bukan untuk saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri. Tak ada yang tau, kapan kau mencapai tuju”

Baskara Putra - “Besok Mungkin Kita Sampai”

“Go easy on me, baby”

Adelle – “Easy On Me”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena berkat limpahan Rahmat dan Karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) di Muara Sungai Way Seputih, Lampung Tengah”** dengan baik. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis juga menyadari karya ini masih memiliki kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengembangan khususnya di bidang geofisika.

Bandar Lampung, 21 Januari 2026
Penulis,

Lucky Larasati
NPM.2115051039

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) di Muara Sungai Way Seputih, Lampung Tengah”**. Proses penyusunan skripsi bukanlah perjalanan yang singkat, tetapi melalui berbagai tahap, tantangan dan pembelajaran yang memberikan pengalaman berharga bagi penulis.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat, baik sebagai tambahan pengetahuan maupun sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik sejenis. Oleh karena itu, dengan rasa hormat dan rendah hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM. Selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
3. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM. selaku dosen pembimbing pertama saya, yang telah dengan sabar memberikan arahan, bimbingan, serta ilmu yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas waktu, perhatian, serta dukungan yang Bapak berikan, mulai dari tahap awal hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Setiap masukan dan koreksi dari Bapak menjadi bagian penting dalam perkembangan kemampuan akademik saya.

4. Ibu Isti Nur Kumalasari, M.T selaku dosen pembimbing kedua saya, saya ucapkan terima kasih banyak, yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan masukan yang sangat berharga sepanjang proses penyusunan skripsi ini. Setiap arahan yang ibu berikan menjadi pedoman penting dalam penyempurnaan penelitian dan penulisan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran dan dukungan yang ibu berikan hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Dr. Rustadi, S.Si.,M.T. selaku dosen penguji, terima kasih atas koreksi dan arahan yang diberikan untuk penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Rudy Zefrianto Sinambela, S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik, terima kasih atas arahan yang diberikan dari awal hingga akhir perkuliahan ini.
7. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung saya ucapkan terima kasih sebesar-besarnya yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan. Semua ilmu yang diberikan menjadi bekal penting bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini maupun melangkah ke jenjang selanjutnya.
8. Kepada ayahku tercinta dan bundaku sayang, aku ucapkan banyak terimakasih kalian adalah alasan terbesarkku untuk terus berjuang. Terimakasih untuk setiap doa, pelukan, dan pengorbanan yang tidak pernah bisa aku hitung.semoga langkah kecilku ke depan bisa menjadi kebahagiaan buat kalian, karena bahagiaku juga ada di senyum kalian.
9. Luscy Arya Putri dan Lutvi Arya Kasih selaku kakak dan adikku yang tercintahhh, terimakasih atas dukungan, *support* dan kasih sayang kalian, meskipun *support*-nya cuma nyuruh cepet-cepet lulus biar galama-lama di kampus tapi makasih banyak khususnya mb luscy yang cantik dan baik hati sudah mau direpotkann dengan adikmu yang bentar-bentar tolong ini.
10. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Fatih Izzuddien Alqosam. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya. Telah menjadi rumah pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, memberi

semangat untuk pantang menyerah. Semoga Allah selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui.

11. Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada sahabat-sahabat terbaik saya Ginanda Salfira biasa saya panggil ginnut orang yang kalo diajak kemana aja gas tapi waktunya kurang pas, Soraya Tiana Dewi sang pemberi motivator dan nasihat dari awal maba, Nani Yuniza orang yang selalu ngajak saya berantem tapi sebetulnya itu bentuk sayang yang akan selalu saya rindukan.
12. Terima kasih yang tak terhingga untukmu, Tali Atiqah juita Sari, teman seperjalanan yang selalu ada di setiap suka maupun duka. Kamu bukan hanya sahabat, tapi juga tempat berbagi segala hal mau nangis ketawa kamu pasti ada, tanpa harus menjelaskan apa-apa kamu sudah paham.
13. Grace Maria Magdalena teman seperjuangan dengan metode yang sama, pusing bareng-bareng, *strolling around* Bandar Lampung di jam-jam rawan, dan jadi teman nongkrong skripsi tiap malam di tempat kopi yang sekarang pasti bakal kita sebut “tempat nostalgia perjuangan”. Tanpa kamu, perjuangan ini mungkin bakal terasa jauh lebih gila dari yang sudah-sudah.
14. Terimakasih kepada teman-teman saya Wenti, Sekar, Disa, Nindi, Dini yang pernah membersamai penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk setiap dukungan, candaan penghilang stres, kerja bareng di meja penuh kopi, serta semangat yang tidak pernah habis. Kehadiran kalian membuat perjalanan sulit ini terasa lebih ringan dan penuh cerita.
15. Terima kasih untuk seluruh teman-teman angkatan 2021. Waktu yang udah kita lalui masa-masa kuliah yang ngga mudah, dari pusing bareng sampai ketawa bareng, pergi bareng-bareng, semuanya akan jadi bagian perjalanan yang bakal selalu aku inget. Semoga kita semua bisa terus melangkah ke masa depan dengan jalur masing-masing, tapi tetap saling dukung dan ngga lupa kalau kita pernah berjuang bareng di titik yang sama. 2021 teteo solid dan sampai bertemu di puncak kesuksesan masing-masing.
16. Seluruh pihak yang memberikan bantuan kepada penulis namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas bantuan, semangat, dan doa baik yang diberikan kepada penulis selama ini

17. *Last but not least*, untuk Lucky Larasati. Terima kasih sudah mau menepikan ego dan memilih untuk kembali bangkit dan menyelesaikan semua ini. Kamu selalu berharga terima kasih banyak sudah bertahan, penulis berjanji bahwa kamu akan baik-baik saja setelah ini. Kamu keren dan hebat, Lucky.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, serta menjadi langkah awal bagi penulis untuk terus belajar dan berkembang di dunia keilmuan.

Bandar Lampung, 21 Januari 2026
Penulis,

Lucky Larasati
NPM.2115051039

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN.....	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO HIDUP	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
SANWACANA	xiv
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Lokasi Daerah Penelitian.....	5
2.2. Geologi Regional Daerah Penelitian	5
2.3. Stratigrafi	8
2.4. Daerah Aliran Sungai Way Seputih	9
2.5. Muara Sungai.....	12
2.6. Sedimentasi.....	14
2.6.1. Pengertian Sedimentasi.....	14

2.6.2. Klasifikasi Lingkungan Sedimentasi	15
2.6.2.1. <i>Continental Environment</i>	16
2.6.2.2. <i>Transitionaenvironment</i>	17
2.6.2.3. <i>Marine Environment</i>	17
2.7. Karakteristik Batimetri Muara Sungai Way Seputih	18
2.8. Kecepatan Arus Laut.....	21
2.9. Banjir	23
2.10. Penelitian Terdahulu	25
III. TEORIDASAR	28
3.1. Gelombang Elektromagnetik.....	28
3.2. Metode <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR)	32
3.3. Prinsip Kerja <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR)	34
3.4. <i>Skin Depth</i>	36
3.5. Akuisisi Data <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....	38
3.6. Pengolahan Data Metode GPR.....	41
3.7. Interpretasi Data Metode GPR.....	42
IV. METODE PENELITIAN.....	44
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	44
4.2. Alat dan Bahan.....	44
4.3. Jadwal Pelaksanaan	44
4.4. Diagram Alir	49
4.5. Prosedur Penelitian	50
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	58
5.1. Hasil dan Analisis	58
5.1.1. Lintasan 1	59
5.1.2. Lintasan 2.....	60
5.1.3. Lintasan 3.....	62
5.2. Model 3D <i>Surface</i>	64
5.3. Hasil <i>Picking</i> dan Interpretasi Batas lapisan	69
VI. PENUTUP	71
6.1. Kesimpulan.....	71

6.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Stratigrafi daerah penelitian	9
2. Penelitian terdahulu.....	25
3. Rentang nilai kecepatan gelombang radar pada beberapa material	31
4. Besaran frekuensi dan penetrasi.....	37
5. Pelaksanaan kegiatan penelitian.....	44
6. Nilai parameter fisis hasil interpretasi lintasan 1	59
7. Nilai parameter fisis hasil interpretasi lintasan 2	61
8. Nilai parameter fisis hasil interpretasi lintasan 3	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Titik lokasi penelitian.....	6
2. Peta geologi regional daerah penelitian	7
3. Peta daerah aliran sungai lokasi penelitian	11
4. Peta topografi dan batimetri daerah penelitian.....	20
5. Peta kecepatan arah dan arus laut.....	22
6. Peta resiko bencana banjir lokasi penelitian	24
7. Spektrum gelombang elektromagnetik	28
8. Sistem GPR.....	33
9. Skema pengambilan data GPR.....	35
10. <i>Radar Reflection Profiling</i>	39
11. <i>Wide Angle Reflection and Refraction</i>	39
12. <i>Common Mid Point</i>	40
13. Radar Tomografi	40
14. Karakteristik refleksi data GPR untuk interpretasi litologi.....	43
15. Diagram alir	49
16. (a) Sebelum dilakukan <i>static correction</i> (b) Sesudah dilakukan <i>static correction</i>	51
17. (a) Sebelum dilakukan <i>static correction</i> (b) Sesudah dilakukan <i>static correction</i>	51
18. (a) Sebelum dilakukan <i>subtract mean (dewow)</i> (b) Sesudah dilakukan <i>subtract mean (dewow)</i>	49
19. (a) Tampilan sebelum <i>gain function</i> (b) Tampilan sesudah <i>gain function</i>	50
20. (a) Tampilan sebelum <i>background removal</i> (b) Tampilan sesudah <i>background removal</i>	52
21. (a) Tampilan sebelum <i>bandpass butterworth</i> (b) Tampilan sesudah <i>bandpass butterworth</i>	53
22. (a) Tampilan sebelum proses <i>fk filter</i> (b) Tampilan sesudah proses <i>fk filter</i> ..	55

23. (a) Tampilan sebelum <i>time depth conversion</i> (b) Tampilan sesudah <i>time depth conversion</i>	56
24. Peta pengukuran GPR lokasi penelitian	58
25. <i>Picking</i> kedalaman <i>seabed</i> dan batas lapisan sedimen lintasan 1	59
26. <i>Picking</i> kedalaman <i>seabed</i> dan batas lapisan sedimen lintasan 2	61
27. <i>Picking</i> kedalaman <i>seabed</i> dan batas lapisan sedimen lintasan 3	63
28. Model <i>surface seabed</i>	64
29. Model <i>surface</i> kedalaman batuan <i>basement</i>	65
30. Model <i>surface</i> area pengukuran, A. <i>sea level</i> (lapisan atas), B. <i>seabed</i> (lapisan tengah), dan C. kedalaman batuan <i>basement</i> (lapisan bawah)	67
31. Model <i>surface</i> kedalaman <i>seabed</i> (lapisan atas) dan kedalaman batuan <i>basement</i> (lapisan bawah)	68
32. Hasil <i>picking</i> batas lapisan berdasarkan pengukuran GPR pada alur pelayaran di Muara Sungai Way Seputih	69
33. Rekonstruksi model penampang lintang batas lapisan berdasarkan pengukuran GPR pada alur pelayaran di Muara Sungai Way Seputih	70

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai terpanjang ketiga di Provinsi Lampung dengan panjang sekitar 193 km adalah Sungai Way Seputih, yang mencakup daerah aliran sungai (DAS) seluas ± 749.299 hektar. Hulu sungai ini berada di Kecamatan Padang Ratu (Kabupaten Lampung Tengah) dan Kecamatan Pulau Panggung (Kabupaten Tanggamus), sementara hilirnya mengalir hingga Kecamatan Tanjung Raja (Kabupaten Lampung Utara) dan kemudian bermuara ke Laut Jawa (Edward, 2012). Wilayah sepanjang aliran sungai ini memiliki kondisi fisik dan pola penggunaan lahan yang beragam, mencakup kawasan industri, lahan pertanian, permukiman, danau, rawa, waduk, serta kawasan terbuka lainnya. Kompleksitas kondisi wilayah DAS Way Seputih menyebabkan dinamika hidrologi dan geomorfologi yang tinggi, termasuk proses sedimentasi (Pratiwi, 2023).

Salah satu komponen yang sangat penting dari sistem Sungai Way Seputih adalah bagian muaranya yang terletak di wilayah pesisir Kabupaten Lampung Tengah. Kawasan ini memiliki peran yang strategis bagi kehidupan masyarakat setempat. Muara sungai merupakan zona pertemuan antara air tawar dari sungai dan air asin dari laut. Pergerakan yang ditimbulkan pada kawasan muara sungai berdampak pada faktor fisis, wilayah sungai lebih dipengaruhi oleh debit aliran, sementara area laut dipengaruhi oleh pasang surut serta aktivitas gelombang. Kondisi fisik tersebut memberikan kontribusi terhadap perubahan bentuk lahan atau morfologi di sekitar muara. Perubahan morfologi ini umumnya disebabkan oleh proses sedimentasi, yaitu pengendapan material sedimen yang terbawa oleh aliran air pada kawasan muara sungai sehingga sungai akan mengalami pendangkalan (Pangestu dkk., 2020).

Muara Way Seputih, tepatnya di dekat Dermaga Kuala, mengalami pendangkalan yang parah karena pengikisan yang terjadi di hulu sungai. Kedalaman sungai pada kondisi surut kurang dari 2 m, sehingga penduduk di sekitar muara dapat berjalan menyebrang sungai (Kusdian, 2011). Sungai Way Seputih dimanfaatkan sebagai jalur pelayaran lokal, terutama oleh kapal-kapal nelayan dan perahu angkut yang melayani kebutuhan masyarakat di sepanjang aliran sungai hingga muara sungai. Fungsi pelayaran ini menjadikan Way Seputih berperan strategis tidak hanya sebagai sumber daya alam, tetapi juga sebagai jalur transportasi air yang menunjang aktivitas ekonomi lokal. Selain itu, material sedimen yang terbawa aliran sungai berpotensi untuk dimanfaatkan dalam industri material konstruksi, seperti pasir dan agregat. Dengan demikian, Sungai Way Seputih tidak hanya memiliki fungsi ekologis tetapi juga nilai strategis dalam aspek sosial-ekonomi masyarakat sekitar.

Kawasan muara Way Seputih merupakan bagian dari ekosistem pesisir yang rawan terhadap degradasi lingkungan. Oleh karena itu, penelitian di wilayah muara memiliki urgensi yang tinggi untuk mendukung penegolaan wilayah pesisir secara terpadu, baik untuk konservasi ekosistem, keberlanjutan aktivitas perikanan, maupun pemeliharaan jalur pelayaran lokal. Hal ini sejalan dengan kebijakan nasional mengenai pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil sebagaimana diatur dalam UU No.32 Tahun 2014 tentang Kelautan dan UU No.4 tahun 2011 tentang informasi geospasial, yang menekankan pentingnya pemetaan dan pemantauan sumber daya pesisir dengan metode yang efisien dan akurat.

Pengukuran langsung seperti pengambilan sampel inti dan survei bor dapat memberikan informasi geologi yang cukup akurat, namun metode tersebut bersifat destruktif, memerlukan biaya yang relatif tinggi. Untuk itu, penggunaan metode geofisika bersifat non-destruktif serta memiliki resolusi yang tinggi dalam mendeteksi perbedaan nilai dielektrik pada material dan formasi geologi yang berada di kedalaman relatif dangkal, seperti yang dimiliki oleh metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) menjadi alternatif yang efektif dan efisien dalam mendapatkan gambaran bawah permukaan secara cepat dan detail. GPR memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke dalam tanah dan

merekam gelombang pantulan dari batas antar lapisan yang memiliki sifat dielektrik berbeda (Putro dkk., 2019).

Pemanfaatan metode GPR dapat dilakukan untuk mengidentifikasi lapisan-lapisan di bawah permukaan wilayah muara sungai dengan resolusi tinggi. Dengan demikian penelitian ini bertujuan secara khusus untuk mendeteksi keberadaan lapisan, batas antar lapisan dan ketebalan lapisan bawah permukaan di Muara Sungai Way Seputih. Pendekatan ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam studi sedimentasi estuaria dan mendukung pengelolaan wilayah pesisir secara lebih efektif dan berkelanjutan.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencapai hal-hal berikut:

1. Mengidentifikasi sebaran lapisan bawah permukaan berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi radargram metode *Ground Penetrating Radar* (GPR).
2. Menentukan kedalaman dan ketebalan masing-masing lapisan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan pada area penelitian.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang dijadikan fokus dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian difokuskan di wilayah Muara Sungai Way Seputih yang terletak di pesisir Kabupaten Lampung Tengah.
2. Metode yang digunakan untuk akuisisi dan interpretasi data bawah permukaan adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR).
3. Penelitian difokuskan pada identifikasi tiga lapisan utama bawah permukaan, yaitu *seabed*, sedimen, dan basement, yang mencakup kedalaman serta ketebalan masing-masing lapisan.
4. Data GPR yang digunakan berasal dari survei lapangan pada periode tertentu, sehingga tidak menggambarkan perubahan kondisi lapisan secara musiman atau jangka panjang.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu mendukung pengembangan dalam bidang ilmu geofisika, khususnya dalam penerapan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) guna mendeteksi dan menganalisis lapisan sedimen bawah permukaan di wilayah muara. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan awal bagi instansi terkait dalam pengelolaan wilayah pesisir, khususnya dalam memahami sebaran dan ketebalan sedimen yang berpengaruh terhadap perubahan morfologi muara.

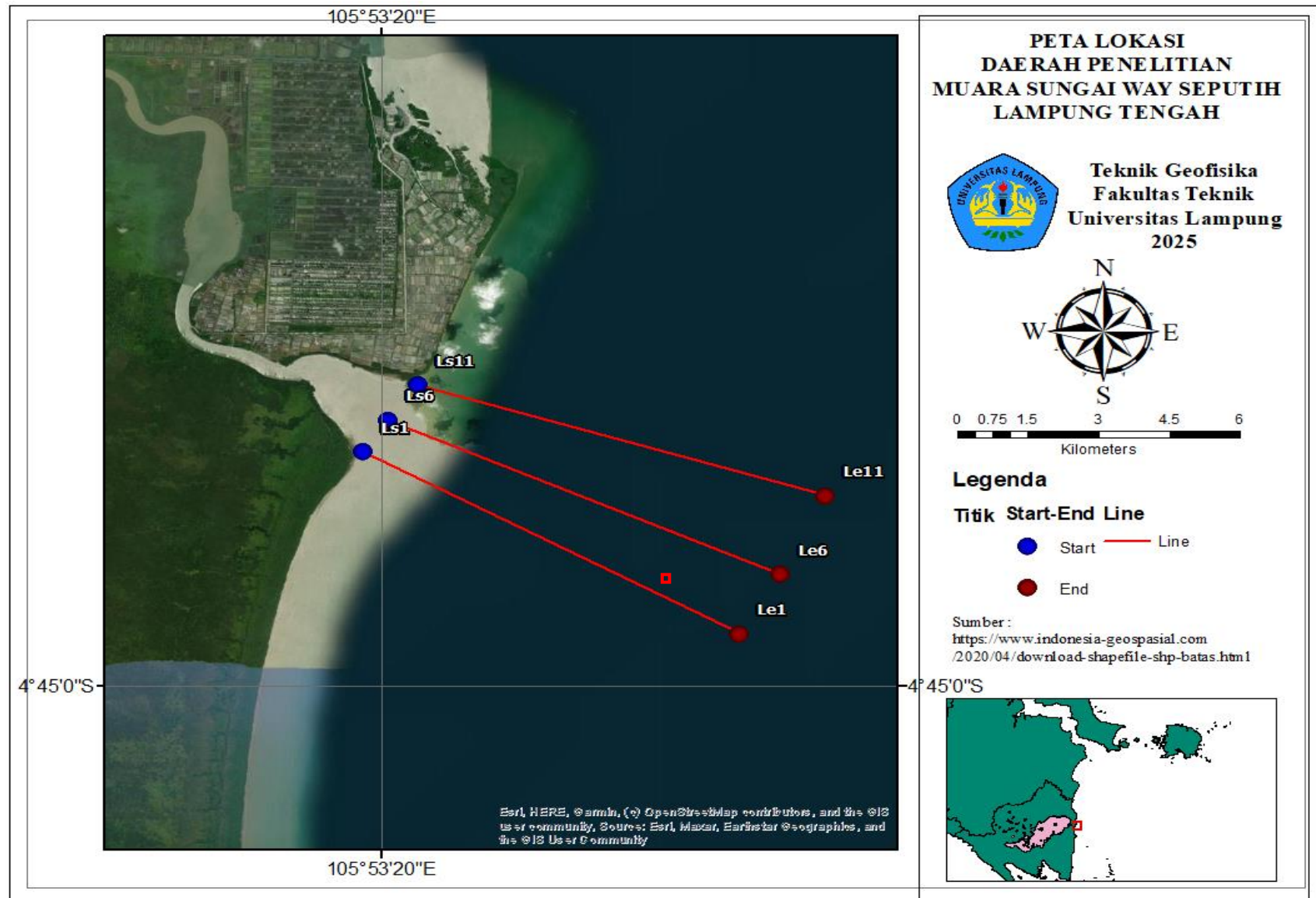
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

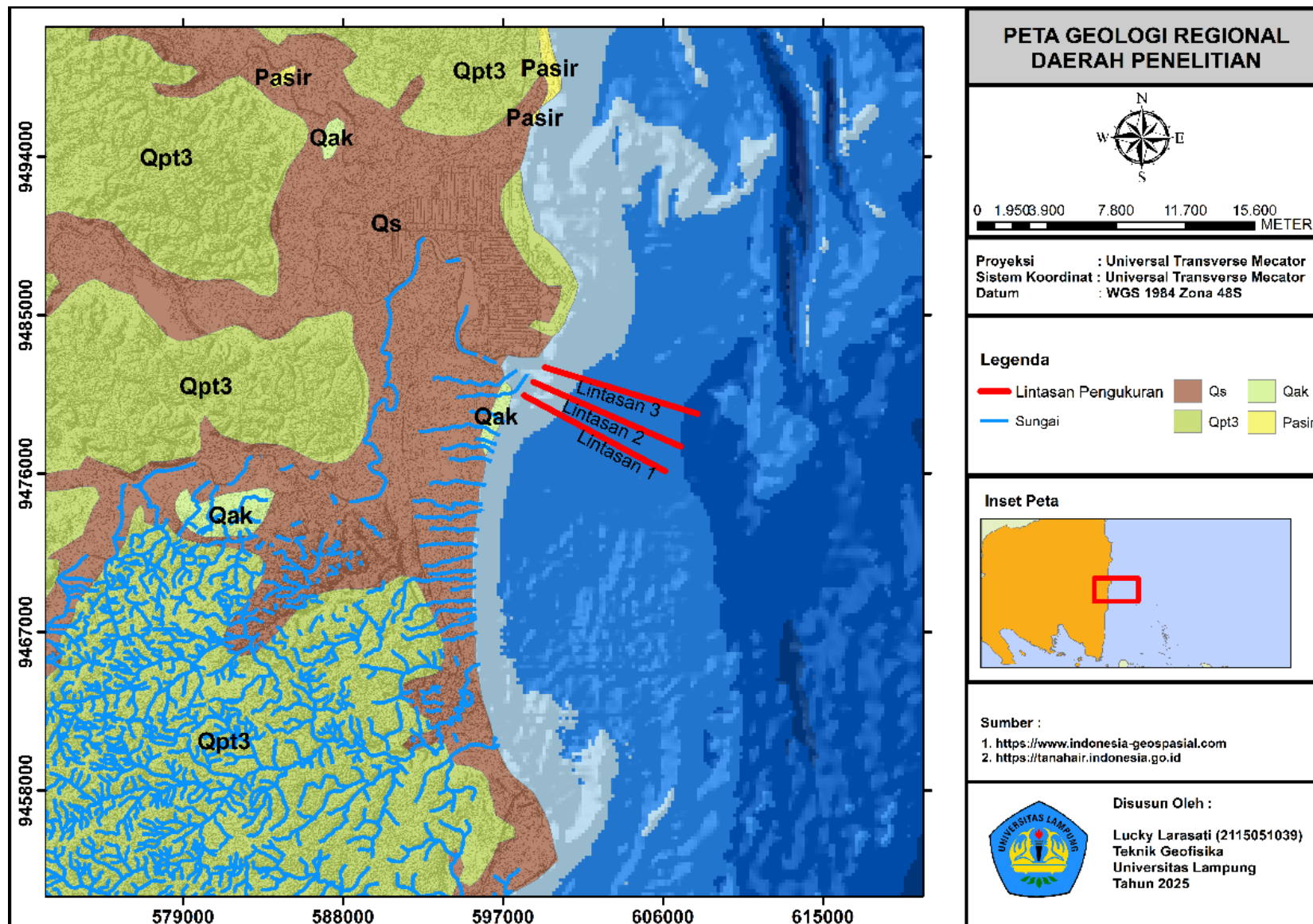
Lokasi penelitian berada di Muara Sungai Way Seputih Lampung yang terletak pada wilayah pesisir Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Berdasarkan peta lokasi, area mencakup wilayah transisi antara daratan dan laut yang ditandai oleh adanya muara sungai yang mengalir menuju Laut Jawa. Daerah ini sangat penting karena menjadi tempat bertemunya aliran sungai darat dan laut, sehingga berpotensi mengalami sedimentasi, abrasi dan perubahan garis pantai. Terdapat 3 lintasan pada pengukuran dengan proses pengambilan data dari. Lokasi titik pengukuran terdapat dalam Gambar 1.

2.2. Geologi Regional Daerah Penelitian

Peta geologi daerah penelitian berada di Sungai Way Seputih, yang termasuk ke dalam kawasan administratif. Kabupaten Lampung Tengah secara geologi terdapat beberapa formasi. Formasi geologi yang terdapat di Sungai Way Seputih – Muara Cabang terdapat pada Gambar 2. Menurut (Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, 2017) lokasi penelitian terletak pada Formasi Pasir Kuarsa (Qak). Pasir kuarsa di Lampung Tengah diperkirakan memiliki sumberdaya pasir kuarsa sebanyak 750 ribu ton. Sementara di daerah sekitarnya terdapat beberapa formasi seperti Endapan Rawa (Qs), Formasi Tebanggi (Qpt) dan Formasi Aluvium (Qa).



Gambar 1. Titik lokasi penelitian



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (Sumber: Indonesia Geospasial, Tanah Air Indonesia)

2.3. Stratigrafi

Berdasarkan Burhan dkk., (1993) pada peta geologi regional lembar Menggala daerah penelitian dan urutan stratigrafi pada Tabel 1, terdapat beberapa formasi dari umur tua ke muda, yaitu sebagai berikut :

a. Formasi Endapan Rawa (Qs)

Endapan rawa terdiri dari lempung, lumpur, lanau pasir dan gambut yang mengandung sisa tanaman. Dimana biasanya terdapat pada daerah rawa dan dekat dengan aliran sungai. Manfaat dari endapan rawa ini bagi masyarakat sebagai bahan material bangunan dan sering ditemukan ditambang pasir daerah Lampung Tengah.

b. Formasi Pasir Kuarsa (Qak)

Pasir kuarsa yang juga sering disebut sebagai pasir putih, terbentuk dari proses pelapukan batuan yang kaya akan mineral utama seperti kuarsa dan *feldspar*. Bahan pengisi pasir kuarsa merupakan hasil galian yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2). Lampung tengah diperkirakan memiliki sumber daya pasir kuarsa sebanyak 750 ribu ton. Pasir kuarsa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kaca, industri semen, dan sebagai bahan baku bangunan sehingga adanya pasir kuarsa dapat mengembangkan industri dan meningkatkan perekonomian masyarakat.

c. Formasi Terbanggi (Qpt)

Formasi terbanggi tersusun dari batuan pasir dengan sisipan batu lempung. Formasi merupakan formasi Kasai berumur Plistosen. Jenis batuan yang terdapat di formasi terbanggi ini yaitu jenis batuan sedimen. Batuan tersebut akan berdampak langsung terhadap keadaan sosial ekonomi masyarakat, yaitu dengan adanya penggunaan batuan tersebut sebagai bahan dasar bangunan dan juga sebagai bahan bakar (batu bara).

Tabel 1. Stratigrafi daerah penelitian (Burhan dkk., 1993).

Umur		Kolom Stratigrafi
Kuartar	Holosen	
	Pleistosen	
Tersier	Pliosien	
	Miosien	

2.4. Daerah Aliran Sungai Way Seputih

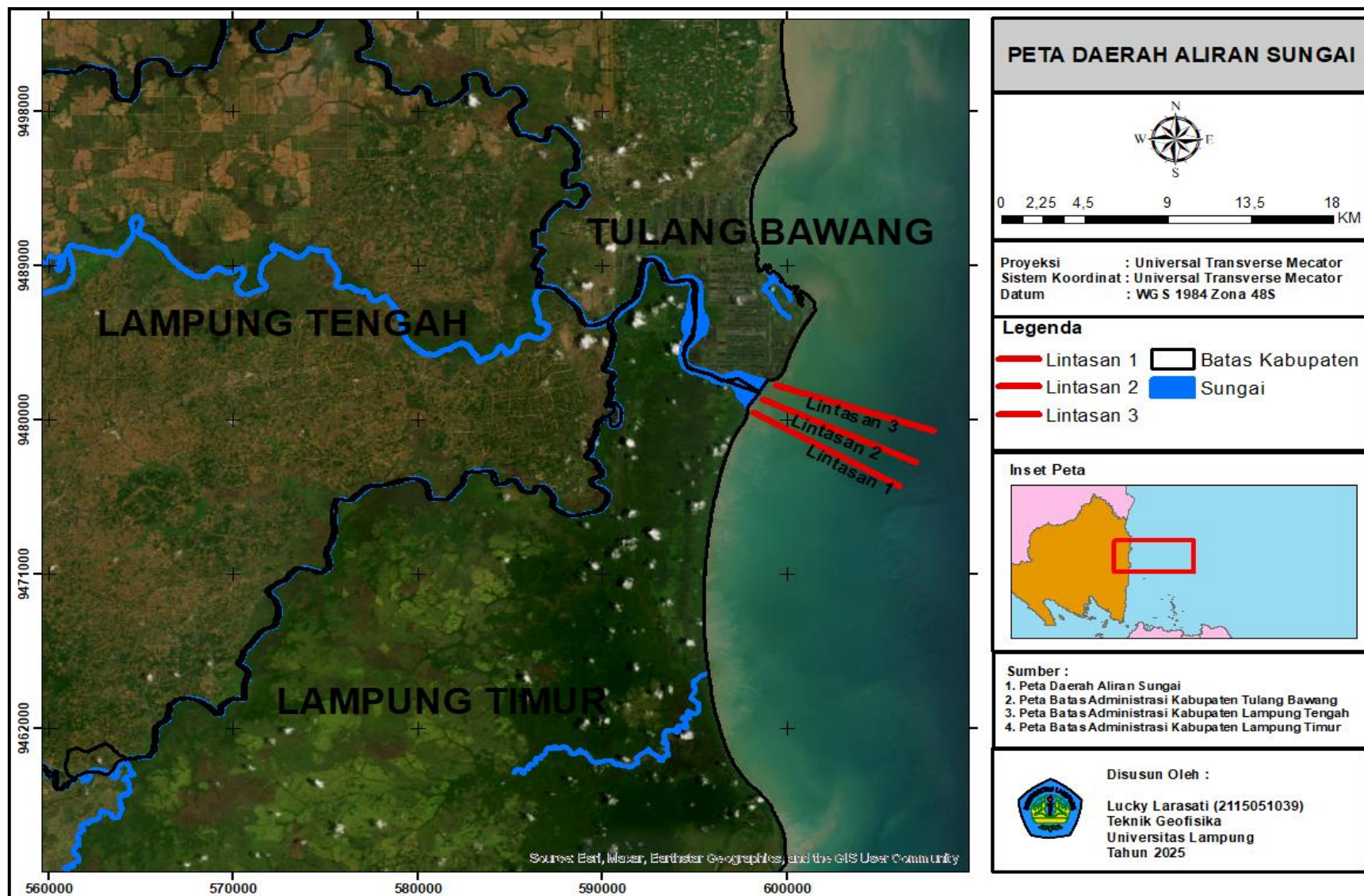
Daerah aliran sungai merupakan daerah yang dibatasi punggung gunung, dimana air hujan yang jatuh akan di tampung dan dialirkan melalui sungai kecil menuju sungai utama. DAS Way Seputih merupakan salah satu DAS yang rawan terhadap pencemaran akibat peningkatan berbagai kegiatan manusia seperti pertanian, kehutanan, perikanan, industri dan pertambangan. Dibagian hulu DAS ini terdapat lebih dari 25 buah pabrik yang terdiri dari industri tepung tapioka, asam sitrat, alkohol, gula, minyak kelapa sawit dan pabrik pengalengan nanas. Di sepanjang sungai Way Seputih, selain dimanfaatkan sebagai sarana transportasi air, juga di bagian hilirnya dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kegiatan perikanan seperti penangkapan ikan, budidaya ikan sistem keramba jaring apung yang sudah dimulai sejak bulan Januari 1998 dan pengairan tambak udang (Purnomo dkk., 2004).

Secara hidrologis, sungai – sungai di wilayah Lampung Tengah tergolong bagian dari Way Seputih dan Way Sekampus (WS). Kondisi hidrologi wilayah Lampung Tengah dipengaruhi oleh banyaknya sungai besar dan kecil. Salah satu sungai yang menjadi perhatian di Kabupaten Lampung Tengah adalah Sungai Way

Seputih yang memiliki panjang sungai 193 km dan melewati 12 kabupaten. Wilayah Way Seputih tergolong 7 (tujuh) aliran sungai di Provinsi Lampung. Luas sungai Way Seputih adalah 749.299,201 Ha. Kabupaten Lampung Tengah memiliki beberapa DAS, selain terdapat DAS Way Seputih, pada bagian selatan Kabupaten Lampung Tengah terdapat DAS Way Sekampung dan dibagian utara terdapat DAS Tulang Bawang. Oleh karena itu, Kabupaten Lampung Tengah dapat dibagi menjadi Tiga DAS yaitu:

1. DAS Way Seputih
2. DAS Way Sekampung
3. DAS Way Tulang Bawang

Terdapat kurang lebih 19 sungai dan anak-anak sungainya di wilayah Lampung Tengah. Sungai-sungai tersebut membelah dan melintasi Kabupaten Lampung Tengah dengan panjang total 813 km, lebih panjang dari keliling Kabupaten Lampung (517.077 km). Dilihat jumlah airnya, sebagian besar wilayah Lampung Tengah memiliki jumlah air antara 0,5 – 7,5 km², dan wilayah yang luasnya kurang dari 0,5 km² terletak di wilayah kecil Rumbia, Putra Rumbia dan Bandar Surabaya. Gambar 3 merupakan peta Daerah Aliran Sungai Kabupaten Lampung Tengah.



Gambar 3. Peta daerah aliran sungai lokasi penelitian

2.5. Muara Sungai

2.4.1. Pengertian Muara Sungai

Kawasan muara dikenal sebagai wilayah yang sangat subur dan produktif, karena adanya suplai material organik secara berkelanjutan dari daratan melalui aliran sungai maupun perairan sekitarnya. Proses pencampuran antara air dari sungai dan air dari laut, daerah muara dapat menimbulkan perubahan pada kondisi fisik oseanografi di wilayah tersebut. Muara sungai merupakan bagian hilir dari sungai yang terhubung langsung dengan laut. Isu-isu yang berkaitan dengan muara dapat dianalisis dari dua komponen utama, yaitu bagian mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai merupakan segmen paling hilir dari muara yang berbatasan laut dengan perairan laut, sementara estuari adalah zona sungai yang di pengaruhi oleh pasang surut laut. Muara sungai menjadi menyalurkan volume air sungai, khususnya banjir ke arah laut. Kemudian, muara sungai harus mampu mengalirkan debit yang dihasilkan oleh pasang surut air laut yang dapat lebih besar dari debit sungai. Sehingga muara sungai harus cukup lebar dan dalam (Kasim, 2020).

Muara Way Seputih Kabupaten Lampung Tengah yang bertepatan dekat dengan Dermaga Kuala mengalami pendangkalan yang parah, karena pengikisan ter bentuk di bagian hulu sungai. Saat air surut, kedalaman sungai menjadi kurang dari 2 meter. Oleh karena itu, masyarakat yang tinggal di sekitar muara dapat melintasi sungai dengan berjalan kaki. Dermaga Kuala berfungsi sebagai sarana pelayanan angkutan penyebrangan sungai, sebagai sarana mobilitas manusia dan distribusi barang. Dalam kasus pendangkalan sungai tersebut akan berdampak pada bencana banjir (Kusdian, 2011).

2.4.2. Proses-Proses Fisik di Muara Sungai

Muara sungai dipengaruhi oleh beberapa proses fisik yang kompleks dan saling berkaitan antara lain sebagai berikut :

- a. Arus pasang surut (*tidal current*), merupakan salah satu sumber energi utama dari muara sungai. Arus pasang (*flood*) membawa air laut masuk ke muara, sedangkan arus surut (*ebb*) mengalirkan air kembali ke laut. Pergerakan ini menghasilkan pola sirkulasi yang kompleks dan mempengaruhi distribusi salinitas serta transportasi sedimen. Kekuatan arus pasang surut juga menentukan tingkat pencampuran vertikal air yang berperan penting dalam homogenisasi kolom air.
- b. Aliran sungai (*river discharge*), merupakan aliran air dari sungai membawa volume besar air tawar dan sedimen ke muara. Debit sungai yang tinggi dapat memperkuat stratifikasi dengan membentuk lapisan air tawar di atas air asin menghasilkan kondisi muara tipe “*salt wedge*”. Sedangkan, debit yang rendah memungkinkan dominasi arus pasang surut menghasilkan kondisi muara yang lebih tercampur secara vertikal.
- c. Stratifikasi salinitas (*salinity stratification*), merupakan perbedaan densitas air tawar dan air asin menyebabkan stratifikasi vertikal dalam kolom air muara. Air tawar yang lebih ringan mengalir di atas air asin yang lebih berat, membentuk lapisan-lapisan dengan salinitas berbeda. Stratifikasi ini dapat menghambat pencampuran vertikal dan mempengaruhi distribusi oksigen.
- d. Sirkulasi estuarin (*estuarine circulation*), merupakan pola aliran residu yang terjadi akibat perbedaan densitas antara air laut dan air sungai. Air laut yang lebih asin dan padat mengalir masuk ke muara di lapisan bawah, sedangkan air tawar mengalir keluar ke laut di lapisan atas.
- e. Gelombang laut (*wave action*), gelombang laut terutama di muara yang terbuka dapat mempengaruhi dinamika muara dengan meningkatkan pencampuran air dan mengubah morfologi dasar muara. Interaksi antara gelombang dan arus pasang surut dapat memperkuat atau melemahkan stratifikasi tergantung pada intensitas dan arah gelombangnya.

- f. Pengaruh musiman dan iklim, dalam debit sungai intensitas pasang surut dan kondisi cuaca dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam dinamika estuari. Misalnya peningkatan curah hujan selama musim hujan dapat meningkatkan debit sungai, memperkuat stratifikasi dan mengubah pola sirkulasi, kemudian selama musim kemarau, arus pasang surut dapat menyebabkan pencampuran yang lebih homogen.

2.6. Sedimentasi

2.6.1. Pengertian Sedimentasi

Secara umum, sedimentasi dapat diartikan sebagai proses pengendapan. Namun, dalam pengertian yang lebih khusus, sedimentasi merupakan proses akumulasi material yang terbawa oleh aliran fluida, di mana material tersebut kemudian mengendap dan membentuk lapisan yang padat. Proses ini terjadi akibat adanya penumpukan material ketika aliran yang membawa material tersebut melambat atau terhambat. Jika dilihat dari sudut pandang geologi, material yang dimaksud meliputi batuan atau lapisan tanah. Selain oleh aliran fluida, sedimentasi juga dapat terjadi akibat tiupan angin atau mencairnya es. Perairan seperti laut, danau, serta sungai merupakan lokasi utama terjadinya penumpukan sedimen yang berkembang secara periodik. Tiap lapisan sedimen memiliki karakteristik yang berbeda, seperti ukuran pori, bentuk butiran, volume, densitas, dan bentuk fisiknya. Perbedaan karakteristik disebabkan oleh variasi kecepatan pengendapan selama proses terbentuknya lapisan sedimen (Basri, 2015).

Pada saat proses pengangkutan material, ukuran material yang memiliki ukuran besar dan massa lebih berat cenderung mengendap lebih awal, kemudian baru material yang lebih halus dan ringan. Bagian sungai yang paling baik dan banyak terjadi pengendapan adalah pada bagian hilir sungai atau bagian *slip of slope* (kelokan sungai), karena pada bagian ini umumnya terjadi kondisi penurunan energi yang signifikan. Ukuran partikel yang terendapkan berbanding lurus dengan besarnya energi yang dimiliki oleh media pengangkutnya, akibatnya semakin jauh

ke arah hilir, maka energi tersebut semakin berkurang dan material yang mengendap cenderung berukuran lebih halus. Sedimen memiliki kemampuan untuk diangkut melalui tiga cara yang berbeda, yaitu :

a. *Suspension*

Suspension terjadi pada sedimen berukuran sangat halus, seperti lempung, yang dapat dengan mudah terbawa oleh aliran air maupun angin karena ukurannya yang kecil .

b. *Bed load*

Bed load berlangsung pada sedimen berukuran relatif besar, seperti pasir, kerikil, kerakal, hingga bongkah. Pada proses ini, gaya dari aliran air yang cukup kuat dapat menggerakkan partikel-partikel besar di dasar sungai. Perpindahan butiran pasir mulai terjadi ketika kekuatan aliran melebihi tahanan butiran tersebut. Sedimen tersebut dapat bergerak dengan cara menggelinding, tergeser, atau bahkan saling mendorong satu sama lain di dasar aliran.

c. *Saltation*

Saltation yang berarti melompat, umumnya berlangsung pada sedimen berukuran pasir. Aliran fluida memiliki kekuatan untuk mengangkat dan membawa butiran pasir, kemudian karena gaya gravitasi yang bekerja dapat mengembalikan sedimen pasir tersebut ke dasar sungai (Wiyono, 2016).

2.6.2. Klasifikasi Lingkungan Sedimentasi

Klasifikasi lingkungan merupakan bagian permukaan bumi menunjukkan ciri-ciri khusus yang terbentuk dari hasil interaksi berbagai proses fisika, kimia dan biologis. Proses tersebut mengoperasikan sedimen dengan dipindahkan dan terakumulasi di suatu wilayah. Contohnya, komponen kimia yang mengalami pengendapan serta keberadaan organisme di wilayah tersebut dapat mempengaruhi mekanisme proses pengendapan. Proses akhir peristiwa ini akan menghasilkan karakteristik dan tipe pengendapan yang berbeda pada setiap zona lingkungan pengendapan (Basri, 2015). Klasifikasi lingkungan sedimen dibedakan menjadi 3 (tiga), antara lain :

2.6.2.1. *Continental Environment*

Continental environment merupakan lingkungan pengendapan yang terjadi di daratan. Lingkungan daratan, daerah pengendapannya dapat di klasifikasikan menjadi lima tipe, yaitu :

1. *Alluvial fans* adalah pengendapan yang berlangsung di daerah pegunungan. *Alluvial fans*, umumnya terjadi pada wilayah kering dengan curah hujan tidak menentu serta erosi dengan tingkat tinggi. Sedimen yang terbentuk dari *alluvial fans* berukuran kasar, *sortasi gravel* (krikil) dan pasir yang tersortasi.
2. *Fluival environment* yang berhubungan dengan pengendapan yang berlangsung di sekitar sungai atau *meander* terbentuk akibat sistem aliran sungai tersebut. Lingkungan terbagi menjadi 4 (empat) *subenvironment*, yaitu *Channel* tempat terbentuknya sedimen berupa : batuan kasar, kerikil yang berbentuk bulat dan pasir, *Bars* yang terdiri dari sedimen pasir dan kerikil, *Leaves* yang terdiri dari atas butiran pasir yang halus atau lanau, *Floodpains* yang umumnya mengandung lanau dan lempung.
3. *Lacustrine environment* adalah area pengendapan yang terjadi di danau. Sedimen yang terbentuk bervariasi, mulai dari lapisan dangkal hingga lapisan dalam, dan sering kali mengandung karbonat atau *evaporit sediment*.
4. *Desert (Aeolian atau aolian environment)* area yang mencakup sangat luas di mana pasir mengendap dan membentuk bukit pasir. Sedimen di bukit pasir ini memiliki sortasi yang baik dengan butiran bulat dan hampir tidak mengandung kerikil maupun lempung.
5. *Swamps (Paluda environment)* adalah sedimen yang terbentuk di daerah rawa yang di mana material organik dan mengendap bersama air pada lapisan tanah. Lingkungan ini sering kali menjadi tempat terbentuknya endapan batu bara.

2.6.2.2. *Transitional environment*

Transitional environment merupakan lingkungan pengendapan yang berlangsung pada daerah transisi antara daratan dan laut. Lingkungan pengendapan ini dapat diklasifikasikan menjadi 5 (LIMA) macam, yaitu:

1. *Delta* terbentuk akibat proses pengendapan yang berlangsung ketika aliran sungai bermuara ke badan perairan seperti danau atau laut. Material sedimen berukuran besar, seperti pasir kasar, umumnya terendapkan di sekitar tepian sungai. Sementara itu, partikel halus terbawa lebih jauh dan mengendap di bagian perairan yang lebih dalam.
2. *Estuarine* merupakan wilayah antara air tawar dari sungai dan air asin dari laut, yang membentuk zona transisi dengan karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang dinamis. Dipengaruhi oleh pasang surut laut, aliran sungai, dan aktivitas gelombang.
3. *Beach* merupakan pengendapan yang terjadi di pantai dan mempengaruhi energi gelombangnya. Sedimen ini didominasi pasir dan pengendapan organik.
4. *Lagoon* atau Laguna merupakan perairan atau danau yang dapat terbentuk di pembatas antara kepulauan dan lautan. Sedimen yang terendapkan bersifat lebih halus jika dibandingkan dengan pengendapan pantai, yang terdiri atas lempung (*clay*) dan lumpur (*mud*).
5. *Tidal flats* adalah area pengendapan yang terbentuk di pinggiran laguna.

2.6.2.3. *Marine Environment*

Marine Environment merupakan lingkungan atau zona pengendapan yang terjadi di wilayah laut atau samudera yang luas. Dapat dibagi menjadi 4 (empat bagian), yaitu :

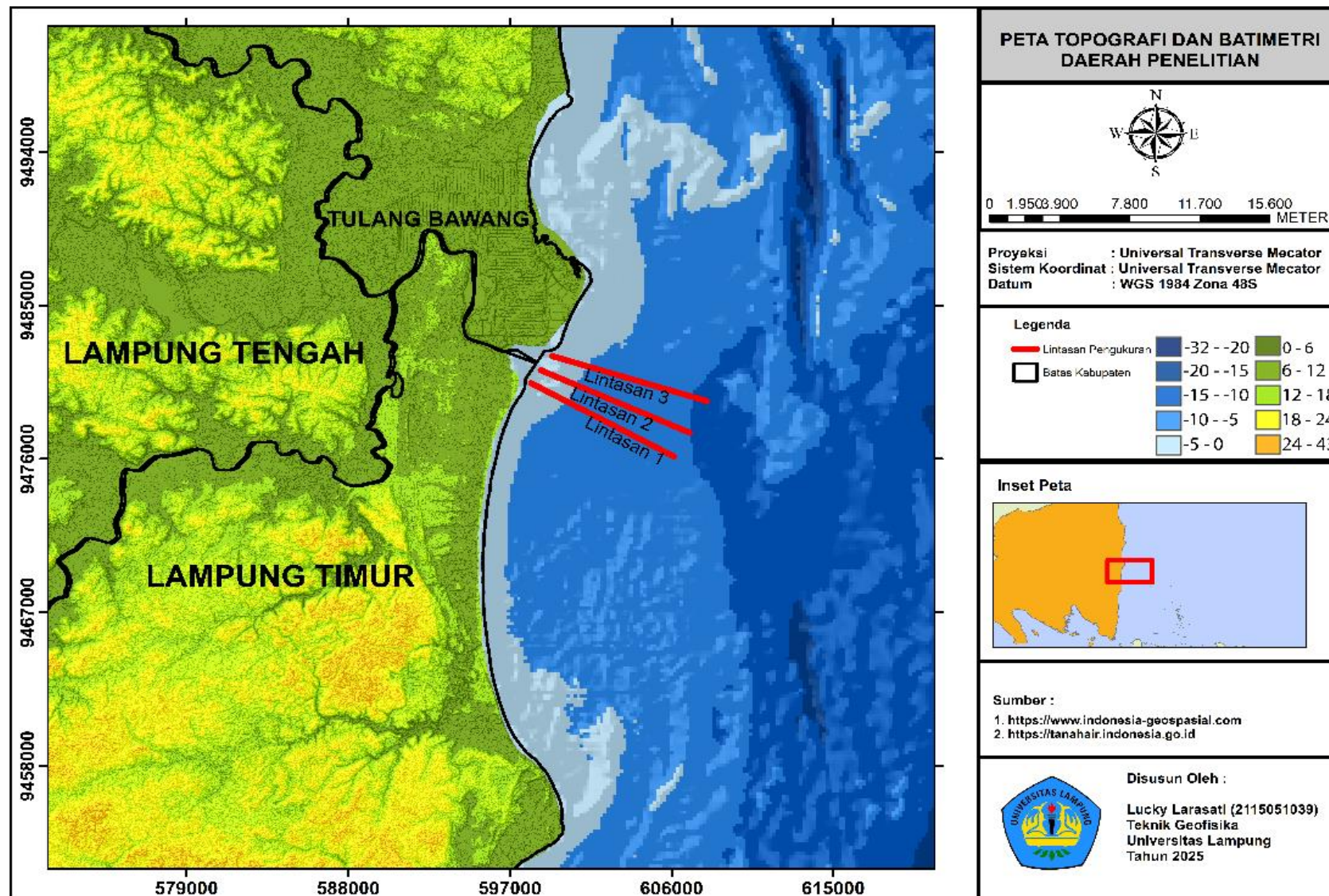
1. *Continental shelf* adalah area dasar laut yang berada di sekitar benua atau pulau-pulau, yang menurun secara perlahan mulai dari garis pasang surut terendah hingga kedalaman sekitar 130 meter.

2. *Continental slope* adalah area dasar laut yang berbatasan dengan *Continental shelf* yang memiliki kemiringan yang semakin curam dan menurun hingga kedalaman sekitar 1500-3500 meter.
3. *Continental rise* adalah area dasar laut yang berbatasan dengan *continental slope* yang menurun di kedalaman 3500 – 5500 meter.
4. *Abyssal plain*, yaitu dasar laut yang sangat dalam dan tidak termasuk dalam wilayah benua, mencakup area di luar batas *continental margin*. Di beberapa wilayah dasar laut, ditemukan lembah-lembah dalam dan curam yang dikenal (*trench*). Sementara di bagian lainnya, dasar laut memiliki struktur menyerupai pegunungan bawah laut atau *mountain ranges*.

2.7. Karakteristik Batimetri Muara Sungai Way Seputih

Batimetri merupakan pengukuran kedalaman atau ketinggian dasar laut, di mana peta batimetri menyajikan informasi detail mengenai topografi dasar laut. Peta batimetri sangat berguna di bidang kelautan, seperti dalam penentuan jalur pelayaran, perencanaan konstruksi di wilayah pesisir, serta pembangunan jaringan pipa bawah laut (Huda dkk., 2023). Kawasan muara Sungai Way Seputih, batimetri sangat penting untuk interpretasi geofisika. Berdasarkan peta topografi dan batimetri wilayah penelitian, Muara Sungai Way Seputih memiliki karakteristik morfologi estuarin, dengan arah aliran sungai menuju Laut Jawa di sisi timur. Muara ini terbuka lebar tidak adanya cabang sehingga mengindikasikan pengaruh laut yang dominan dan proses pasang surut yang signifikan terhadap dinamika muara. Berdasarkan peta batimetri terdapat 3 zona yang dapat dilihat pada kedalaman. Zona dangkal (0-5 meter) berada di dekat garis pantai, berwarna biru muda, Zona transisi (5-15 meter) mendominasi bagian tengah lintasan pengukuran, Zona dalam (>25 meter) mulai tampak pada bagian laut lepas dengan warna biru tua dan menunjukkan kecenderungan *slope* (kemiringan) landai dari muara ke *offshore*. Pola kontur batimetri yang terbentang secara paralel terhadap garis pantai menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki struktur dasar laut yang cukup stabil. Kemiringan dasar laut yang landai menunjukkan adanya *continental shelf* yang luas

memungkinkan proses sedimentasi dari muara sungai terjadi secara kontinu dan menyebar. Lintasan pengukuran batimetri (Lintasan 1, 2, dan 3) sejajar arah laut digunakan untuk mengetahui kedalaman dan mengidentifikasi zona-zona sedimentasi wilayah muara. Peta topografi dan batimetri daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



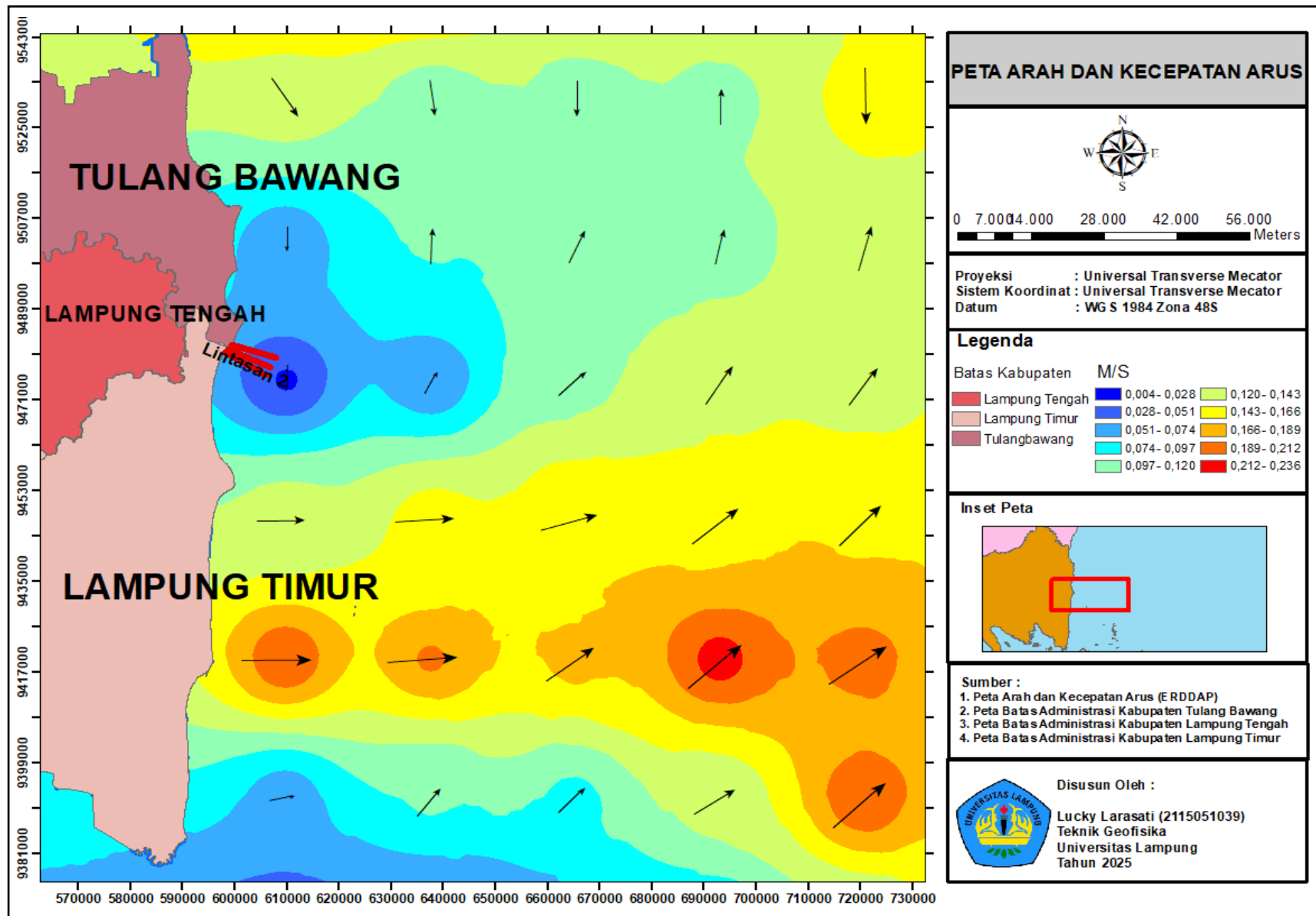
Gambar 4. Peta Topografi dan Batimetri Daerah Penelitian (Sumber: Indonesia Geospasial, Tanah Air Indonesia)

2.8. Kecepatan Arus Laut

Arus laut (*sea current*) terbentuk akibat berbagai faktor, seperti perbedaan tekanan, tiupan angin, variasi densitas air, serta pengaruh pasang surut. Faktor-faktor tersebut menyebabkan terjadinya perpindahan massa air dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Secara umum, arus laut di perairan Indonesia dipengaruhi terutama oleh angin dan pasang surut. Pada umumnya, arus laut di perairan Indonesia memiliki karakteristik yang dibangkitkan oleh angin dan pasut (Tanto dkk., 2017). Arus laut memiliki peran penting dalam proses perpindahan sedimen, karena sangat berkaitan dengan proses pengangkutan (*transport*) dan pengendapan (*sedimentation*) (Arvianto dkk., 2016).

Sedimen laut terbentuk dari proses pengendapan material berlapis, dengan sifat materialnya dipengaruhi oleh sumber asal serta proses yang terjadi selama pengendapan. Secara keseluruhan, karakteristik sedimen laut mencerminkan hasil endapan yang merupakan rekaman interaksi antara daratan, lautan, dan atmosfer (Permanawati dkk., 2016). Sedimen yang terdapat di wilayah muara sungai umumnya berasal dari kegiatan pertanian di Daerah Aliran Sungai (DAS), yang kemudian terbawa menuju muara melalui proses hidrodinamika

Kecepatan arus laut pada setiap kedalaman memiliki nilai rata-rata yang berbeda. Umumnya, kecepatan arus akan menurun seiring bertambahnya kedalaman perairan. Penurunan ini disebabkan oleh adanya gesekan antar lapisan air serta gesekan dengan dasar laut. Selain itu, angin juga dapat mempengaruhi kecepatan arus laut, terutama pada lapisan permukaan. Namun, pengaruh angin tersebut akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya kedalaman perairan (Pawitra dkk., 2022). Peta kecepatan arah dan arus laut ditunjukkan pada Gambar 5.

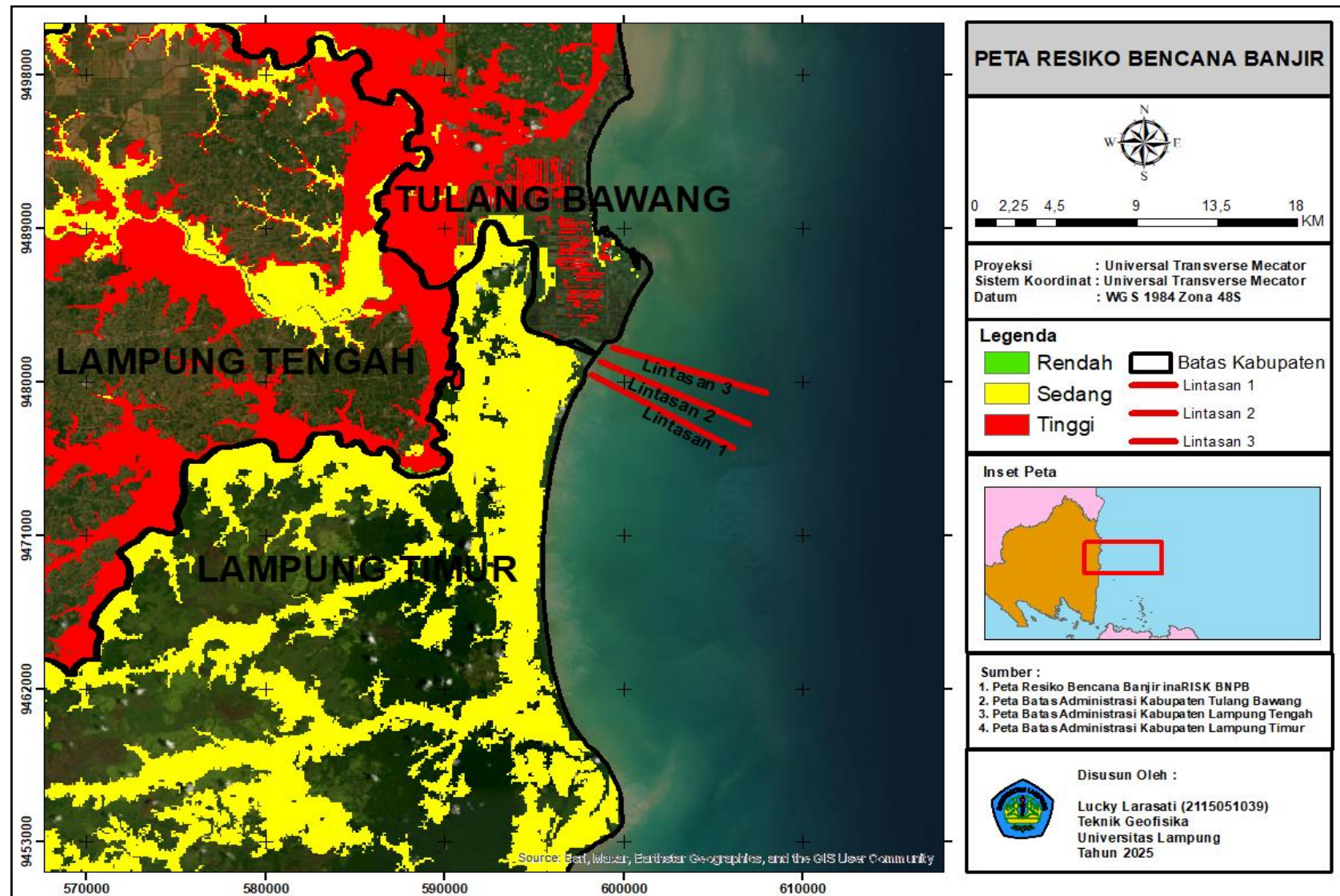


Gambar 5. Peta kecepatan arah dan arus laut

2.9. Banjir

Banjir adalah peristiwa alam yang sering terjadi, baik akibat meluapnya air maupun karena terbatasnya fasilitas untuk menampung kelebihan air. Aliran air dari berbagai sumber yang tersumbat atau tidak lancar dapat menyebabkan air menggenang di area-area tertentu, seperti pemukiman, lahan pertanian, maupun fasilitas transportasi. Genangan air yang berlangsung lama dapat menimbulkan kerugian bagi hampir seluruh makhluk hidup. Dampak banjir akan menjadi masalah serius ketika aktivitas manusia mulai terhambat, bahkan bisa menyebabkan kerugian materi hingga korban jiwa. Sungai Way Seputih terletak di Kabupaten Lampung Tengah dengan aliran yang melewati area irigasi rawa di kecamatan Seputih Surabaya (Amran & Safi'i, 2020).

Pada musim hujan, sungai Way Seputih sering meluap. Pada akhir februari 2018, terjadi banjir besar di kawasan irigasi rawa Seputih Surabaya. Banjir tersebut, disebabkan oleh tingginya curah hujan, sehingga sungai tidak mampu menampung air yang meningkat. Akibatnya, tanggul penahan banjir sepanjang $\pm 14,1$ km yang berfungsi melindungi lahan persawahan rawa tidak dapat menahan tekanan air dan akhirnya jebol di beberapa titik. Mengakibatkan tanggul penahan banjir jebol di beberapa titik. Hal tersebut menyebabkan banyak petani mengalami kerugian dan gagal panen karena area persawahan mereka terendam air banjir. Peta resiko bencana banjir lokasi penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta resiko bencana banjir lokasi penelitian

2.10. Penelitian Terdahulu

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Tahun	Studi Kasus
Identifikasi Endapan Sedimen di Sungai Way Seputih-Muara Cabang, Kabupaten Lampung Tengah Menggunakan Metode GPR (Agustin, 2024)	2024	Penelitian dilakukan untuk mengetahui jenis lapisan bawah permukaan sungai yang berperan dalam proses sedimentasi serta menentukan ketebalan dan kedalamannya dengan menggunakan data sekunder berupa hasil akuisisi GPR dengan panjang lintasan sekitar 14.97 km. Hasil interpretasi menunjukkan adanya empat jenis lapisan bawah permukaan yaitu air, lempung berpasir, pasir, dan pasir lanau. Kedalaman total mencapai ± 30 meter, dengan lapisan air berada di kedalaman 0-3 m, diikuti lempung berpasir (4-14 m), pasir (13-23 m), dan pasir lanau (23-30 m). penelitian ini penting dalam pemanfaatan metode GPR untuk kajian sedimentasi sungai secara non-destruktif dan beresolusi tinggi.
Karakteristik Endapan Kuarter dan Keberadaan Air Tanah Berdasarkan Penafsiran Data Georadar di Pesisir Pantai Barat Daya Pulau Rote (Zulfikar dkk., 2020).	2020	Pulau di bagian selatan wilayah Indonesia terbentuk karena adanya tumbukan antara dua lempeng benua, yaitu lempeng benua Australia dan Asia yang menyebabkan proses pengangkatan daratan yang masih berlangsung hingga sekarang. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi karakteristik litologi endapan kuarter dan kemungkinan keberadaan air tanah.

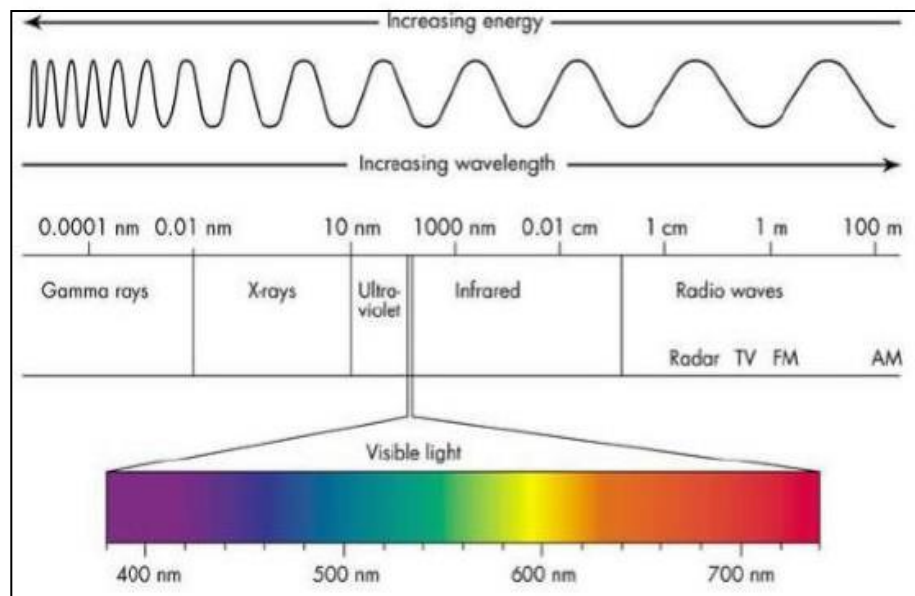
		Identifikasi fasies radar menghasilkan kondisi geologi bawah permukaan di kedalaman 15 – 30 meter adalah batupasir yang dapat dibandingkan dengan Formasi Noele (Qtn). Pada kedalaman 2-15 meter terdeteksi lapisan yang terdiri atas batugamping bioklastik (batugamping koral) yang dapat dibandingkan dengan Batugamping Koral berumur Kuartar (Q1). Pada kedalaman 0-1 meter adalah endapan pantai berumur Holosen yang dapat dibandingkan dengan Endapan Alluvium dan Endapan Pantai (Qa). Keberadaan air tanah diperkirakan berada pada lapisan Batugamping Koral dengan kedalaman sekitar 12-15 meter.
<i>Using Ground-Penetrating Radar (GPR) to Investigate the Exceptionally Thick Deposits from the Storegga Tsunami in Northeastern Scotland</i> (Bristow dkk., 2024)	2024	Dornoch Firth adalah wilayah estuari di pesisir timur laut Skotlandia. Penelitian ini menggunakan metode GPR untuk memetakan sebaran endapan pasir tsunami di bawah permukaan tanah dan menilai ketebalan, kontinuitas, dan struktur stratigrafi endapan tsunami, terutama yang terkubur oleh sedimen estuarin halus. Ketebalan lapisan pasir tsunami mencapai 1.6 meter. Lapisan pasir cenderung menyebar luas namun bisa terpotong oleh aktivitas fluvial atau pasang surut setelah tsunami. Lapisan pasir tsunami ditemukan pada kedalaman ± 2.3 m, terkubur di antara lapisan gambut.

<i>Identification of Eroded Sediment Layer Thickness and Depth Mahakam River at Tenggarong Bridge Area, Kutai Kartanegara East Kalimantan using Ground Penetrating Radar Method</i> (Rasimeng dkk., 2019)	2019	Mengidentifikasi ketebalan dan kedalaman sedimen dasar Sungai Mahakam di sekitar Jembatan Tenggarong. Hasil penelitian menunjukkan kedalaman sungai 7-50 m dengan ketebalan sedimen 5-20 m, yang merupakan material hasil erosi daratan. Penelitian ini menunjukkan bahwa GPR efektif untuk analisis sedimen bawah permukaan sungai, sehingga relevan sebagai acuan dalam penelitian di muara Sungai Way Seputih.
--	------	---

III. TEORI DASAR

3.1. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah hasil dari dua medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus, dan merambat dalam arah yang saling tegak lurus terhadap medan tersebut (Hussein, 2007). Gelombang elektromagnetik memiliki spektrum gelombang yang terdiri tujuh macam gelombang dengan cepat rambat yang sama di ruang hampa adalah $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Gambar 7 menunjukkan spektrum gelombang elektromagnetik.



Gambar 7. Spektrum gelombang elektromagnetik (Bahri & Ayi, 2009)

Konsep dasar dari gelombang elektromagnetik didasarkan pada prinsip-prinsip dalam persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell ini menggambarkan sifat fisika secara matematis yang menjelaskan bagaimana terjadinya medan listrik dan medan magnet. Suatu ruang hampa atau medium udara, berikut merupakan persamaan-persamaan Maxwell dapat dituliskan dengan Persamaan 1 hingga 4 (Griffiths, 1999).

$$\nabla \cdot E = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad (1)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial D}{\partial t} \quad (4)$$

Keterangan :

ρ = Tahanan jenis ($\Omega.m$)

E = Kuat medan listrik (V/m)

J = Rapat arus (A/m^2)

B = Induksi medan magnet (tesla)

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

μ_0 = Permeabilitas magnetik

Gelombang elektromagnetik memiliki persamaan yang melalui medium dapat ditentukan oleh tiga sifat material, yaitu permitivitas listrik (ϵ), permeabilitas magnet (μ) dan konduktivitas listrik (σ) (Supriyanto, 2007). Persamaan nilai laju cahaya pada ruang hampa dapat dituliskan dengan Persamaan 5 sebagai berikut (Griffiths, 1999):

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 + \epsilon_0}} \approx 3.00 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (5)$$

Pada medium linear dan homogen, kecepatan gelombang elektromagnetik dapat dituliskan dengan Persamaan 6 sebagai berikut:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan yang ada di atas, konstanta dielektrik dapat dituliskan dengan Persamaan 7 sebagai berikut:

$$\frac{c}{v} = \frac{\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}}{\frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}} \quad (7)$$

Diperoleh Persamaan 8 sebagai berikut:

$$\sqrt{\epsilon_r} = \frac{c}{v} \quad (8)$$

Keterangan:

c = Laju cahaya (3.00×10^8 m/s)

v = Kecepatan gelombang elektromagnetik (m/s)

ϵ_r = Konstanta dielektrik relatif

Karakteristik material-material bumi ditentukan oleh komposisi dan kandungan yang dimilikinya. Komposisi dan kandungan tersebut berperan dalam mempengaruhi laju pergerakan dan pengurangan amplitud gelombang elektromagnetik. Efektivitas penerapan metode GPR dipengaruhi oleh variasi di bawah permukaan yang mengakibatkan gelombang di transmisikan. Perbandingan energi pantulan yang dikenal koefisien refleksi (R), bergantung pada perbedaan cepat rambat gelombang elektromagnetik dan lebih mendasar dengan perbedaan dari konstanta dielektrik relatif dari media yang berdekatan (Kustanto, 2015). Koefisien refleksi merupakan perbandingan energi yang dipantulkan dan energi yang masuk dapat dituliskan dengan Persamaan 9 (Agung dkk., 2011):

$$R = \frac{(V_2 - V_1)}{(V_1 + V_2)} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (9)$$

Dengan V_1 dan V_2 berturut-turut adalah kecepatan gelombang pada lapisan 1 dan 2, sedangkan ϵ_1 dan ϵ_2 merupakan konstanta dielektrik ϵ_r lapisan 2. ϵ didefinisikan sebagai kemampuan suatu material dalam menghantarkan muatan listrik ketika

dilalui oleh medan elektromagnetik. Persamaan diatas diterapkan dalam keadaan normal pada permukaan yang bersifat datar. Asumsi tidak ada sinyal hilang yang berkaitan dengan amplitudo sinyal (Kustanto, 2015). Tabel 3 merupakan rentang nilai kecepatan gelombang radar pada material.

Tabel 3. Rentang nilai kecepatan gelombang radar pada beberapa material (Reynolds, 2011)

<i>Material</i>	ϵ_1	$V(m/ns)$	<i>Conductivity (mS/m)</i>
<i>Air</i>	1	0.300	0
<i>Water (fresh)</i>	81	0.033	0.5
<i>Water (sea)</i>	81-88	0.033	3000
<i>Polar snow</i>	1.4-3	0.194 - 0.252	~0.5
<i>Polar ice</i>	3-3.15	0.168 - 0.172	$\leq 0.06-0.08$
<i>Template ice</i>	3.2	0.167	5×10^{-8}
<i>Pure ice</i>	3.2	0.167	5×10^{-8}
<i>Freshwater lake ica</i>	4	0.150	$1-10^{-6}$
<i>Sea ice</i>	2.5-8	0.078 - 0.157	10-100
<i>Permafrost</i>	2-8	0.106 - 0.212	0.1-10
<i>Active layer permafrost</i>	25	0.060	
<i>Gravel</i>	5	0.134	10
<i>Sand and gravel (unsaturated)</i>	3.5-6.5	0.118 - 0.160	0.007-0.06
<i>Sand and gravel (saturated)</i>	15.5-17.5	0.072 - 0.076	0.7-9
<i>Coastal sand (dry)</i>	5-10	0.095 - 0.134	0.01-10
<i>Sand (dry)</i>	3-6	0.122 - 0.173	$10^{-4}-1$
<i>Sand (wet)</i>	25-30	0.053 - 0.095	0.01-1
<i>Sand (golf course)</i>	10-25	0.060 - 0.095	0.1-10
<i>Silt (unsaturated)</i>	2.5-5	0.134 - 0.190	10
<i>Silt (saturated)</i>	22-30	0.055 - 0.064	1-100
<i>Clay (dry)</i>	2-5	0.134 - 0.212	≤ 100
<i>Clay (wet)</i>	8-40	0.047 - 0.106	2-100
<i>Till (unsaturated)</i>	7-21	0.065 - 0.113	2.5-10
<i>Till (saturated)</i>	24-34	0.051 - 0.061	2-5
<i>Moraine</i>	7-14	0.080 - 0.113	$10^{-5} - 10^{-7}$
<i>Marsh</i>	12	0.086	
<i>Peat (freshwater)</i>	57-80	0.033 - 0.040	≤ 40
<i>Agricultural land</i>	15	0.077	
<i>Pastoral land</i>	13	0.083	
<i>Soil (fine-grained)</i>	41-49	0.043 - 0.047	40
<i>Average 'soil'</i>	16	0.075	5
<i>Granite</i>	5-8	0.106 - 0.120	$10^{-3} - 10^{-5}$

<i>Material</i>	ϵ_1	$V(m/ns)$	<i>Conductivity (mS/m)</i>
<i>Limestone (dry)</i>	4-8	0.1 - 0.113	10-100
<i>Limestone (wet)</i>	6-15	0.077 - 0.122	
<i>Dolomit</i>	6.8-8	0.106 - 0.115	
<i>Basalt (wet)</i>	8	0.106	
<i>Norite</i>	7.4	0.110	
<i>Anorthosite</i>	7.2-8	0.106 - 0.112	
<i>Feldspathic pyroxenite</i>	7.6-8.6	0.102 - 0.109	
<i>Chromitite</i>	11.7-12.2	0.086 - 0.90	
<i>Pegmatite feldpathic</i>	8.3	0.104	
<i>melanorite</i>	8.2	0.105	
<i>Shale (wet)</i>	6-9	0.1 - 0.122	10-100
<i>Sandstone (dry)</i>	4-7	0.113 - 0.150	10^{-3} - 10^{-7}
<i>Sandstone (wet)</i>	6	0.122	10^{-2} - 10^{-3}
<i>Coal</i>	4-5	0.134 - 0.150	
<i>Quartz</i>	4.3	0.145	1-100
<i>Concrete</i>	4-30	0.055 - 0.150	1-100
<i>Asphalt</i>	3-5	0.134 - 0.173	
<i>PVC, Epoxy, Polyesters</i>	3	0.173	

3.2. Metode Ground Penetrating Radar (GPR)

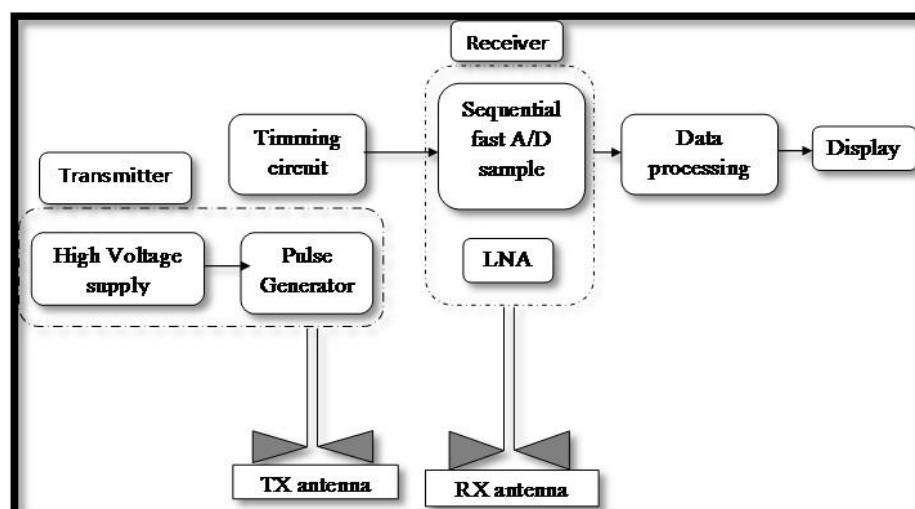
Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan teknik *non-destruktif* secara *real time* menggunakan gelombang radio berfrekuensi tinggi dan menghasilkan data resolusi sangat tinggi dengan waktu yang singkat. Teknik tersebut menggunakan gelombang elektromagnetik yang merambat dengan kecepatan tertentu dan ditentukan oleh permitivitas material (Yazdani dkk., 2018). Metode GPR menggunakan teknik penggunaan sistem *Electromagnetic Subsurface Profiling* (ESP), dengan memanfaatkan pantulan gelombang elektromagnetik daari permukaan tanah melalui antenna untuk pengukuran. Gelombang elektromagnetik dipancarkan dan dipantulkan dalam waktu yang singkat, yaitu dalam satuan waktu *nanosecond* (Allen, 1979).

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah sarana yang digunakan dalam identifikasi objek-objek yang terletak di bawah permukaan hingga kedalaman tertentu dengan memanfaatkan gelombang radio, umumnya dalam rentang frekuensi 10 MHz hingga 1GHz. Seperti sistem radar pada umumnya, GPR terdiri dari dua

komponen utama, yaitu pengirim (*transmitter*) terhubung ke sumber pulsa, dan bagian penerima (*receiver*) yang menghubungkan ke unit pengolahan sinyal dan citra. Terdapat beberapa hal untuk pemilihan jenis antena, sinyal transmisi, serta teknik pengolahan sinyal dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tipe objek yang hendak dideteksi, kedalaman letaknya, dan sifat elektrik dari medium tanah di area penelitian (Yulius dkk., 2008).

Pengukuran GPR merupakan metode yang tepat dalam mendeteksi benda-benda kecil di bawah permukaan bumi (0.1-3.0) meter. Kemampuan yang terdapat dalam metode ini adalah salah satu alasan yang sering digunakan para geologis dalam konteks kegiatan lapangan. Metode GPR, selain mudah digunakan dan efisien, juga mampu mengoptimalkan penggunaan anggaran survei jika dibandingkan dengan dengan metode lain seperti pemboran (Kustanto, 2015).

Sistem GPR tersusun atas komponen pemancar (*transmitter*), yaitu antena yang dihubungkan ke generator pulsa dan dikendalikan oleh rangkaian waktu (*timing circuit*). Sementara, bagian penerima (*receiver*) berupa antena yang terintegrasi dengan penguat sinyal rendah (*Low Noise Amplifier*) dan konverter analog ke digital (*Analog to Digital Conversion*), selanjutnya dihubungkan ke unit pemrosesan data dan perangkat tampilan sebagai media *output*-nya (Bahri & Ayi, 2009). Gambar 8 menunjukkan sistem GPR.



Gambar 8. Sistem GPR (Bahri & Ayi, 2009)

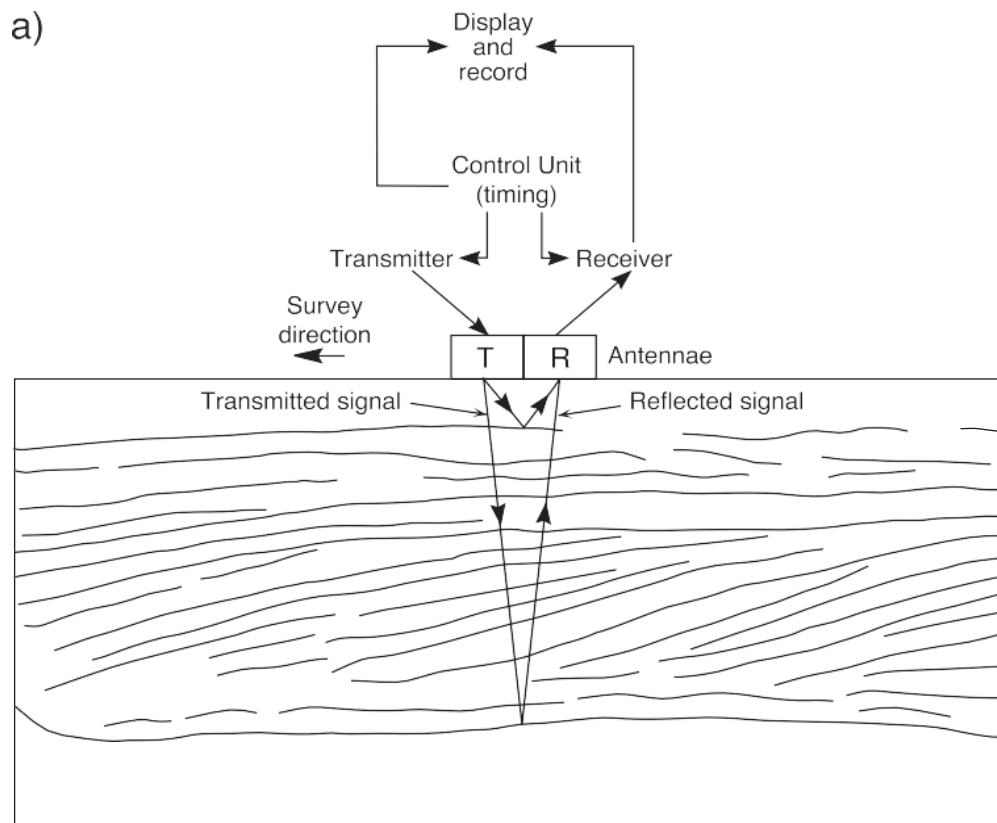
Proses pendeteksian, seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, akan menghasilkan citra yang menggambarkan posisi dan bentuk objek yang berada di bawah permukaan tanah. Supaya sistem pada GPR dapat bekerja secara optimal, terdapat empat persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu *coupling* radiasi yang optimal ke dalam tanah, penetrasi gelombang elektromagnetik yang efektif, serta kemampuan menghasilkan sinyal beramplitudo tinggi dari target yang terdeteksi dan *Bandwidth* yang memadai guna memperoleh resolusi yang baik (Agung dkk., 2011).

3.3. Prinsip Kerja *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Prinsip kerja dan proses pengoperasian GPR serupa dengan sistem yang digunakan pada radar, yaitu dengan menggunakan pantulan gelombang sinyal guna mengidentifikasi kedalaman suatu objek serta mengukur waktu tempuh sinyal tersebut. GPR menggunakan gelombang dengan panjang yang relatif pendek, sehingga tingkat akurasi menjadi lebih tinggi. Gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh *transmitter* secara berkala ke bawah permukaan tanah dalam bentuk prf (*pulse repetition frequency*), yaitu jumlah pulsa yang transmisiikan setiap detik. Penentuan prf didasarkan pada kedalaman target maksimum yang diinginkan, maka nilai prf harus diturunkan, sehingga durasi waktu tempuh sinyal menjadi lebih panjang (Handayani, 2007). Menurut Rasimeng dkk., (2019) perangkat *Ground Penetrating Radar* (GPR) tersusun dari beberapa komponen utama, salah satunya adalah *transduser* yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal dengan mengganti arus listrik menjadi gelombang elektromagnetik. Gelombang ini kemudian dipancarkan ke bawah permukaan tanah melalui antenna. Dalam sistem ini, antenna pemancar (*transmitter*) bertugas mengirimkan sinyal elektromagnetik, sedangkan antenna penerima (*receiver*) berfungsi menangkap gelombang elektromagnetik yang dipantulkan. Pada saat gelombang radar mengenai batas material dengan karakteristik yang berbeda secara signifikan, sebagian energi gelombang dapat dikembalikan dan akan berbentuk impuls sekunder. Impuls selanjutnya, diterima oleh antenna penerima dan direkam sebagai data hasil pengamatan. Jika data ini diinterpretasikan dengan tepat, maka dapat

memperlihatkan gambaran struktur bawah permukaan dari target atau materi. Pengambilan data secara berkelanjutan dalam skala horizontal pada radargram dipengaruhi oleh kecepatan pergerakan antenna saat proses akuisisi data berlangsung.

Prinsip dasar metode GPR ini adalah dengan memancarkan gelombang radio berfrekuensi tinggi ke dalam tanah melalui pemancar (*transmitter*) dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil gelombang yang merambat akan dikembalikan ke permukaan dan kemudian ditangkap oleh antenna penerima (*receiver*). Sinyal yang diterima ini selanjutnya akan ditampilkan dalam bentuk radargram yang langsung dapat tersajikan dalam bentuk visualisasi 2 dimensi pada monitor penerima (*display*).



Gambar 9. Skema pengambilan data GPR (Neal & Roberts, 2001)

Kemampuan penetrasi GPR dipengaruhi oleh frekuensi sinyal, efisiensi radiasi antenna serta karakteristik dielektrik material yang diuji. Frekuensi yang tinggi pada sinyal radar akan menghasilkan resolusi yang lebih baik, namun memiliki kedalaman penetrasi yang terbatas. Kemudian, sinyal dengan frekuensi rendah akan menghasilkan penetrasi kedalaman yang jauh meskipun resolusinya rendah (Arcone, 1984). Setiap perangkat Ground Penetrating Radar (GPR) memiliki kemampuan penetrasi kedalaman yang bervariasi. Perbedaan ini disebabkan oleh spesifikasi antenna yang digunakan pada masing-masing perangkat, terutama frekuensi antenna yang berbeda. Oleh sebab itu, penentuan antenna GPR perlu disesuaikan dengan ukuran objek yang akan dideteksi, kedalaman target yang diinginkan, serta batas maksimal penetrasi yang dipengaruhi oleh sifat elektrik material di bawah permukaan tanah (Benson, 1995). Antenna dengan frekuensi $\geq 500\text{MHz}$ digunakan untuk menjangkau lapisan dangkal, sementara frekuensi $\leq 500\text{MHz}$ dipilih untuk mencapai penetrasi yang lebih dalam.

3.4. *Skin Depth*

Gelombang radar memiliki kedalaman penetrasi tergantung pada frekuensi gelombang dan karakteristik elektrik lingkungannya, semakin tinggi frekuensi yang digunakan, semakin rendah kedalaman yang dicapai. Sebaliknya, semakin rendah frekuensi yang digunakan, maka semakin dalam penetrasi yang diinginkan (Salih, 2017). *Skin depth* merupakan kedalaman, di mana intensitas sinyal telah berkurang menjadi $1/e$ dari nilai awalnya. Kedalaman penetrasi dipengaruhi oleh konduktivitas tanah yang rendah atau resistivitas yang tinggi. Material geologi, berada pada rentang kedalaman 1-30 m, sehingga rentang jarak cepat rambat gelombang menjadi besar yaitu $0.03 - 0.175 \text{ m/ns}$ (Hakim dkk., 2011). Faktor penetrasi gelombang elektromagnetik dipengaruhi oleh resistivitas yang tinggi maka penetrasi akan semakin baik, sedangkan material yang memiliki resistivitas rendah akan melemahkan gelombang, sehingga akan menghasilkan penetrasi yang dangkal (Porsani & Sauck, 2007). *Skin depth* dapat ditentukan dengan

menggunakan rumus dan dapat dituliskan dengan Persamaan 10 sebagai berikut (Astutik, 2001) :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu_0}} \approx \frac{503,8}{\sqrt{\sigma \cdot f}} \quad (10)$$

Keterangan :

δ : *Skin depth* (m)

σ : Konduktivitas (S/m)

f : Frekuensi (Hz)

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

Gelombang radar yang dikirimkan dapat disesuaikan melalui cara mengubah antenna yang digunakan. Penentuan frekuensi ini disesuaikan dengan ukuran target, sproksimasi rentang kedalaman serta kisaran maksimum kedalaman penetrasi yang tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Besaran frekuensi dan penetrasi (Astutik, 2001)

Frekuensi antena (MHz)	Ukuran target minimum yang terdeteksi (m)	Aproksimasi range kedalaman (m)	Penetrasi kedalaman maksimum (m)
25	≥ 1.0	5-30	35-60
50	≥ 0.5	5-20	20-30
100	0.1-1.0	2-15	15-25
200	0.05-0.50	1-10	5-15
400	≈ 0.05	1-5	3-10
1000	cm	0.05-2	0.5-4

Perambatan gelombang radar, sinyal akan mengalami penurunan amplitudo akibat hilangnya energi yang terjadi karena proses refleksi dan transmisi pada setiap batas antar medium yang dilalui. Kehilangan energi ini terutama diakibatkan oleh perubahan energi elektromagnetik yang menjadi panas. Faktor utama yang menyebabkan atenuasi merupakan fungsi kompleks dari karakteristik dielektrik

serta sifat kelistrikan medium yang dilalui oleh sinyal radar. Tingkat atenuasi dipengaruhi oleh nilai permitivitas, konduktivitas dan permeabilitas magnetik medium, tempat gelombang merambat dan frekuensi sinyal yang digunakan (Kustanto, 2015).

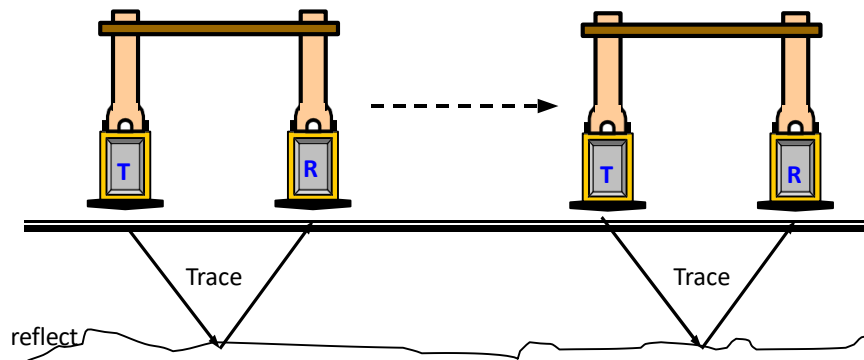
Sinyal yang ditransmisikan oleh GPR ke bawah permukaan memiliki pola penyebaran menyerupai bentuk kerucut, mirip dengan cahaya yang dipancarkan oleh senter. GPR mampu memperkirakan resolusi baik vertikal maupun horizontal. Resolusi vertikal adalah jenis resolusi yang tidak dipengaruhi oleh seberapa dalam penetrasi dilakukan. Objek dapat terdeteksi jika memiliki ketebalan minimal $\lambda/4$. Objek dengan ketebalan kurang dari seperempat panjang gelombang ($\lambda/4$), umumnya berada di bawah ambang deteksi alat GPR. Sementara itu, resolusi horizontal mengacu pada kemampuan GPR dalam membedakan jarak antar objek yang terletak di permukaan secara lateral.

3.5. Akuisisi Data *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Penggunaan sistem radar terdapat 3 metode, yaitu *reflection profiling* (antena monostatik atau bistatik), *wide-angle reflection and refraction* (WARR) atau *common-mid poin* (CMP) *sounding*, dan *transillumination* atau *radar tomography*. Penentuan metode yang digunakan dapat disesuaikan dengan tujuan survei sebagai berikut:

1. *Radar reflection profiling*

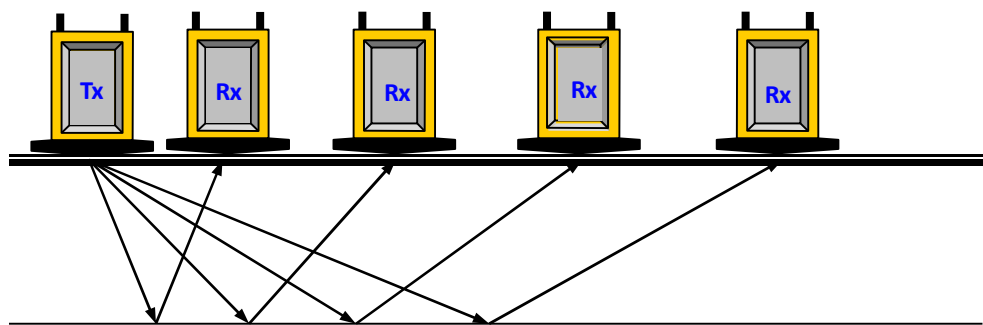
Metode ini dilakukan dengan menggerakkan antenna radar secara bersamaan diatas permukaan tanah, sehingga hasil yang diperoleh pada radargram adalah gabungan dari data pada tiap titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 10.



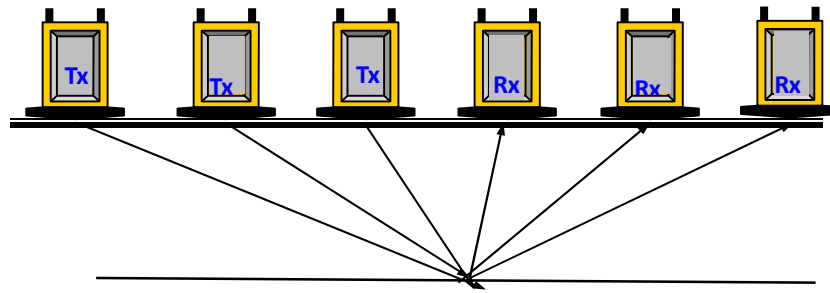
Gambar 10. *Radar Reflection Profiling* (Reynolds, 2011)

2. *Wide-angle reflection and refraction atau common mid point*

Metode ini dilakukan dengan menempatkan *transmitter* pada posisi tetap, sementara *receiver* diposisikan di area yang akan diselidiki. WARR *sounding* biasanya digunakan ketika bidang reflektor relatif datar atau memiliki kemiringan yang rendah. Namun, karena asumsi tersebut tidak selalu berlaku dalam banyak kasus, maka metode CMP *sounding* digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Pada CMP *sounding* kedua antena bergerak menjauhi satu sama lainnya, dengan titik tengah pada posisi yang stabil. Dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



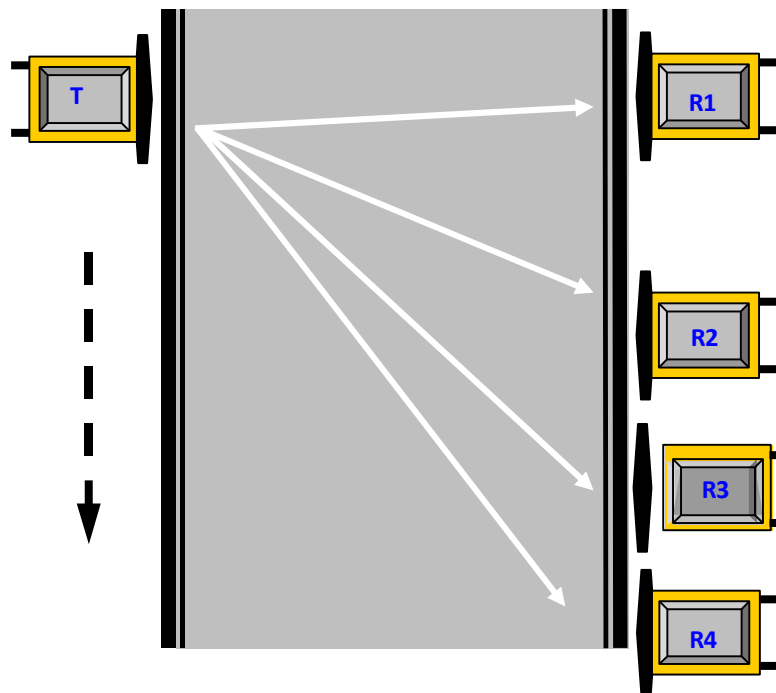
Gambar 11. *Wide Angle Reflection and Refraction* (Reynolds, 2011)



Gambar 12. *Common Mid Point* (Reynolds, 2011)

3. *Transillumination atau radar tomography*

Dalam metode ini, *transmitter* dan *receiver* diposisikan saling berhadapan, namun berada di sisi berlawanan. Misalnya, jika *transmitter* diposisikan di satu sisi, maka *receiver* akan ditempatkan pada sisi yang berlawanan dan menghadap ke arah *transmitter*. Biasanya, metode ini dimanfaatkan dalam metode uji tidak merusak (*non-destructive testing*) dengan menggunakan antenna yang bekerja pada frekuensi tinggi berkisar 900 MHz seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Radar Tomografi (Reynolds, 2011)

3.6. Pengolahan Data Metode GPR

Data hasil akuisisi masih terdapat banyak *noise* sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut. Tahapan pengolahan data GPR dapat dibagi menjadi beberapa proses berikut:

a. *Static Correction*

Proses ini dilakukan untuk penentuan titik nol yang disebabkan oleh pengaruh gelombang udara. Terdapat amplitudo refleksi yang besar antara *interface* udara dan tanah dibawah antenna. Kontras tinggi ini menghasilkan gelombang langsung dan gelombang udara yang berpotensi mengaburkan pola refleksi dari *interface* dibawah permukaan (Yulius dkk., 2008).

b. *Subtract-mean dewow*

Proses ini merupakan proses temporal untuk menghilangkan bias arus DC (*Direct Current*) dan frekuensi sangat rendah yang terekam oleh alat radar. Hal ini terjadi karena, instrumen elektronik yang terisi penuh oleh amplitudo besar pada gelombang langsung (*direct wave*) dan gelombang air (*water wave*). Filter ini bekerja dengan cara mengkalkulasikan rata-rata nilai frekuensi dari *trace*. Setelah itu, setiap nilai frekuensi dalam *time window* dikoreksi dengan cara mengurangkannya terhadap nilai-nilai rata-rata frekuensi yang dapat diperoleh sebelumnya, sehingga *noise* dengan frekuensi rendah dapat diminimalkan atau dihilangkan (Muniroh, 2020).

c. *Gaining*

Gain dilakukan untuk memperkuat sinyal yang mengalami pelemahan agar menjadi lebih jelas. Tingkat pelemahan sinyal ini berkaitan dengan konduktivitas listrik dari medium dapat dilalui. Pada umumnya, dalam material dengan tingkat konduktivitas yang tinggi, seperti tanah liat, objek berada di kedalaman cenderung sulit dideteksi (Benedetto dkk., 2017).

d. *Background removal*

Tahap ini digunakan untuk menghilangkan *noise* yang muncul secara konsisten pada semua profil permukaan sehingga sinyal yang sebenarnya tertutupi. Profil radargram terdiri atas beberapa gabungan *trace*, *noise* yang muncul dapat diminimalkan melalui pengurangan terhadap nilai amplitudo rata-rata dengan

sampel tunggal yang diperoleh pada seluruh profil radargram atau dapat dijelaskan dengan menghilangkan energi koheren yang horizontal (Benedetto dkk., 2017).

e. *Bandpass butterworth*

Proses ini bertujuan untuk mereduksi frekuensi-frekuensi yang tidak diperlukan, terutama dalam menghilangkan gangguan berupa sinyal horizontal.

f. *F-K filter*

FK filter adalah salah satu jenis penyaring yang beroperasi pada domain frekuensi dan parameter bilangan gelombang. Pada tahap ini, hanya frekuensi dalam range tertentu yang dipilih agar sesuai dengan sinyal dari reflektor, sekaligus mereduksi gangguan atau *noise* yang tidak diperlukan

g. *Migration/Time depth conversion*

Tahapan terakhir yaitu migrasi yang digunakan untuk mentransformasi citra permukaan hasil rekaman GPR yang menunjukkan heterogenitas bawah permukaan pada posisi yang sebenarnya (Yulius dkk., 2008).

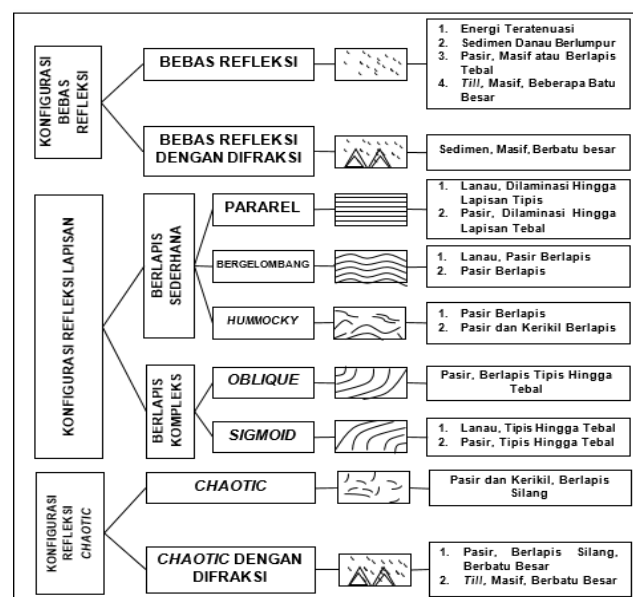
3.7. Interpretasi Data Metode GPR

Pada setiap penelitian yang dilakukan menggunakan metode geofisika selalu melakukan tahap pengolahan dan interpretasi data. Pengolahan data georadar bertujuan untuk menghasilkan citra radargram yang berkualitas baik, sehingga radargram tersebut dapat diinterpretasikan dengan akurat berdasarkan posisi, kedalaman, serta nilai kecepatan rambat dari objek anomali yang terdeteksi (Arief & Sumargana, 2021). Pada metode *Ground Penetrating Radar* hasil pengolahan data berbentuk radargram. Radargram yang diperoleh merupakan representasi gelombang dalam bentuk fungsi waktu tempuh bolak balik dengan jarak sepanjang jalur profil radar. Dengan demikian, proses interpretasi didasarkan pada radargram yang menghasilkan berbagai jenis pantulan, difraksi, gangguan (*noise*), dan amplitudo (Reynolds, 2011). Interpretasi ini tidak ditujukan untuk menentukan jenis litologi secara spesifik, melainkan untuk mengidentifikasi batas antar lapisan

dan ketebalan lapisan pada bawah permukaan. Terdapat beberapa pola radargram yang harus diperhatikan ketika akan melakukan interpretasi, yaitu :

1. Pada lapisan tanah yang relatif lunak akan menunjukkan sejumlah pantulan kecil dan individual yang disebabkan oleh berbagai permukaan miring dan celah.
2. Bahan homogen dengan kadar air lebih tinggi memperlambat gelombang. Ketika gelombang merambat lebih lambat, pantulan tunggal menebal dalam arah vertikal.
3. Lapisan atas tanah sebagian besar berbentuk horizontal, terkadang sedikit bergelombang, pantulan terlihat jelas.
4. Pola batuan akan digambarkan dengan serangkaian refleksi kecil dan pendek (Annan, 2012).

Interpretasi data GPR juga dapat dilakukan berdasarkan radar fasies dapat dilihat pada Gambar 14. Karakteristik radar fasies diinterpretasikan berdasarkan konfigurasi internal dan kontinuitas pantulan (Shan dkk., 2015) serta pola terminasi pantulan dan secara umum dicirikan berdasarkan bentuk dasar, amplitudo, kontinuitas dan konfigurasi pantulan internal serta bentuk eksternal.



Gambar 14. Karakteristik refleksi data GPR untuk interpretasi litologi (Beres & Haeni, 1991)

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pada penelitian ini waktu dan tempat penelitian dilaksanakan pada :

Waktu : Juni s.d Desember 2025
Tempat : Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika (PPDG),
Teknik Geofisika, Universitas Lampung
Alamat : Gedung Teknik Geofisika, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1
Gedong Meneng, Kec.Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung

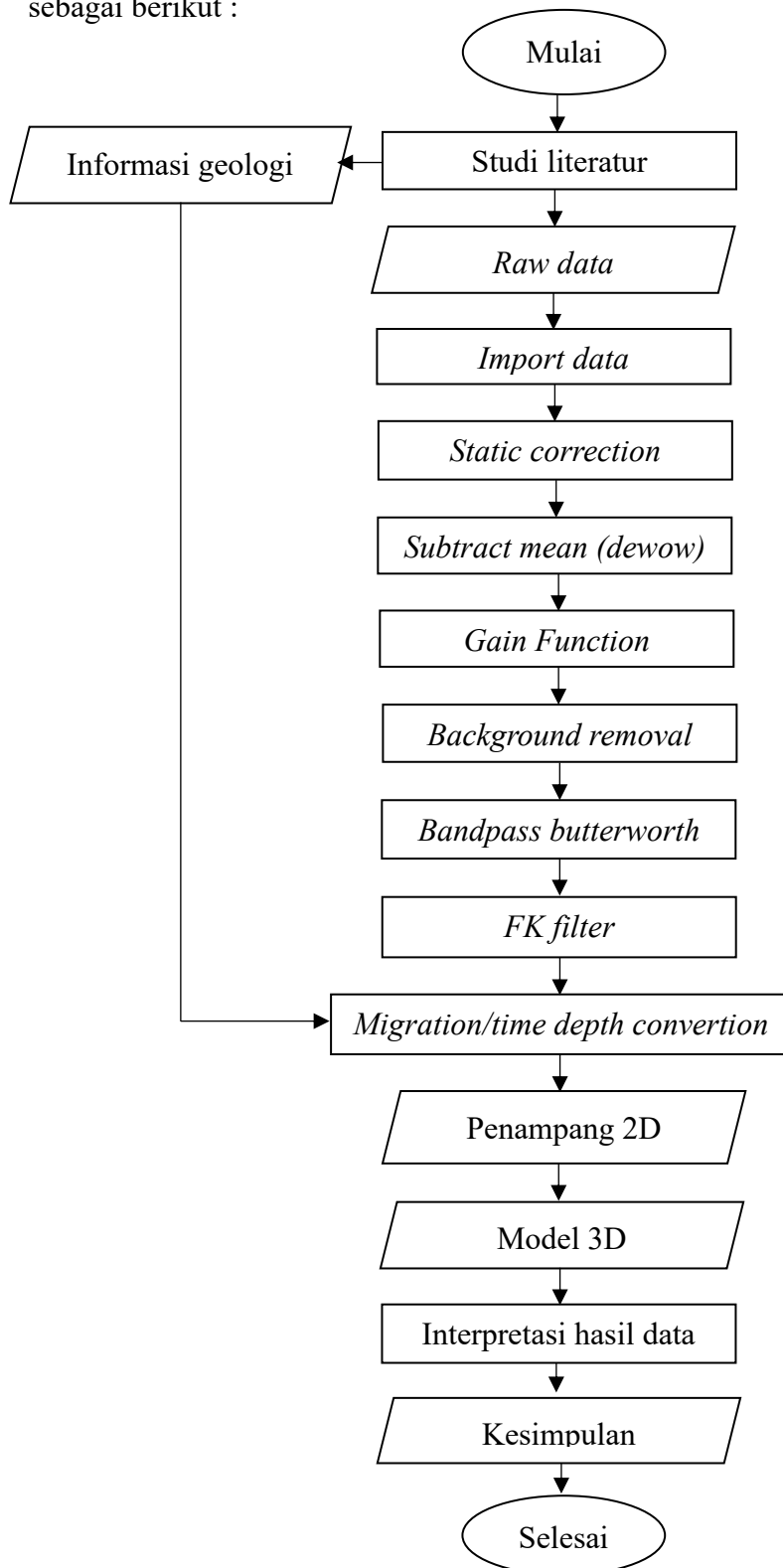
4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Data Ground Penetrating Radar (GPR)*
3. *Software Reflexw 8.2.3*
4. *Software Arcgis 10.8*
5. *Google Earth*
6. *Microsoft Excel*

4.4. Diagram Alir

Diagram alir yang pada penelitian ini dapat dditunjukkan pada Gambar 15 sebagai berikut :



Gambar 15. Diagram alir

4.5. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Studi literatur

Tahap ini dilakukan proses pengumpulan yang menjadi acuan untuk teori dasar dan tinjauan pustaka pada penelitian untuk tahap selanjutnya.

2. Pengolahan data metode GPR

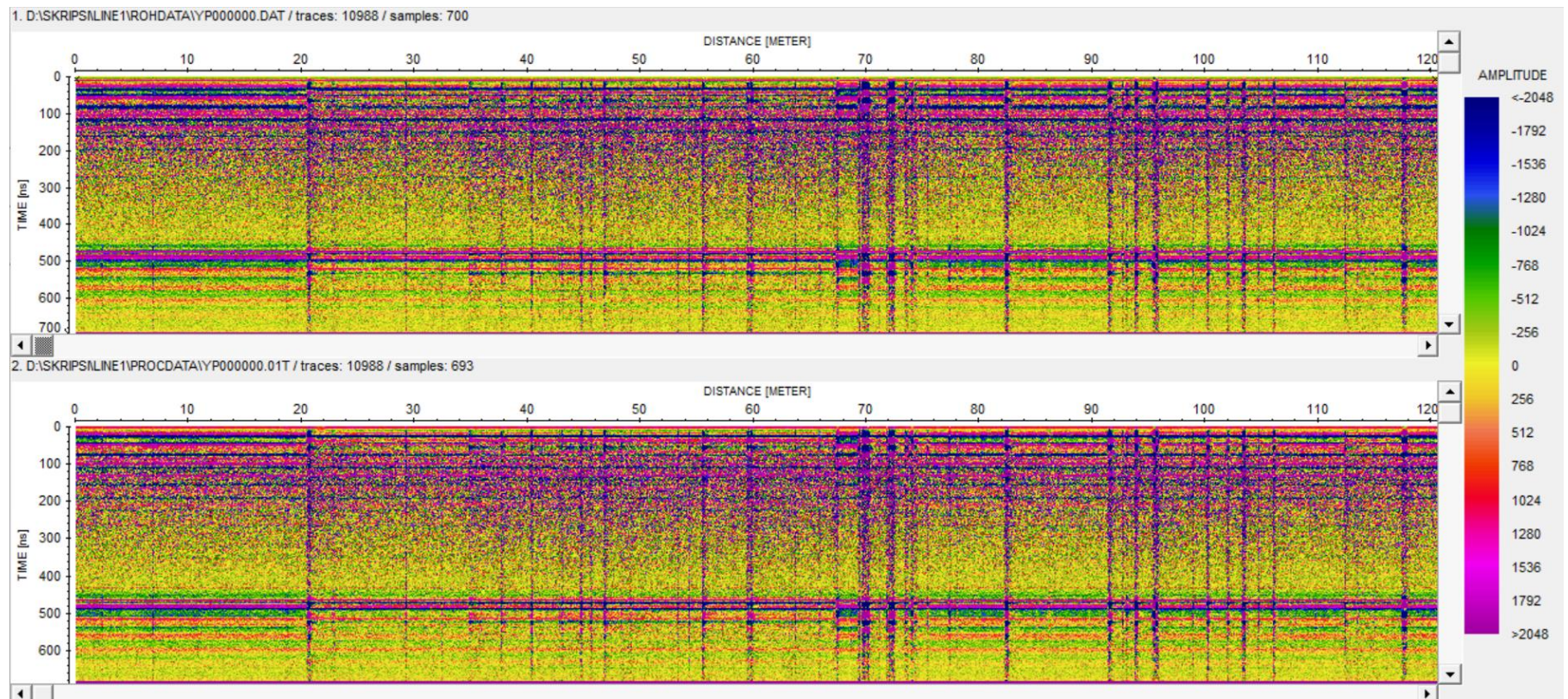
Tahapan pengolahan data GPR dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Reflexw*, yang mencakup beberapa langkah pemrosesan sebagai berikut:

- a. *Input data*

Langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan pengolahan adalah memasukkan data (*input data*). Format data yang digunakan dalam penelitian ini adalah GEOSCANNER_GSF.

- b. *Static Correction*

Koreksi ini bertujuan untuk mengembalikan waktu kedatangan gelombang ke posisi awal pada titik nol, sehingga mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Gambar 16 menunjukkan sebelum dilakukan *static correction* dan sesudah dilakukan *static correction*.



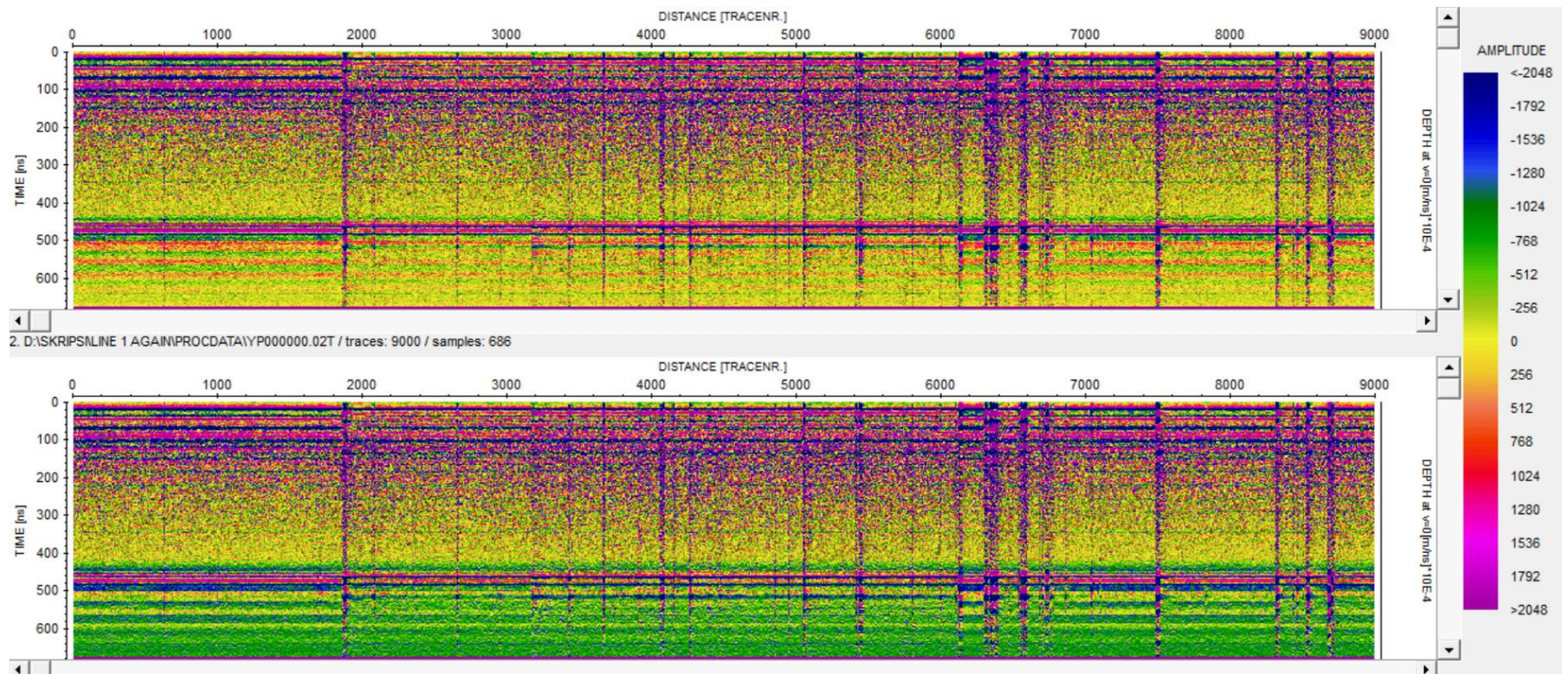
Gambar 16. (a) Sebelum dilakukan *static correction* (b) Sesudah dilakukan *static correction*

c. *Subtract mean-dewow*

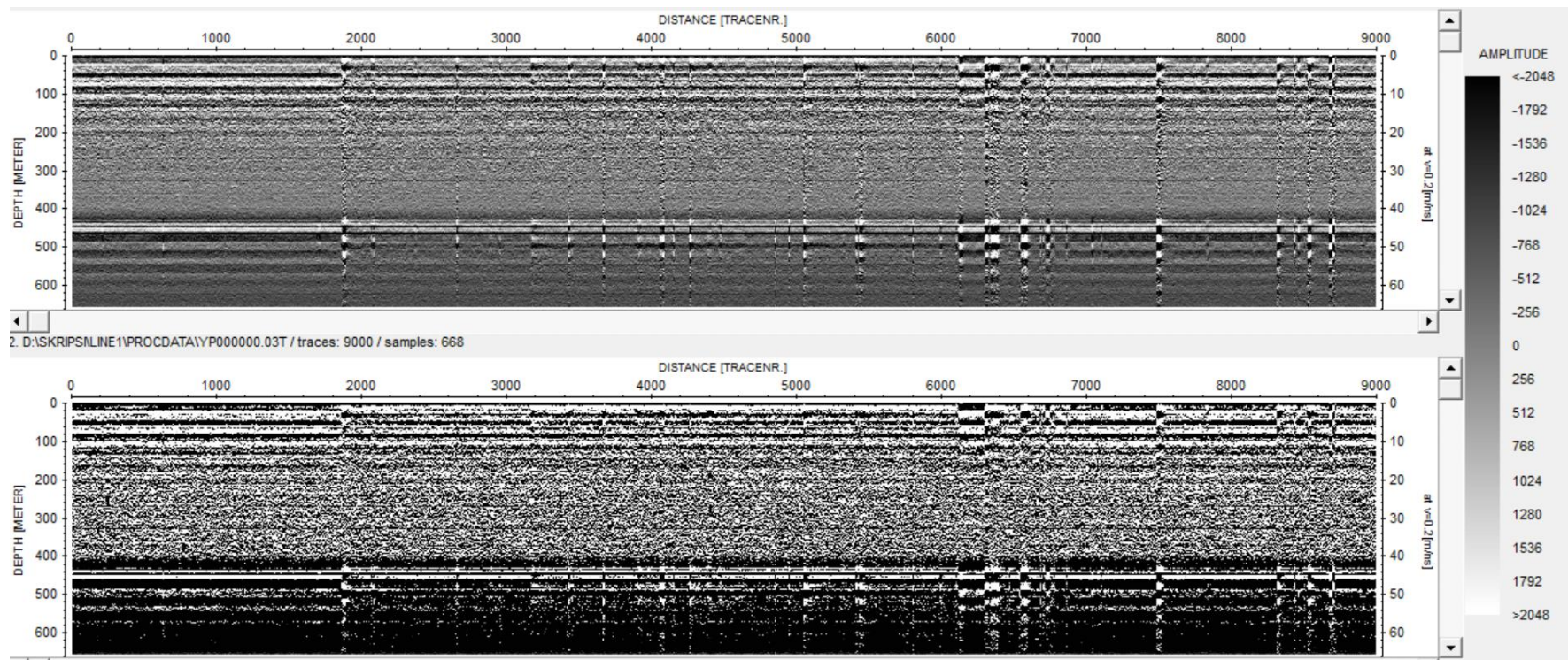
Proses ini dilakukan untuk menghilangkan frekuensi rendah dan pengaruh bias dari arus searah (DC), yang dapat menimbulkan gangguan atau *noise*. *Noise* tersebut merupakan sinyal dengan frekuensi sangat rendah yang muncul akibat saturasi pada perangkat elektronik, yang disebabkan oleh amplitudo besar dari gelombang langsung maupun gelombang udara. Gambar 18 menunjukkan sebelum dilakukan *subtract mean dewow* sesudah dilakukan *subtract mean dewow*.

d. *Gain Function*

Pada proses ini sinyal diperkuat atau memperjelas guna mengurangi dampak atenuasi yang terjadi selama perambatan ke dalam permukaan bumi, sehingga pelemahan sinyal di kedalaman yang lebih besar dapat diminimalkan. Gambar 19 tampilan sebelum *gain function* (b) Tampilan sesudah *gain function*.



Gambar 18. (a) Sebelum dilakukan *subtract mean (dewow)* (b) Sesudah dilakukan *subtract mean (dewow)*



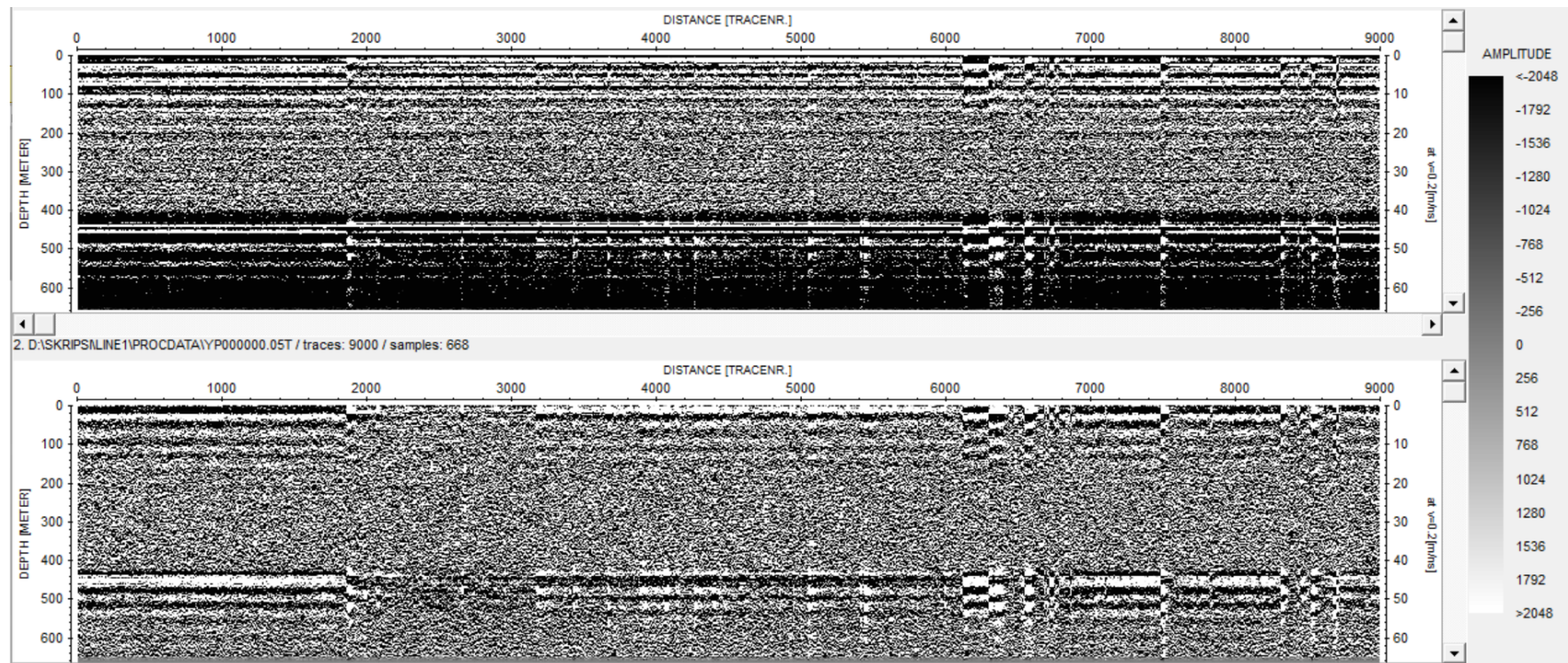
Gambar 19. (a) Tampilan sebelum *gain function* (b) Tampilan sesudah *gain function*

e. *Backgorund Removal*

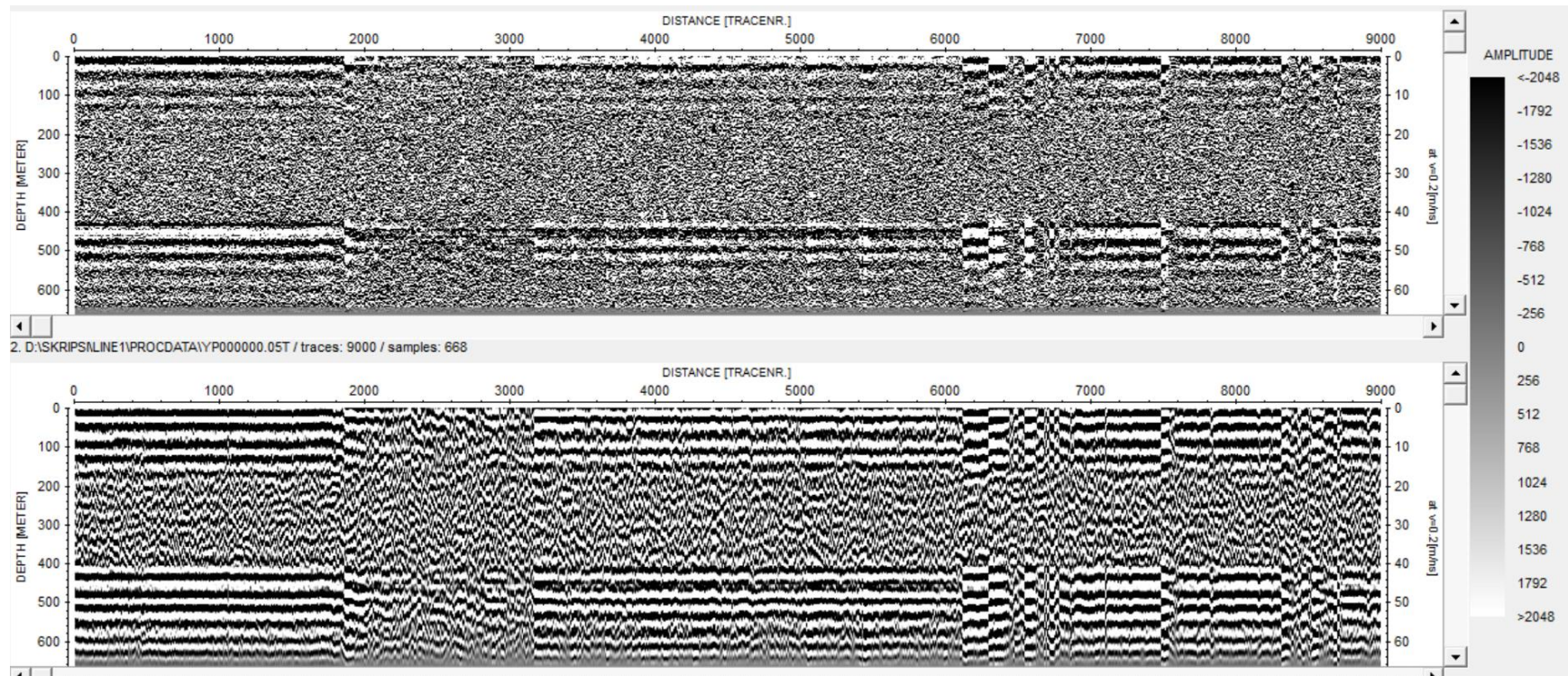
Background removal dilakukan untuk mengurangi gangguan atau *noise* yang dapat menutupi informasi frekuensi sebenarnya. Teknik ini bekerja dengan menghilangkan energi koheren yang bersifat horizontal, sehingga sinyal refleksi yang relevan dapat lebih jelas terlihat. Dapat dilihat pada Gambar 20 menunjukkan tampilan sebelum *background removal* Tampilan sesudah *background removal*

f. *Bandpass butterworth*

Bandpass butterworth dilakukan untuk menghilangkan frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan dengan membatasi nilai jangkauan frekuensi sinyal pada radargram. Gambar 21 merupakan tampilan sebelum *bandpass butterworth* dan sesudah *bandpass butterworth*.



Gambar 20. (a) Tampilan sebelum *background removal* (b) Tampilan sesudah *background removal*



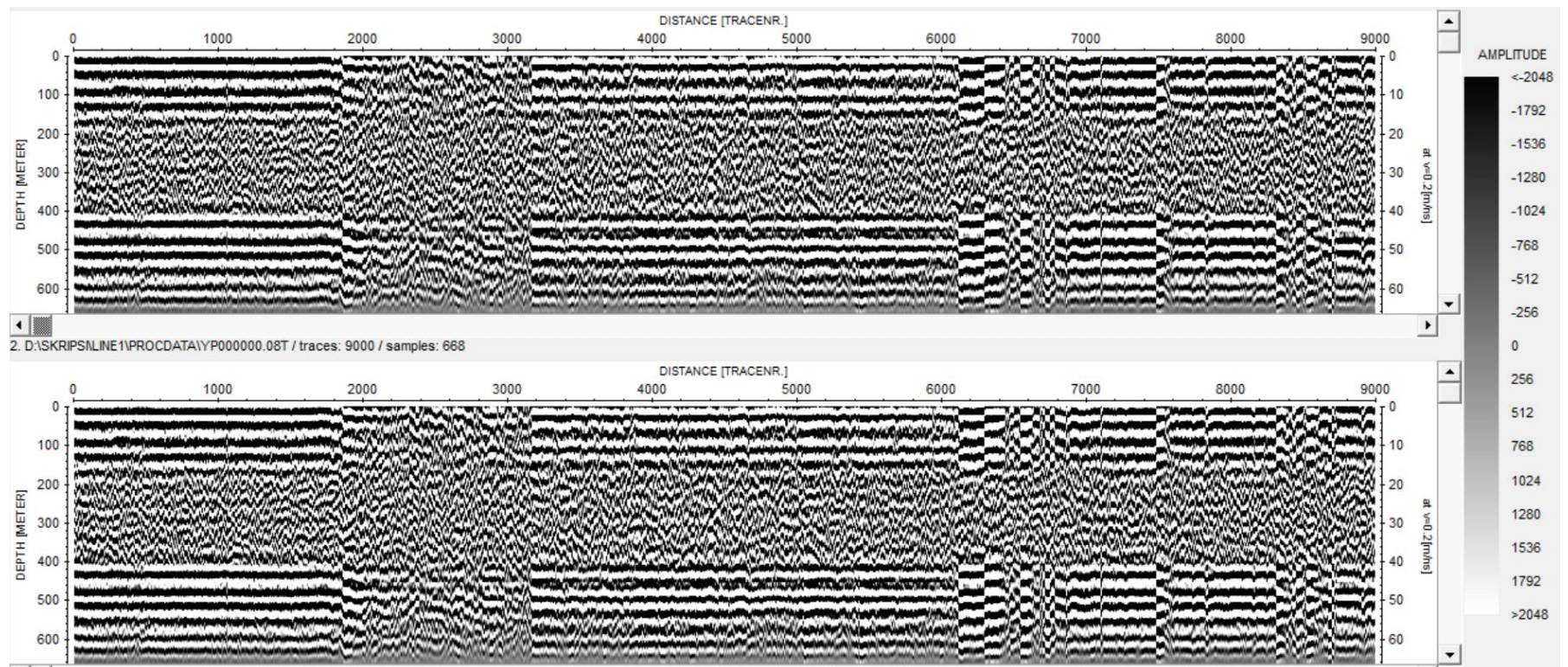
Gambar 21. (a) Tampilan sebelum *bandpass butterworth* (b) Tampilan sesudah *bandpass butterworth*

g. *F-k filter*

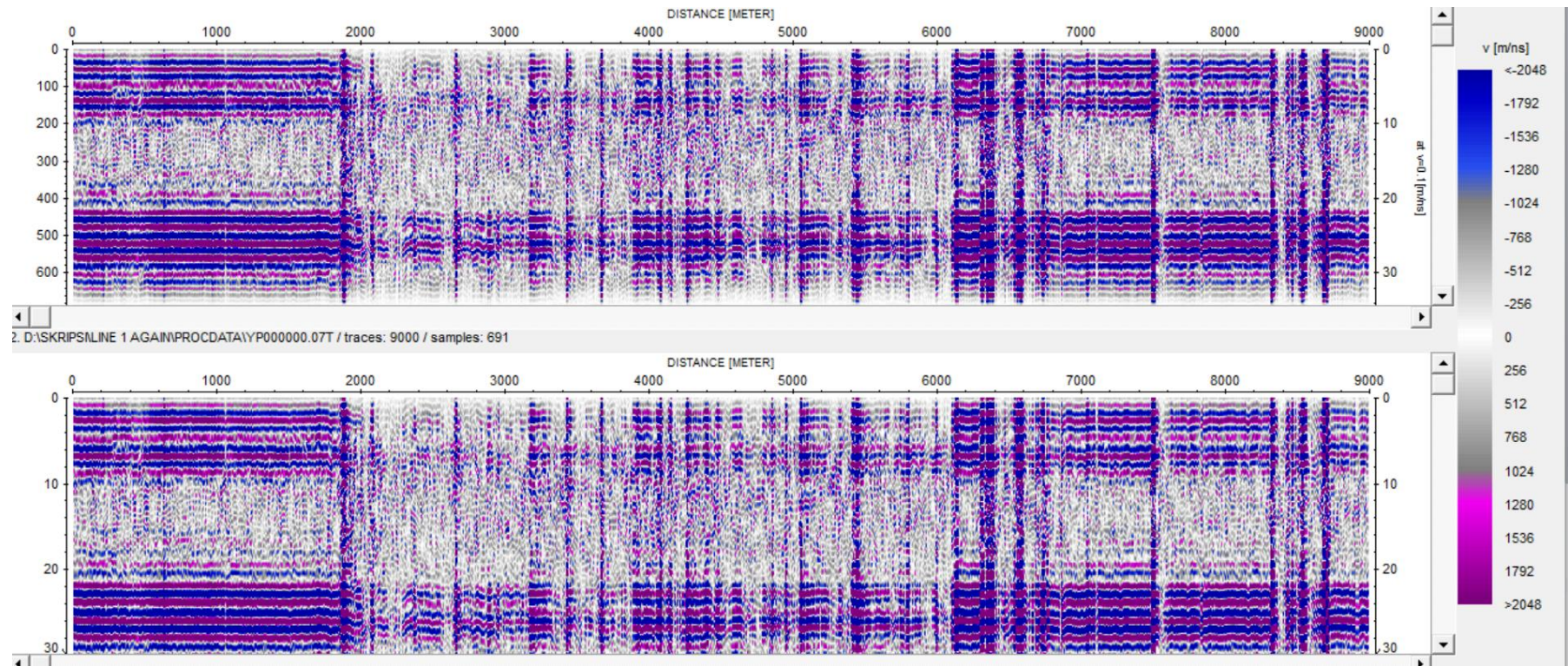
F-k filter bekerja dalam domain frekuensi dan bilangan gelombang. Tahap ini bertujuan untuk memilih frekuensi pada kisaran tertentu, sesuai dengan keberadaan reflektor, serta menghilangkan sinyal gangguan atau *noise* yang tidak diperlukan. Selain itu, penggunaan filter ini juga mampu meningkatkan ketajaman resolusi terhadap struktur bawah permukaan yang memiliki kemiringan yang curam. Gambar 22 menunjukkan tampilan sebelum proses *fk filter* dan tampilan sesudah proses *fk filter*.

h. *Migration Time Depth Conversion*

Pada tahap ini dilakukan konversi dari kedalaman dalam satuan waktu ke dalam satuan jarak. Proses konversi tersebut mengacu pada distribusi nilai kecepatan tertentu untuk setiap lapisan bawah permukaan. Variasi kecepatan antar lapisan ini dapat memengaruhi bentuk serta frekuensi sinyal yang dihasilkan. Gambar 23 menunjukkan tampilan sebelum *time depth conversion* dan tampilan sesudah *time depth conversion*.



Gambar 22. (a) Tampilan sebelum proses f_k filter (b) Tampilan sesudah proses f_k filter



Gambar 23. (a) Tampilan sebelum *time depth conversion* (b) Tampilan sesudah *time depth conversion*

3. Interpretasi

Setelah data GPR selesai pengolahan, langkah selanjutnya adalah interpretasi data. Interpretasi ini bertujuan untuk memperoleh informasi dari data yang telah dihasilkan selama proses akuisisi dan telah melalui tahapan pengolahan. Metode GPR menghasilkan tampilan visual berbentuk radargram. Setiap pola refleksi sinyal yang terlihat pada radargram mencerminkan kondisi dan karakteristik lapisan bawah permukaan di lokasi penelitian. Variasi jenis tanah atau batuan, ketidakaturan lapisan, keberadaan rongga, atau kurangnya konsolidasi tanah dapat dikenali melalui citra georadar. Dalam tahap interpretasi, klasifikasi objek berdasarkan sifat fisiknya dapat dilakukan dengan mengamati variasi jenis batuan dan struktur, yang ditandai oleh perbedaan amplitudo atau gradasi warna akibat pantulan gelombang. Karakter material bawah permukaan juga dapat diidentifikasi melalui nilai konstanta dielektrik serta perbedaan kecepatan rambat gelombang pada tiap jenis material. Radargram yang ditampilkan dalam bentuk fungsi waktu tempuh dua arah (*two-way travel time*) memberikan gambaran tentang kedalaman serta ketebalan lapisan di bawah permukaan wilayah studi.

VI. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil dalam penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan hasil pengolahan data *Ground Penetrating Radar* (GPR). Diperoleh tiga jenis lapisan utama bawah permukaan di wilayah muara Sungai Way Seputih, yaitu:
 - Lapisan pertama berupa *seabed* teridentifikasi sebagai batas dasar perairan yang ditandai oleh reflektor awal dengan amplitudo relatif kuat dan kontinu.
 - Lapisan kedua berupa endapan sedimen dicirikan oleh pola refleksi berlapis dan relatif kontinu, yang menunjukkan material lepas dengan ketebalan bervariasi.
 - Lapisan ketiga *basement* dengan reflektor kuat dan relatif kontinu yang membatasi penetrasi gelombang radar, sehingga diinterpretasikan sebagai lapisan paling bawah pada daerah penelitian.
2. Lapisan sedimen ditemukan pada kedalaman antara 1-6 meter di bawah permukaan, dengan ketebalan rata-rata 9-12 meter. Reflektor sangat lemah di bagian atas merepresentasikan kolom air. Reflektor sedang hingga kuat dengan pola sejajar menandakan endapan sedimen. Reflektor kuat dan terus menerus di bagian bawah menunjukkan lapisan *basement* yang menjadi dasar bawah permukaan daerah penelitian.

6.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkombinasikan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan data bor log dangkal, sehingga interpretasi lapisan bawah permukaan dapat dikorelasikan dengan jenis dan karakteristik litologi secara lebih akurat. Selain itu, penggunaan frekuensi antena yang berbeda dan lintasan pengukuran yang lebih luas juga direkomendasikan untuk memperoleh gambaran bawah permukaan yang lebih detail. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal dalam studi hidrogeologi dan identifikasi akuifer dangkal di wilayah muara Sungai Way Seputih.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N. (2024). Identifikasi Endapan Sedimen di Sungai Way Seputih - Muara Cabang, Kabupaten Lampung Tengah menggunakan metode Ground Penetrating Radar (GPR). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Allen, R. L. (1979). Studies in Fluvial Sedimentation: an Elementary Geometric Model for the Connectedness of Avulsion-Related Channel Sand Bodies. *Sedimentary Geology. Journal Sedimentary Geology*, 24(1), 253–267.
- Amran, Y., & Safi'i, A. (2020). Analisis Stabilitas Lereng pada Tanggul Penahan Banjir Sungai Way Seputih Kecamatan Seputih Surabaya. *Jurnal Tapak*, 9(2), 130–139.
- Annan, A. P. (2012). *Near Surface Geophysics*. Tulsa, Oklahoma: Society of Exploration Geophysicists.
- Arcone, S. A. (1984). Dielectric Constant and Layer Thickness Interpretation of Helicopter - Borne Short Pulse Radar Waveforms Reflected from Wet and Dry River - Ice. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. Journal Remote Sensing*, 29(5), 768–777
- Arief, M., & Sumargana, L. (2021). Penggunaan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) untuk Identifikasi Utilitas Bawah Tanah. *Jurnal Prisma Fisika*, 9(3), 244.
- Arvianto, S. E., Satriadi, A., & Handoyo, G. (2016). Pengaruh Arus dan Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 01(01), 6–11.

- Astutik, S. (2001). Penggunaan Ground Penetrating Radar (GPR) sebagai Metal Detector. *Jurnal Ilmu Dasar*, 2(1), 9–16.
- Badan Informasi Geospasial. (n.d.). *DEMNAS*. Diakses pada 20 juni 2025, dari <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh>
- Bahri, A., & Ayi. (2009). Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunung kiduldengan Metode Ground Penetrating Radar. *Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–12.
- Basri, H. (2015). Identifikasi Sedimentasi dan Erosi Badan Sungai Bengawan Solo Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) di Desa Kanor, Bojonegoro. *Thesis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Benedetto, A., Tosti, T., Ciampoli, L. B., & D'Amico, F. (2017). An Overview of Ground-Penetrating Radar Signal Processing Techniques for Road Inspections. *Journal Signal Processing*, 132, 201–209.
- Benson, A. K. (1995). Application of Ground Penetrating Radar in Assesing Some Geological Hazards: Examples of Ground Water Contamination, Faults, Cavities. *Journal of Applied Geophysical Prospecting*, 33, 531–551.
- Beres, Jr.M., & Haeni, F. P. (1991). Application of Ground Penetrating Radar Methods in Hydrogeological Studies. *Journal Ground Water*, 29(3), 375–386.
- Bristow, C. S., Buck, L. K., & Shah, R. (2024). Using Ground-Penetrating Radar (GPR) to Investigate the Exceptionally Thick Deposits from the Storegga Tsunami in Northeastern Scotland. *Journal Remote Sensing*, 16(11), 2042.
- Bristow, C. S., & Jol, H. M. (2003). An Intruduction to Ground Penetrating Radar (GPR) in Sediments. *Geological Society, London. Special Publications* 211(1), 1-7.

- Burhan, G., Gunawan, W., & Noya, Y. (1993). *Peta Geologi Lembar Menggala, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.*
- Edward, M. Z. (2012). Pengelolaan (manajemen) Sumberdaya Air Sungai Kabupaten Lampung Tengah yang Memiliki Nilai Koefisien Regim Sungai (KRS) yang Besar. *Jurnal Tapak*, 1(1), 56–68.
- Griffiths, D. J. (1999). *Introduction to Electrodynamics, 3rd ed.* United States of America: Prentice Hall.
- Hakim, M.A., Sasmita, K.A., Hardiansyah, B., & Sibuea, C. (2011). *Modul Eksplorasi Elektromagnetik.* Bandar Lampung: Universitas Lampung.
https://www.academia.edu/31652341/eksplorasi_elektromagnetik_pdf
- Handayani. (2007). Penerapan Metode Geofisika dalam Eksplorasi Mineral. *Seminar Nasional UNNES.* Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Huda, M., Harahap, R., & Simbolon, R. H. . (2023). Analisis Pengukuran Batimetri dan Pasang Surut untuk Menentukan Kedalaman Sungai Batang Hari Provinsi Jambi. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 210–216.
- Hussein, E. M. A. (2007). *Radiation Mechanics Principles and Practice.* Elsevier Science : New Brunswick, Canada.
- Kasim, M. R. S. (2020). Pemodelan Arus dan Gelombang di Muara Sungai Jeneberang dengan Aplikasi MIKE 21. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 45-56.
- Kusdian, R.D. (2011). Potensi Revitalisasi Transportasi Sungai di Provinsi Lampung. *Jurnal Transportasi*, 11(2), 143-152.
- Kustanto, A. R. (2015). *Gelombang pada Metode Seismik dan Ground Penetrating Radar.* Laporan Tugas Mata Kuliah Fisika Dasar II, Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjajaran.

- Muniroh, F. (2020). Aplikasi Metode Ground Penetrating Radar untuk Identifikasi Gua Bawah Tanah. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Neal, A., & Roberts, C. L. (2001). Internal Structure of a Trough Blowout, Determined from Migrated Ground-Penetrating Radar Profiles. *Jurnal Sedimentology* 48(4), 791–810.
- Neal, A. (2004). Ground Penetrating Radar and its use in Sedimentology: Principles, Problems and Progress. *Jurnal Earth Science Reviews*, 66, 261–330.
- Pangestu, N. J., Kushadiwijayanto, A. A., & Nurrahman, Y. A. (2020). Studi Batimetri dan Morfologi Muara Sungai Mempawah Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 3(2), 69.
- Pawitra, M. D., Indrayanti, E., Yusuf, M., & Zainuri, M. (2022). Sebaran Sedimen Dasar Perairan dan Pola Arus Laut di Muara Sungai Loji, Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(3), 22–32.
- Permanawati, Y., Prartono, T., Atmadipoera, A. S., Zuraida, R., & Chang, Y. (2016). Core Sediment Records to Predict Environmental Changes in Kangean Slope. *Jurnal Geologi Kelautan*, 14(2), 65–77.
- Porsani, J.L., & Sauck, W. (2007). Ground Penetrating Radar Profiles Over Multiple Steel Tanks, Artifact Removal Through Effective Data Processing. *Journal Geophysics*, 72(6), J77–J83.
- Pratiwi, S. (2023). Kualitas Perairan Sungai Way Seputih, Lampung Tengah Berdasarkan Komunitas Makrozoobentos. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2017). *Peta Geologi Lembar Lampung dan Sekitarnya*, Skala 1 : 100.000. Bandung: Pusat Survei Geologi.

- Purnomo, K., Kartamihardja, E. S., & Sunarno, M. T. D. (2004). Pengaruh Pencemaran DAS Way Seputih di Lampung Tengah terhadap Sumber Daya Perikanan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perikanan Dan Budidaya Perairan*, 2(1), 13–22.
- Putro, A. A., Supriyanto, & Rinaldi, A. (2019). Interpretasi Bawah Permukaan Menggunakan Metode GPR (ground penetrating radar) di Amblesan Jalan Ring Road II Kota Samarinda. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2(1), 7.
- Rasimeng, S., Mandang, I., & Suharno. (2019). Identification of Eroded Sediment Layer Thickness and Depth of Mahakam River at Tenggarong Bridge Area, Kutai Kartanegara East Kalimantan Using Ground Penetrating Radar Method. *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*. 279 (1): 1-11
- Reynolds, J. A. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2nd Edition. West Sussex:Wiley Blackwell.
- Salih, M. M. (2017). The Effect of the Different Frequency on Skin Depth of GPR Detection. *Journal of University of Babylon, Engineering*, 25(2), 617–631.
- Shan, X., Yu, X., Clift, P.D., Tan, C., Jin, L., Li, M., & Li, W. (2015). The Ground Penetrating Radar Facies and Architecture of a Paleo-Spit from Huangqihai Lake, North China: Implication or Genesis and Evolution. *Journal Sedimentary Geology*, 323(1), 1–14.
- Supriyanto. (2007). *Perambatan Gelombang Elektromagnetik*. Depok: Universitas Indonesia.
- Tanah Air Indonesia. (2025) *Portal Tanah Air Indonesia*. Diakses pada 20 Juni 2025 <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh>
- Tanto, T. Al, Wisha, U. J., Kusumah, G., Pranowo, W. S., & Husrin, S. (2017). Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa-Bali. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 23(1), 37–48.

- Wiyono, H. A. (2016). *Identifikasi Lapisan Aluvial dan Lempung di Danau Saguling, Kabupaten Bandung Barat Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR)*. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Yazdani, N., Garcia, E.C., & Riad, M. (2018). Field Assessment of Concrete Structures Rehabilitated with FRP. In *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures*. Woodhead Publishing.
- Yulius, Y., Wahyu, Y., & Oktafiani, F. (2008). Studi Pemrosesan dan Visualisasi Data Ground Penetrating Radar. *Jurnal Informatika, Sistem Kendali, Dan Ilmu Komputer*, 2(1), 2–4.
- Zulfikar, M., Budi, F., & Hernawan, U. (2020). Penafsiran Data Georadar di Pesisir Pantai Barat Daya Pulau Rote Characteristics of Quaternary Deposit and Ground Water Accumulation Based on Georadar Data Interpretation in the Southwest Coast Rote Island. *Jurnal Geologi Kelautan*, 18(2), 87–96.