

**IDENTIFIKASI POTENSI TERJADINYA PERISTIWA
PIPING MENGGUNAKAN METODE *MIKROSEISMIK*
BENDUNGAN LOGUNG KABUPATEN KUDUS**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Fisika dalam Ilmu Fisika



Diajukan oleh:

DUAKH DHAMARJATI

NIM :1908026004

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGOSEMARANG
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Duakh Dhamarjati

NIM : 1908026004

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

**"IDENTIFIKASI POTENSI TERJADINYA PERISTIWA *PIPING*
MENGUNAKAN METODE MIKROSEISMIK BENDUNGAN
LOGUNG KABUPATEN KUDUS"**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 19 Juni 2024

Penulis



Duakh Dhamarjati
NIM. 1908026004

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jln. Prof. Dr. Hamka Kampus III Ngalyan Semarang Telp. 7601295 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI POTENSI TERJADINYA PERISTIWA PIPING
MENGUNAKAN METODE MIKROSEISMIK BENDUNGAN LOGUNG
KABUPATEN KUDUS**

Nama : Duakh Dhamarjati

NIM : 1908026004

Program Studi : Fisika

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan teknologi
UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh
gelar sarjana dalam Ilmu Fisika.

Semarang, 2 Juli 2024

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang/Penguji

Dr. Alwiyah Nurhayati, M.Si
NIP. 198112112011012006

Sekretaris Sidang/Penguji

Muhammad Ardhi Khalif, M.Sc
NIP. 198210092011011010

Penguji Utama I

Irman Said Prasetyo, M.Sc
NIP. 199112282019031009

Penguji Utama II

Affa Ardhi Saputri, M.Pd
NIP. 199004102019032018

Pembimbing I

Hartono, M.Sc.
NIP. 199009242019031006

Pembimbing II

Agus Sudarmanto, M.Si
NIP. 197708232009121001



NOTA DINAS

NOTA DINAS

Semarang, 19 Juni 2024

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr.wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan,
dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : IDENTIFIKASI POTENSI TERJADINYA PERISTIWA *PIPING*
MENGGUNAKAN METODE MIKROSEISMIK BENDUNGAN
LOGUNG KABUPATEN KUDUS

Nama : Duakh Dhamarjati

NIM : 1908026004

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan
kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam
Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing I,



Hartono, M.Sc

NIP. 199009242019031006

NOTA DINAS

NOTA DINAS

Semarang, 19 Juni 2024

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr.wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan,
dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : IDENTIFIKASI POTENSI TERJADINYA PERISTIWA *PIPING*
MENGUNAKAN METODE MIKROSEISMIK BENDUNGAN
LOGUNG KABUPATEN KUDUS

Nama : Duakh Dhamarjati

NIM : 1908026004

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan
kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam
Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing II,



Agus Sudarmanto, M.Si

NIP. 197708232009121001

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi terjadinya *piping* pada Bendungan Logung dengan menggunakan Metode Mikroseismik. Penelitian ini dilakukan pada 8 titik. Berdasarkan hasil analisa dan interpretasi Kondisi kerentanan tanah di sekitar bendungan Logung termasuk kedalam kategori bahaya dan rendah. Untuk kategori bahaya di tunjukkan pada titik 2 dengan nilai kerentanan tanah 38,95 yang dimana terdapat batuan yang berupa batuan alluvial dan titik 3 memiliki nilai kerentanan tanah 56,91 dengan memiliki batuan yang berupa batuan aluvial. Sedangkan untuk kategori rendah dapat ditunjukkan pada titik 1 dengan nilai kerentanan tanah 2,32 yang memiliki jenis batua aluvial, titik 4 yang memiliki nilai kerentanan tanah 0.3204 serta memiliki jenis batuan yang berupa batuan tersier, titik 5 dengan nilai kerentanan tanah 0.25 yang dimana memiliki jenis batuan yang berupa tersier, titik 6 memiliki nilai yang berupa 0.193 serta jenis batuan tersier, titik 7 memiliki nilai yang berupa 0.34 serta jenis batuan tersier, dan titik 8 memiliki nilai yang berupa 0.231 serta jenis batuan tersier. Bendungan loagung teridentifikasi berpotensi terjadi piping pada titik 2 dan titik 3.

Kata kunci : *Piping*, Kerentanan Tanah, Bendungan Logung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir skripsi. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan baginda Nabi Agung Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul : “Identifikasi Peristiwa *Piping* Menggunakan Metode *Mikroseismik* Bendungan Logung Kabupaten Kudus”.

Penelitian ini telah disusun untuk memenuhi Tugas Akhir (TA) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo. Tujuan penelitian ini adalah untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar sarjana fisika dalam ilmu fisika. Penulis berharap semoga Penelitian ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi siapa saja yang membacanya, dapat menambah wawasan pengetahuan bagi kita semua.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa kerja praktik ini tidak akan terwujud tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung, maka penulis ini menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. Musahadi, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

3. Alwiyah Nurhatin, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang selalu mengarahkan dan senantiasa memberikan dorongan hingga skripsi ini dapat selesai.
4. Muhammad Ardhi Khalif, M.Sc selaku Sekretaris Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang.
5. Hartono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, kritik, saran dan motivasi kepada penulis dengan penuh sabar dan pengertian dalam penyusunan skripsi.
6. Agus sudarmanto M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membantu, mengarahkan dan senantiasa memberikan dorongan sehingga skripsi ini dapat selesai.
7. Irman Said Prastyo, M.Sc., selaku Wali Dosen Penulis yang sudah membimbing dan mengarahkan penulis dari awal perkuliahan sampai penyelesaian skripsi.
8. Dosen, Pegawai dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang memberikan banyak ilmu dan pengetahuan sampai tahap di akhir penulisan skripsi ini, memberikan skala bermanfaat dalam penulisan ini.

9. Bapak/Ibu dari bagian keluarga BBWS Pemali Juana dan Keluarga Bendungan Logung yang ikut serta dalam membantu penelitian ini perihal data gempa bumi untuk laporan tugas akhir.
10. keluarga besar Pos pengamatan Gunung Sundoro-Sumbing terimakasih telah memberikan pengalaman di tempat magang serta memberikan motivasi untuk menyelesaikan skripsi.
11. Orang tua tercinta, Bapak Samidi dan Ibu Tri Mulyaningsih, Kakak Lentry Fataut dan Mas ipar Joko Siswanto penulis juga segenap keluarga besar yang selalu memberikan doa, motivasi serta dukungan yang tiada hentinya demi kelancaran kegiatan penelitian.
12. Teman-teman Program Fisika Angkatan 2019 yang telah bersedia menjadi teman diskusi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Galih Harin Prasetya sebagai teman satu kamar yang memberi motivasi dan direpotkan dengan cerita-cerita dari penulis serta teman mencari kuliner makan.
14. Terimakasih kepada Savira Nurkhodijah, Reisqi Puspitasari, dan Rifki Zaidan Ramli yang telah menjadi teman selama masa perkuliahan, membantu selama pengerjaan skripsi dan masa kuliah, menghibur disaat pusing, dan membuat masa perkuliahan menjadi indah dan berkesan.

15. semua pihak yang turut serta yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, do'a dan motivasi sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.

Demikian ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini Penulis hanyalah manusia yang tidak luput dari kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu penulis menerima setiap masukan, kritik dan saran yang diberikan dari berbagai pihak yang tentunya membangun kinerja penulis dalam membuat sebuah laporan yang menjadi lebih baik.

Semarang, 22 Januari 2024

Penulis,

Duakh Dhamarjati

NIM.1908026004

DAFTAR ISI

SKRIPSI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
NOTA DINAS.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian.....	9
E. Batasan Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Landasan Teori.....	10
1. Struktur Tanah	10
2. Bendungan	13
3. Geologi Bendungan Logung	19

4.	<i>Piping</i>	22
5.	Mikroseismik	25
6.	Metode HVSR	33
7.	Software Geopsy.....	44
8.	Perangkat lunak Surfer	45
9.	Google Earth.....	46
B.	Kajian Penelitian	47
BAB III METODE PENELITIAN		49
A.	Waktu dan Tempat Penelitian	49
B.	Alat dan Bahan.....	52
C.	Akuisisi Data	54
D.	Teknis Analisis Data.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		55
A.	Hasil Penelitian	55
B.	Pembahasan	105
BAB V KESIMPULAN.....		107
A.	Kesimpulan.....	107
B.	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA.....		109
LAMPIRAN		113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Bendungan Logung (Suwarti dan Wikarin, 1992)	21
Gambar 2. 2 Sketsa Piping Putra (2022)	23
Gambar 2. 3 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik.	38
Gambar 3. 1 Peta lokasi penelitian	50
Gambar 3. 2 Set alat microseismik.....	52
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian	56
Gambar 4. 1 Proses windowing titik 1	60
Gambar 4. 2 Tampilan sinyal pada titik 1	61
Gambar 4. 3 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	61
Gambar 4. 4 Tampilan sinyal pada titik 2	67
Gambar 4. 5 Proses Windowing titik 2.....	67
Gambar 4. 6 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	68
Gambar 4. 7 tampilan sinyal pada titik 3.....	73
Gambar 4. 8 Proses windowing pada titik 3	74
Gambar 4. 9 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	74
Gambar 4. 10 Tampilan sinyal pada titik 4.....	79
Gambar 4. 11 Proses windowing pada titik 4.....	79
Gambar 4. 12 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	80
Gambar 4. 13 Tampilan Sinyal pada titik 5	85
Gambar 4. 14 Proses windowing pada titik 5.....	85
Gambar 4. 15 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	86
Gambar 4. 16 Proses windowing pada titik 6.....	90
Gambar 4. 17 Tampilan sinyal pada titik 6.....	90
Gambar 4. 18 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	91
Gambar 4. 19 Tampilan sinyal pada titik 7.....	95

Gambar 4. 20 Proses windowing pada titik 7.....	96
Gambar 4. 21 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	96
Gambar 4. 22 Tampilan sinyal pada titik 8.....	100
Gambar 4. 23 Proses windowing pada titik 8.....	101
Gambar 4. 24 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)	101
Gambar 4. 25 Peta kontur tanah (f_0).....	104
Gambar 4. 26 Peta kontur kerentanan tanah (kg).....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kalsifikasi tanah	12
Tabel 2. 2 Macam -macam Bendungan.....	17
Tabel 2. 3 Klasifikasi Nilai Amplifikasi (Sitorus et al., 2017). 39	
Tabel 3. 1 Titik koordinat penelitian	51
Tabel 3. 2 Waktu penelitian.....	51

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bencana merupakan suatu kejadian atau rangkaian kejadian yang menimbulkan ancaman dan gangguan terhadap kehidupan dan kesejahteraan masyarakat, yang disebabkan oleh faktor alam, faktor non-alam, atau faktor manusia. Kejadian ini dapat menyebabkan hilangnya nyawa, kerusakan lingkungan, kerugian materiil, serta dampak psikologis jangka panjang. Meskipun bendungan memberikan banyak manfaat untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia, bendungan juga memiliki potensi bahaya yang signifikan (Rogers dan McMahon 1993).

Salah satu bencana alam yang menimbulkan banyak korban jiwa adalah banjir yang diakibatkan oleh kegagalan bendungan. Beberapa peristiwa yang signifikan meliputi: Banjir Johnstown di Amerika Serikat, yang disebabkan oleh jebolnya South Fork Dam dan mengakibatkan 2.200 korban jiwa; Banjir St. Francis Dam pada tahun 1928 di Amerika Serikat, yang disebabkan oleh kegagalan struktural St. Francis Dam dan menyebabkan 431 korban jiwa; Musibah jebolnya tanggul Situ Gintung di daerah Cireundeu, Tangerang

Selatan, Banten pada hari Jumat dini hari tanggal 27 Maret 2009 dalam beberapa tahun terakhir ini. Lebih dari seratus korban jiwa meninggal dan ratusan korban lainnya mengalami luka – luka dalam musibah ini. Selain itu tercatat sebanyak 260 keluarga kehilangan tempat tinggal akibat air bah; serta bencana di Bendungan Vajont pada tahun 1963 di Italia, yang disebabkan oleh longsor tanah yang menyebabkan meluapnya air bendungan dan mengakibatkan banyak korban jiwa.

Surat Al-Baqarah ayat 2:168

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَخْبَاهُ بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang bahtera yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengannya Dia menghidupkan bumi setelah mati (kering), dan Dia menebarkan di dalamnya semua jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu)

sungguh merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.

Bendungan adalah suatu konstruksi atau bangunan yang dibuat untuk menahan air dan membentuk sebuah waduk atau danau buatan. Tujuan pembangunan bendungan beragam, antara lain untuk mengontrol banjir, menghasilkan listrik, membantu irigasi pertanian, dan menyediakan sumber air minum. Bendungan biasanya terdiri dari dinding yang kuat dan tangguh, pintu air untuk mengatur aliran air, dan saluran pembuangan untuk membuang air yang berlebih (Setyawati, Najib, and Hidayatillah 2016)

Bendungan termasuk ke dalam kategori konstruksi berat (*heavy construction*), sehingga menyimpan potensi bahaya besar dan memiliki risiko kerusakan fisik bendungan serta kegagalan fungsi bendungan. Potensi permasalahan dalam pembangunan bendungan dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu dampak dari konstruksi bendungan dan dampak pasca pembangunan bendungan atau masa pemanfaatan terhadap bendungan (Harsoyo 2018).

Rembesan adalah proses perlahan-lahan dari suatu zat atau cairan yang menembus atau meresap melalui suatu bahan atau medium. Rembesan sering

kali menjadi fokus studi dalam bidang geoteknik, hidrologi, kimia lingkungan, dan bidang ilmu lainnya. Penelitian tentang rembesan biasanya mencakup pemahaman tentang laju rembesan, faktor-faktor yang memengaruhinya, dan cara untuk mengendalikan atau mengurangi rembesan tersebut. Rembesan bendungan dapat berdampak serius terhadap keamanan dan stabilitas bendungan serta lingkungan sekitarnya. Beberapa bahaya bendungan bocor antara lain:

Kerusakan Struktural bagian dari rembesan air yang berlebihan dari bendungan dapat merusak struktur fisiknya. Jika tidak ditangani dengan baik, tekanan air yang terus menerus dapat menyebabkan erosi, retakan atau bahkan kegagalan struktur, yang dapat menyebabkan runtuhnya bendungan. Runtuhnya bendungan dapat menyebabkan banjir dahsyat yang mengancam keselamatan manusia, harta benda, dan lingkungan.

Rembesan pada bendungan dan pondasi merupakan faktor penting dalam menjaga stabilitas bendungan. Rembesan adalah aliran yang terus menerus dari hulu menuju hilir melalui material yang permeabel, baik melalui tubuh bendungan maupun pondasi. Oleh karena itu, pola aliran dan debit rembesan yang keluar melalui tubuh bendungan dan

pondasi sangat penting dan perlu diperhatikan (Yong et al., 2009). Salah satu penyebab kegagalan dan kerusakan konstruksi adalah erosi akibat aliran air melalui lubang-lubang pada pondasi (*piping*).

Piping pada bendungan merujuk pada fenomena geoteknik yang terjadi di sekitar atau di dalam tubuh bendungan. *Piping* terjadi ketika aliran air di bawah tekanan tinggi merembes melalui celah-celah atau lapisan lemah dalam tanah atau batuan di sekitar bendungan. Proses ini dapat menyebabkan erosi pada material di sekitarnya, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kelemahan struktural dan bahkan kegagalan bendungan. *Piping* biasanya terjadi ketika ada perbedaan permeabilitas atau kepadatan antara lapisan tanah yang berdekatan di sekitar bendungan. Air yang mengalir melalui celah-celah atau lapisan lemah tersebut dapat merusak dan membawa material tanah atau batuan, yang mengakibatkan pembentukan saluran di bawah permukaan bendungan. Seiring waktu, saluran ini dapat memperluas dan merongrong struktur bendungan, melemahkannya, dan berpotensi menyebabkan kegagalan (Siswanto dkk, 2019).

Bendungan Logung Kudus mulai dibangun sejak tahun 2014 dan diresmikan pada tahun 2018. Bendungan ini terletak di perbatasan Desa

Kandangmas dan Desa Tanjungrejo, Kecamatan Dawe, Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Secara geologi, Kabupaten Kudus termasuk dalam wilayah Formasi Kujung yang terbentuk pada zaman Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, sekitar 15 hingga 5 juta tahun yang lalu. Formasi Kujung terdiri dari endapan pasir, batu pasir, lempung, dan batu gamping (Setyawati, Najib, and Hidayatillah 2016).

Heni dkk (2016) melakukan penelitian tentang rembesan pada perencanaan pembangunan Bendungan Logung dengan menggunakan teknik geolistrik, *grouting*, dan pengeboran inti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor keamanan *piping* di Bendungan Logung untuk lokasi penelitian daerah utara dan barat bendungan mengalami peningkatan setelah dilakukan *grouting*. Namun, faktor keamanan tersebut masih sangat mendekati nilai minimum yang diizinkan, sehingga diperlukan peninjauan ulang untuk menentukan hasil dari *grouting* yang lebih optimal supaya dapat meningkatkan faktor keamanan. Keamanan *piping* bendungan logung sebelum di *grouting* memiliki nilai 1,38 setelah di lakukan proses grounting nilai meningkat menjadi 4,77. Penelitian tentang kondisi tanah di bagian timur dan selatan bendungan yang

dapat menyebabkan *piping* belum dilakukan.

Penggunaan metode geolistrik di bagian timur dan selatan tidak memungkinkan karena lokasi tersebut tidak menyediakan area yang cukup untuk dilakukan bentangan. Metode geolistrik memerlukan area bentangan yang memadai untuk melakukan pengukuran yang akurat. Ketiadaan area yang cukup di bagian timur dan selatan menghambat penerapan metode ini, sehingga diperlukan alternatif lain atau penyesuaian dalam pendekatan pengukuran geolistrik di wilayah tersebut.

Metode geofisika yang tidak bergantung pada lokasi yang luas atau di perlukan bentangan adalah metode mikroseismik. Metode mikroseismik pada dasarnya melibatkan perekaman getaran alami yang mencerminkan kondisi geologis suatu daerah. Metode ini digunakan untuk mengetahui ketebalan lapisan lunak dengan memanfaatkan gelombang seismik kecil yang dihasilkan oleh aktivitas alam atau manusia. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui kecepatan gelombang seismik dalam material bawah permukaan, termasuk ketebalan lapisan tanah lunak.

Pengolahan data mikroseismik idealnya dibagi menjadi dua yaitu *Floor Spectra Ratio* (FSR) dan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode

yang ideal untuk bangunan bertingkat adalah metode FSR, sedangkan metode HVSR lebih tepat untuk kawasan non-bertingkat seperti bendungan. Menurut Susilo & Wiyono, (2012) metode HVSR dapat membandingkan dua komponen sinyal vertikal dan komponen sinyal horizontal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor. Parameter yang dihasilkan oleh metode HVSR adalah frekuensi dominan dan *gain factor*. Data frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik (Nakamura 2000).

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kerentanan tanah di Bendungan Logung?
2. Bagaimana identifikasi potensi terjadinya *piping* pada Bendungan Logung?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kerentanan tanah di sekitar Bendungan Logung.
2. Mengidentifikasi potensi terjadinya *piping* pada Bendungan Logung.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat mengenai kerentanan dinding bendungan yang dapat berisiko terjadinya kebocoran, kerugian material, serta korban jiwa yang lebih banyak.

E. Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian dilakukan dibagian timur dan Selatan Bendungan Logung, Kabupaten Kudus.
2. Metode yang digunakan adalah metode mikroseismik dengan teknik HVSR.
3. Penelitian ini berfokus pada penentuan potensi terjadinya *piping* pada Bendungan Logung.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Struktur Tanah

Tanah merupakan bahan yang terdiri dari butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimiawi menjadi satu kesatuan, dan berasal dari bahan organik yang telah melapuk. Selain itu, tanah juga mengandung cairan dan gas yang mengisi ruang antar partikel padat tersebut (Das 1995).

Tanah terbentuk dari hasil pelapukan mekanis dan kimiawi batuan, kecuali tanah organik seperti gambut. Sifat-sifat tanah sangat dipengaruhi oleh batuan asal serta faktor-faktor seperti iklim, topografi, organisme, dan waktu. Tanah memiliki peran krusial bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, berfungsi sebagai media pertumbuhan tanaman, habitat bagi berbagai jenis makhluk hidup, serta menyimpan air dan nutrisi .

Untuk membedakan dan mengidentifikasi sifat-sifat masing-masing jenis tanah secara akurat, digunakan metode sistematis yang memungkinkan penamaan dan pengistilahan yang tepat. Metode ini, yang dikenal sebagai sistem klasifikasi tanah, memungkinkan pemilihan istilah yang sesuai

dengan karakteristik tanah. Pendekatan ini berbeda dari metode yang digunakan dalam geologi atau ilmu tanah untuk mengidentifikasi jenis-jenis tanah.

Menurut Verhoef (1994), tanah dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar, seperti pasir dan kerikil.
- b. Tanah berbutir halus, seperti lanau dan lempung.
- c. Tanah campuran.

Pasir dan kerikil berbeda dari lanau dan lempung dalam hal sifat bahan: lanau dan lempung bersifat kohesif (partikel saling terikat), sementara pasir dan kerikil tidak kohesif (partikel tidak saling terikat). Selain klasifikasi ini, terdapat juga klasifikasi tanah yang lebih spesifik berdasarkan karakteristiknya.

Frekuensi dominan berhubungan dengan kedalaman bidang pantul gelombang di bawah permukaan. Semakin kecil frekuensi yang dihasilkan dari pemantulan gelombang, semakin tebal lapisan sedimen atau semakin dalam bidang pantul tersebut. Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang paling sering muncul dan dianggap sebagai representasi dari lapisan batuan di suatu wilayah, yang membantu mengidentifikasi jenis dan

karakteristik batuan. Nilai frekuensi yang sangat rendah meningkatkan kerentanan terhadap guncangan gempa bumi dengan periode panjang (Putri, 2016). Kanai mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan.

Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor menurut Kanai ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah (Arifin et al. 2014)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi		Deskripsi
Tipe	Jenis	Predominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	
Tipe IV	Jenis I	6,67 – 20	Batuan tersier atau lebih tua, terdiri dari batuan <i>hardsandy</i> , dan <i>gravel</i>	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis didominasi batuan keras
	Jenis II	4 – 6,67	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m, terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> dan <i>loam</i>	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter

Klasifikasi Tanah		Frekuensi		Deskripsi
Tipe	Jenis	Predominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	
Tipe III	Jenis III	2,5-4	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m, terdiri dari sandy-gravel, sandy hard clay, dan loam	Ketebalan sedimen permukaan masuk kedalam kategori tebal, sekitar 10-30 meter
			Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, dan lumpur. Dengan kedalaman 30m atau lebih	
Tipe II	Jenis IV	<2,5		Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal

2. Bendungan

Bendungan termasuk dalam kategori konstruksi berat, sehingga memiliki potensi bahaya yang besar dan resiko kerusakan fisik serta kegagalan fungsi. Permasalahan dalam pembangunan bendungan dapat dibagi menjadi dua aspek utama: dampak selama konstruksi dan dampak pasca konstruksi atau selama masa pemanfaatan bendungan. Salah satu bentuk

kegagalan dan kerusakan pada bendungan adalah erosi yang menyebabkan aliran air melalui lubang-lubang pada pondasi (*piping*) (Setyawati, Najib, and Hidayatillah 2016).

Bendungan memiliki manfaat besar, tetapi juga menyimpan potensi bahaya yang signifikan, terutama jika terjadi keruntuhan atau kegagalan struktur. Oleh karena itu, diperlukan analisis dan simulasi mengenai kemungkinan kegagalan bendungan. Ada lima tipe bendungan yang umum dibangun: bendungan urugan (*rockfill/earthfill*), lengkung beton, gravitasi beton, penopang, dan komposit (kayu, baja, komposit). Di Indonesia, bendungan tipe urugan (*earthfill dam*, *rockfill dam*, dan *random*) mendominasi secara kuantitas. Penyebab keruntuhan bendungan meliputi banjir, *piping*/rembesan, longsor, gempa bumi, kegagalan pondasi, kerusakan peralatan, kegagalan struktur, kondisi surut cepat (*rapid drawdown*), dan sabotase (Mutanga dan Kumar 2019).

Bendungan tipe urugan dibangun dengan menimbun bahan-bahan seperti batu, kerikil, pasir, dan tanah dalam komposisi tertentu untuk mengangkat permukaan air di dalam waduk (Sosrodarsono dan Takeda, 2002). Tipe bendungan

ini memiliki potensi keruntuhan akibat rembesan (*seepage and piping*). Rembesan menjadi penyebab keruntuhan 28% dari total kasus kegagalan bendungan (Costa, 1985). Sebanyak 50% keruntuhan bendungan terjadi dalam 0-5 tahun setelah penggenangan (Azdan, Donny, and Samekto 2008).

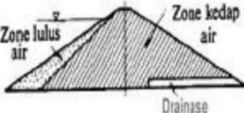
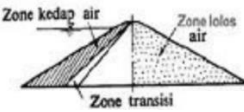
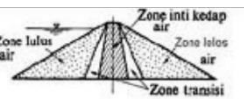
Berdasarkan penempatan dan komposisi material yang membentuk badan bendungan untuk memastikan kinerjanya yang optimal, jenis-jenis bendungan dapat diklasifikasikan sebagaimana terlihat pada Tabel 2.2. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2002), dapat menjelaskan variasi bentuk bendungan sebagai berikut:

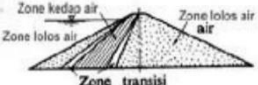
- a. Bendungan Homogen adalah tipe bendungan urugan yang termasuk dalam kategori homogen jika bahan yang membentuk struktur bendungan tersebut terdiri dari tanah dengan komposisi yang hampir seragam dan distribusi butiran yang merata. Struktur keseluruhan dari bendungan ini berfungsi ganda, baik sebagai penopang konstruksi maupun sebagai penghalang terhadap kebocoran air.
- b. Bendungan Zonal adalah tipe bendungan urugan yang masuk dalam kategori zonal ketika material

untuk penimbunan bendungan terdiri dari batuan dengan distribusi butiran yang berbeda dalam lapisan-lapisan tertentu. Dalam jenis bendungan ini, peran utama sebagai penopang diberikan pada lapisan timbunan yang memungkinkan air mengalirinya (zona yang dilewati air), sedangkan untuk mencegah kebocoran air, tanggung jawab diberikan pada lapisan timbunan yang kedap air (zona yang tidak dilewati air).

- c. Bendungan Sekat adalah tipe bendungan urugan yang termasuk dalam kategori sekat (*facing*) ketika bagian atas lereng badan bendungan dilapisi dengan material yang memiliki tingkat kedap air yang tinggi, seperti lembaran baja anti karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, material plastik, susunan blok beton, dan sejenisnya.

Tabel 2. 2 Macam -macam Bendungan

Tipe	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Urugan homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi sama dan bersifat kedap air.
Bendungan Urugan Zonal Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya
Bendungan Urugan Zonal Inti Vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal

Tipe	Skema Umum	Keterangan
Bendungan urugan zonal inti miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan urugan batu dengan membrane		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, dilengkapi dengan membran kedap air dilereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran beton bertulang. Aspal beton, lembaran plastic, dan lain-lainnya.

3. Geologi Bendungan Logung

Bendungan Logung merupakan bendungan *multipurpose* dengan kapasitas 20 juta meter kubik (BBWS Pemali Juana, 2014). Di area penelitian ini, terdapat beberapa jenis batuan dengan kondisi yang berbeda.

Berdasarkan pengamatan lapangan, batuan-batuan tersebut dapat dibagi menjadi tiga satuan: breksi vulkanik, batupasir tufan, dan tuf. Berikut adalah penjelasan mengenai batuan-batuan yang terdapat di Bendungan Logung:

a. Satuan batuan tuff

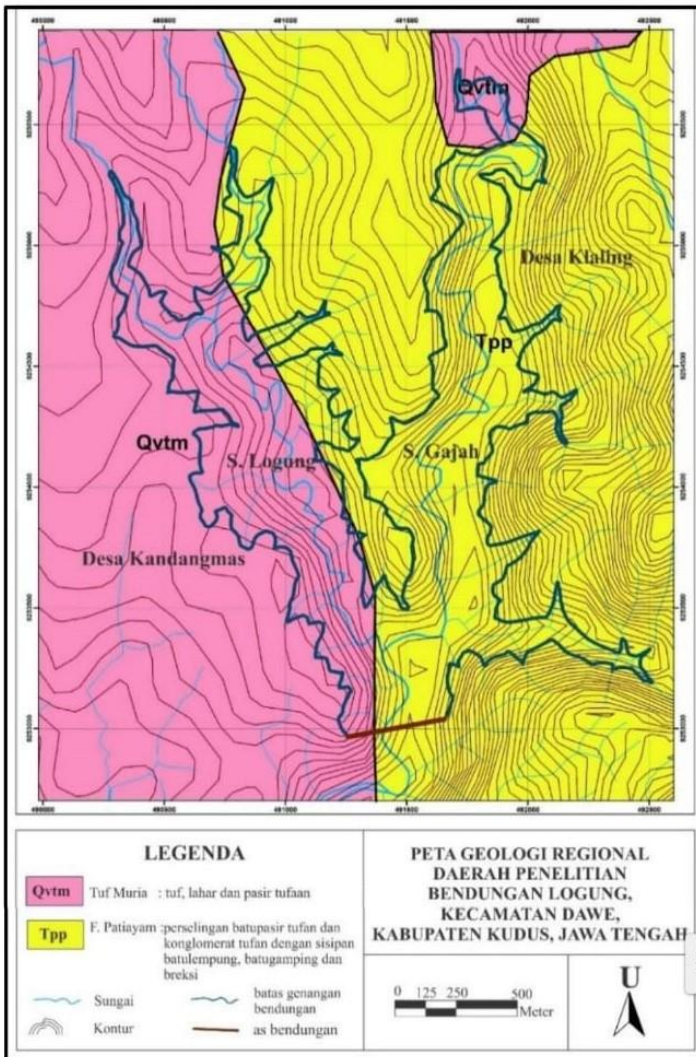
Satuan batuan tuf merupakan gabungan dari lapisan tufa yang terinterupsi oleh lapisan batupasir tufan. Tufa pada satuan ini umumnya berwarna abu-abu terang hingga sedikit coklat, dengan tekstur padat dan sedikit terlapuk. Beberapa bagian menunjukkan dominasi tufa sebagai komponen utama batuan, sementara di bagian lain terdapat material litik yang terendapkan dengan baik.

Batupasir tufan yang ditemukan memiliki warna dominan putih kekuningan. Ukuran butiran pada lapisan batupasir tufan ini bervariasi, mulai dari pasir sangat halus (0,25-

0,125 mm) hingga pasir sedang (0,5-0,25 mm), dan bahkan terdapat lapisan dengan butiran mencapai ukuran kerikil (4-8 mm).

b. Satuan breksi vulkanik.

Satuan batuan ini terdiri dari breksi vulkanik yang terbentuk dari lelehan Gunung Muria purba. Batuan ini terdapat di bagian utara area yang akan digenangi oleh waduk yang direncanakan. Singkapan batuan ini dapat ditemukan di tepi aliran sungai. Breksi ini memiliki warna hitam keabu-abuan ketika basah dan abu-abu ketika kering. Di beberapa bagian singkapan, terdapat fragmen breksi yang tidak seragam ukurannya, mulai dari pasir kasar (1-2 mm) hingga bongkah (25-64 mm). Di bagian lainnya, fragmen tersebut memiliki ukuran yang lebih seragam dengan butiran kerikil yang beragam. Fragmen ini terdiri dari pecahan batu andesit yang memiliki bentuk yang bervariasi dari meruncing hingga membundar (H Setyawatidkk,2018). Peta geologi regional yang ada dibendungan logung ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Bendungan Logung (Suwarti dan Wikarin, 1992)

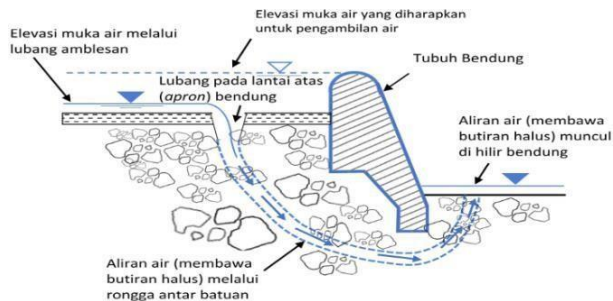
4. *Piping*

Piping adalah fenomena rembesan tanah yang mengakibatkan tanah berada dalam kondisi melayang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Keadaan ini dapat menyebabkan transportasi partikel-partikel tanah halus, yang pada gilirannya membentuk rongga-rongga dalam tanah. Rongga-rongga ini dapat mengakibatkan penurunan fondasi bangunan dan mengganggu stabilitasnya (Hardiyatmo, 2010). *Piping* dapat terjadi pada tanggul, pondasi, atau tanggul di sekitar pondasi bendungan. Pada tanggul bendungan, *piping* disebabkan oleh tiga proses utama: erosi belakang, *suffusion* (pengangkutan partikel tanah oleh rembesan), dan kebocoran yang terkonsentrasi. Erosi belakang terjadi ketika erosi dimulai dari titik keluar rembesan dan berkembang secara progresif.

Fauzi dkk (2023) melakukan sebuah penelitian di Bendungan Cijurey di Kabupaten Bogor, Jawa Barat dengan tujuan untuk mengidentifikasi rembesan terjadinya *piping* pada daginding bendungan.

Pada Gambar 2.2. Bendungan ini terletak

pada lapisan tanah yang mendominasi yaitu batu lempung dan batu pasir, dimana memiliki nilai permeabilitas yang berbeda dengan daya dukung yang rendah, selain itu debit rembesan yang terjadi akan memiliki pola yang berbeda. Analisa remebsan dan piping menggunakan software Geostudio SEEP/W.



Gambar 2. 2 Sketsa Piping Putra (2022)

Putra (2022) membahas penggunaan metode mikroseismik untuk memantau terjadinya piping yang dapat menyebabkan kerentanan dinding bendungan. Studi ini menyajikan berbagai metode dan teknik yang digunakan dalam penggunaan mikroseismik untuk memantau kondisi bendungan. *Piping* yang disebabkan oleh erosi internal dapat menyebabkan kegagalan struktural pada bendungan urugan. Pembentukan *piping* dimulai di

bagian hilir kaki bendungan, dipengaruhi oleh gradien kritis material (I_c) dan gradien hidrolik keluaran (I_e). Jika perbandingan nilai kedua parameter ini melebihi batas tertentu, dapat memicu terbentuknya *piping*. Selain itu, untuk mengurangi risiko terjadinya *piping*, debit rembesan yang diperbolehkan tidak boleh melebihi 1% dari rata-rata tahunan debit air sungai yang masuk ke bendungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi debit rembesan dan faktor keamanan *piping* di bagian hilir kaki bendungan, baik pada kondisi fondasi tanpa perbaikan maupun dengan perbaikan.

Beberapa kelemahan yang terkait dengan *piping* pada bendungan termasuk:

- a. Kegagalan Struktural: Jika *piping* tidak terdeteksi atau diatasi dengan cepat, dapat terjadi erosi pada dasar bendungan yang menyebabkan terbentuknya saluran air yang memperbesar retakan atau celah pada tanah dasar. Ini dapat mengarah pada kegagalan struktural, dimana air akan merembes ke luar bendungan atau menyebabkan retakan yang dapat melemahkan integritas strukturalnya.
- b. Kerusakan Tanah di sekitar Bendungan: *piping*

dapat menyebabkan erosi pada tanah di sekitar dasar bendungan, mengurangi kekuatan dan stabilitas lereng serta mendukung pertumbuhan saluran air bawah tanah yang tidak diinginkan. Jika air merembes melalui saluran yang terbentuk oleh *piping*, dapat terjadi banjir di hilir bendungan, membahayakan daerah sekitarnya.

- c. Perangkat lunak *Geostudio Seep/W* digunakan untuk melakukan analisis terkait desain Bendungan *Way Sekampung*. Berbagai skenario yang disimulasikan melibatkan kombinasi penampang melintang tipikal dan berbagai metode perbaikan fondasi seperti *curtain grouting* dan *upstream blanket*. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua skenario memenuhi persyaratan untuk debit rembesan dan faktor keamanan *piping*.

5. Mikroseismik

Metode mikroseismik adalah salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan dinding bendungan. Metode ini didasarkan pada pengukuran getaran tanah yang dapat dihasilkan oleh aktivitas seismik alami seperti gelombang mikro yang berasal dari ombak laut, angin, gempa bumi, dan aktivitas

manusia seperti kendaraan dan mesin. Dalam landasan teori ini, akan dibahas mengenai beberapa studi yang telah dilakukan menggunakan salah satu metode mikroseismik untuk mengidentifikasi kerentanan dinding bendungan.

Mikrotremor merupakan hasil kombinasi gelombang *Rayleigh* dan gelombang badan. Gelombang *Rayleigh* merambat sepanjang permukaan bumi, sedangkan gelombang tubuh merambat melalui batuan (Agustina 2019). Terjadinya amplitudo yang kecil dapat disebabkan oleh berbagai fenomena alam dan aktivitas antropogenik seperti gelombang laut, angin, dan getaran kendaraan. Amplitudo ini memberikan gambaran keadaan geologi wilayah dekat permukaan (Araidan Tokimatsu, 2005).

Landasan teori yang digunakan dalam metode mikroseismik adalah teori gelombang seismik. Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat melalui bumi dan disebabkan oleh gempa bumi, letusan gunung berapi, dan aktivitas geologi lainnya. Gelombang seismik memiliki frekuensi yang lebih tinggi daripada gelombang suara, sehingga disebut juga gelombang mikro.

Metode mikroseismik, gelombang mikro yang

dipancarkan oleh benda-benda di sekitar dinding bendungan diukur dengan menggunakan alat yang disebut seismometer. Seismometer akan merekam gelombang mikro tersebut dan menghasilkan data yang kemudian dianalisis untuk mengukur kekerasan dan kekuatan dinding bendungan.

Dalam metode mikroseismik dapat digunakan untuk memantau kondisi dinding bendungan secara terus-menerus dan dapat mendeteksi keretakan atau kelemahan pada dinding bendungan sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Metode ini juga dapat digunakan untuk memprediksi potensi risiko kerusakan pada lapisan tanah disekitar bendungan sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan yang tepat. berikut ini adalah beberapa landasan teori yang mendasari penggunaan metode mikroseismik dalam identifikasi kerentanan dinding bendungan:

- a. Gelombang mikro merupakan salah satu jenis gelombang seismik yang memiliki frekuensi antara 1 Hz hingga 100 Hz. Gelombang mikro sering kali dihasilkan oleh aktivitas seismik alami seperti ombak laut, angin, dan gempa bumi, serta aktivitas manusia seperti kendaraan

dan mesin. Gelombang mikro ini dapat merambat melalui tanah dan batuan, dan dapat digunakan untuk mendeteksi sifat dan karakteristik dari benda tersebut.

- b. Getaran tanah yang dihasilkan oleh gelombang mikro dapat diukur menggunakan sensor getaran yang sensitif. Sensor ini akan merekam dan merekam getaran tanah dalam bentuk sinyal yang dapat dianalisis untuk menentukan karakteristik batuan dan tanah yang membentuk dinding bendungan.
- c. Kecepatan gelombang mikro dalam batuan dan tanah bergantung pada karakteristik fisik dari material tersebut, seperti kepadatan, kekuatan, dan porositas. Dalam identifikasi kerentanan dinding bendungan, kecepatan gelombang mikro dapat digunakan untuk menentukan perubahan sifat dan karakteristik dari batuan dan tanah pada dinding bendungan.
- d. Refleksi dan refraksi gelombang mikro
Gelombang mikro yang merambat melalui batuan dan tanah dapat mengalami refleksi dan refraksi pada *interface* batuan dan tanah yang berbeda. Hal ini dapat digunakan untuk

mengidentifikasi lapisan batuan dan tanah pada dinding bendungan dan menentukan sifat dan karakteristik dari lapisan tersebut.

Dalam menggunakan salah satu metode geomagnetik yaitu berupa metode mikroseismik didasarkan pada sifat dan karakteristik gelombang mikro dapat digunakan untuk mengidentifikasi sifat dan karakteristik batuan dan tanah pada dinding bendungan. Getaran tanah yang dihasilkan oleh gelombang mikro diukur dan dianalisis untuk menentukan kecepatan gelombang mikro, refleksi, dan refraksi gelombang mikro yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan dinding bendungan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil evaluasi kerentanan dinding bendungan menggunakan metode mikroseismik antara lain:

- a. Karakteristik dari geologi dan geoteknik:
Karakteristik geologi dan geoteknik di sekitar bendungan dapat mempengaruhi hasil evaluasi kerentanan dinding bendungan menggunakan metode mikroseismik contohnya seperti jenis batuan, kedalaman lapisan tanah, kondisi air tanah, dan struktur batuan dapat mempengaruhi kecepatan gelombang seismik

dan refleksi, sehingga mempengaruhi hasil evaluasi.

- b. Jenis dan kondisi dinding bendungan: Jenis dan kondisi dinding bendungan dapat mempengaruhi hasil evaluasi kerentanan dinding bendungan menggunakan salah satu metode mikroseismik. Misalnya, dinding beton memiliki karakteristik akustik yang berbeda dengan dinding tanah liat atau batuan, sehingga dapat mempengaruhi keakuratan hasil evaluasi. Selain itu, kondisi fisik dinding seperti retak atau korosi juga dapat mempengaruhi hasil evaluasi.
- c. Kondisi lingkungan sekitar: Kondisi lingkungan sekitar bendungan juga dapat mempengaruhi hasil evaluasi kerentanan dinding bendungan menggunakan salah satu metode mikroseismik. Contohnya, adanya kebisingan lalu lintas, aktivitas industri, atau aktivitas konstruksi dapat menghasilkan getaran yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal mikroseismik.
- d. Kualitas instrumen dan keahlian operator: Kualitas instrumen dan keahlian operator juga dapat mempengaruhi hasil evaluasi kerentanan dinding bendungan menggunakan salah satu metode mikroseismik. Instrumen yang baik dan

operator yang terlatih dapat menghasilkan data yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

- e. Skala pengukuran contohnya juga dapat mempengaruhi hasil evaluasi kerentanan dinding bendungan menggunakan salah satu metode mikroseismik. Pengukuran yang dilakukan pada skala yang lebih kecil dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan rinci. Namun, pengukuran pada skala yang lebih besar dapat memberikan gambaran umum.

Setelah data getaran dikumpulkan, dilakukan analisis spektrum frekuensi untuk menentukan karakteristik geologi dan struktur tanah di sekitar bendungan. Metode ini dapat mengungkapkan ketebalan dan jenis lapisan batuan atau material tanah di sekitar bendungan, yang dapat memberikan informasi penting tentang potensi keretakan atau retakan pada dinding bendungan.

Metode mikroseismik juga dapat digunakan untuk memonitor perubahan kondisi struktur dalam tanah di sekitar bendungan dari waktu ke waktu. Data getaran mikro yang terus-menerus dikumpulkan dan dianalisis dapat memberikan informasi tentang perubahan kekuatan dan

kerapatan tanah di sekitar bendungan, dapat digunakan untuk memperkirakan kerentanan pada dinding bendungan dalam jangka waktu yang cukup panjang. Namun, diingat bahwa metode mikroseismik hanya satu dari beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan dinding bendungan, dan hasil dari analisis perlu dikonfirmasi dengan metode lain dan pengamatan visual lapangan.

Dalam keseluruhan metode yang tepat menggunakan, metode mikroseismik adalah metode yang efektif dalam mengidentifikasi kerentanan dinding bendungan. Studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa metode ini dapat digunakan untuk memantau kondisi bangunan bendungan dan memungkinkan terjadinya kerentanan pada dinding bendungan. Metode mikroseismik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengukur kekerasan dan kekuatan dinding bendungan. Metode ini didasarkan pada pengukuran getaran atau gelombang mikro yang dipancarkan oleh benda-benda di sekitar dinding bendungan, seperti air, tanah, dan batuan.

Data mikrotremor yang telah direkam

kemudian dianalisis dengan metode HVSR untuk menghasilkan spektrum HVSR. Dari hasil spektrum HVSR tersebut, akan diperoleh dua parameter kunci yang menggambarkan karakteristik struktur bawah permukaan tanah, yaitu frekuensi dominan dan faktor amplifikasi.

6. Metode HVSR

Metode HVSR (*Horizontal to Veirtical Speictral Ratio*) adalah sebuah metode yang mengasumsikan bahwa perbandingan antara komponen horisontal dan vertikal getaran permukaan berkaitan dengan perpindahan. Metode HVSR dapat digunakan untuk mengestimasi frekuensi alami dan amplifikasi geologi yang didapatkan dari data mikrotremor di daerah setempat (Nakamura 2000). Banyak penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Kassaras et al. (2008), Pando et al. (2008), dan Rodrigues et al. (2000), menggunakan metode HVSR dalam penelitian yang melibatkan getaran sekitar. Penelitian (Agustina 2019) juga menerapkan metode HVSR dalam penelitiannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Mudamakin (2015) satria yaitu mencoba mengamati

karakteristik respon seismik dan struktur tanah Bendungan Karangkates selama tahap pemeliharaan awal. Hasil yang diperoleh berupa grafik perbandingan komponen vertikal dan horizontal serta parameter frekuensi yang dominan. Oleh karena itu di peroleh persamaan (2.1) rumus dari Metode HVSR sebagai berikut ini

$$HVSR(f) = \frac{\sqrt{P_H(f_x) - P_H(f_y)}}{P_V(f)} \quad (2.1)$$

dimana :

$HVSR(f)$ = *rasio spectral horizontal*
terhadap *vertical* pada frekuensi (f)

$P_H(f_x)$ = *densitas spectral* daya dari
komponen horizontal pertama
(biasanya arah utara-selatan)
pada frekuensi (f)

$P_H(f_y)$ = *densitas spectral* daya dari
komponen horizontal kedua
(biasanya arah timur-barat) pada
frekuensi (f)

$P_V(f)$ = *densitas spectral* daya dari
komponen vertikal pada frekuensi
(f)

Setelah itu, menghitung nilai indeks kerentanan seismik dengan rumus yang

ditunjukkan pada (2.2) sebagai berikut:

$$Kg = A_0^2 / f_0 \quad (2.2)$$

dengan

K_g = Indeks kerentanan tanah,

A_0 = Amplitudo dan

f_0 = Frekuensi Natural.

Untuk nilai K_g merupakan nilai yang tinggi umumnya, ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak, Nilai K_g bahwa yang tinggi menggambarkan bahwa daerah tersebut rentan terdapat gempa, apabila mengalami gempa di di daerah tersebut akan terdampak guncangan yang kuat (Nakamura 2000). Untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$PGA = B_1 10^{B_2 M} (\Delta + 10)^{B_3} \quad (2.3)$$

Dalam menentukan indeks kerentanan seismic, perlu diperhatikan pergeseran regangan pada permukaan tanah. Oleh karena itu besarnya pergeseran regangan tanah atau Ground Shear Strain dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{A_0}{H} d \quad (2.4)$$

dengan

H = ketebalan lapisan lapuk (m),

d = perpindahan gelombang seismik di batuan dasar (m)

A_0 adalah faktor amplifikasi.

Perhitungan nilai diperoleh dengan menggunakan metode HVSR.

HVSR merupakan metode pengolahan data guncangan mikro dengan membandingkan gelombang transversal dan longitudinal dengan getaran tanah, yang merupakan gambaran dari metode HVSR. Hasil HVSR disajikan dalam bentuk frekuensi natural (f_0) dan *gain* (A_0) yang merupakan parameter yang menggambarkan kondisi bawah tanah (Setyawati, Najib, and Hidayatillah 2016)

1. Amplifikasi

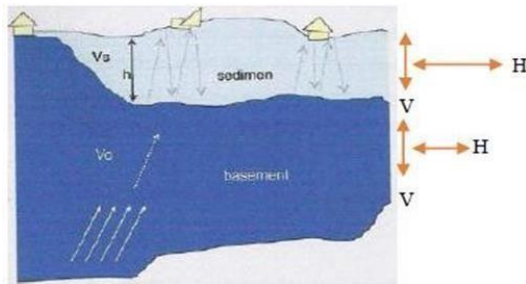
Amplifikasi adalah fenomena di mana amplitudo gelombang seismik meningkat ketika merambat melalui lapisan dengan sifat yang berbeda secara signifikan. Dengan kata lain, amplitudo gelombang seismik meningkat ketika berpindah dari medium keras ke medium lunak.

Derajat kenaikan amplitudo bergantung pada perbedaan yang ada antara kedua media.

Semakin besar selisihnya maka semakin besar peningkatan amplitudo yang terjadi pada gelombang seismik tersebut (Satria, Resta, and MZ 2020). Perolehan dihasilkan dari puncak yang sering terjadi (frekuensi dominan) pada kurva frekuensi. Penguatan memiliki arti fisik: amplitudo maksimum. Amplitudo maksimum dapat ditentukan dari nilai frekuensi yang sering muncul. Frekuensi yang sering terjadi mewakili formasi batuan di daerah tersebut. Penguatan terkait dengan perbandingan kontras impedansi antara lapisan permukaan dan lapisan di bawahnya, yang mengubah nilai penguatan wilayah. Kontras impedansi bergantung pada kepadatan dan kecepatan gelombang di permukaan dan lapisan di bawahnya.

Amplifikasi (A_0) mencerminkan distribusi kondisi batuan lunak dan keras berdasarkan nilai amplifikasi yang dihasilkan. Nilai amplifikasi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa batuan di bawah permukaan mengalami deformasi lebih lanjut akibat pengaruh peristiwa

geologis yang mengubah sifat fisiknya. Konsep dasar dari fenomena amplifikasi gelombang seismik terkait dengan keberadaan lapisan sedimen di atas batuan dasar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik (Hidayat, Kusmita, and Jambi Jl Raya Jambi -Muara Bulian 2020).

Konsep dasar amplifikasi dapat dirumuskan seperti persamaan

$$A_0 = \frac{P_o V_o}{P_s V_s} \quad (2.5)$$

P_o = densitas di lapisan *basement*

V_o = kecepatan gelombang di lapisan *basement*

p_s = densitas di lapisan sedimen

V_s = kecepatan di lapisan sedimen.

Nilai amplifikasi dapat meningkat ketika batuan mengalami deformasi seperti pelapukan, lipatan, atau patahan yang mengubah sifat fisiknya. Pada jenis batuan yang sama, variabilitas nilai amplifikasi dapat terjadi tergantung pada tingkat deformasi dan pelapukan di dalam tubuh batuan tersebut (Marjiyono, 2010). Menurut Setiawan, seperti yang dikutip oleh Sitorus et al. (2017), klasifikasi nilai amplifikasi tanah dapat ditemukan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Nilai Amplifikasi (Sitorus et al., 2017)

Tingkat Amplifikasi	Tingkat Kerawanan	Makna Amplifikasi
< 3	1	Rendah
$3 < A \leq 6$	2	Menengah
$6 < A \leq 9$	3	Tinggi
> 9	4	Sangat Tinggi

2. Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang sering muncul yang dapat dikenali sebagai nilai frekuensi formasi batuan lokal dan

memberikan informasi mengenai jenis dan sifat batuan. Nilai frekuensi yang dominan untuk pengolahan HVSR adalah frekuensi natural yang terjadi pada wilayah tersebut. Ketika gempa bumi atau gangguan terjadi sebagai getaran dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi alami, maka terjadi resonansi, dan gelombang seismik di daerah tersebut diperkuat. Batas pengamatan frekuensi gempa umumnya 0,5 s/d 20 Hz, dan dapat mencapai 0,2 Hz untuk gempa frekuensi rendah. Nilai frekuensi dominan dapat mewakili jenis tanah berdasarkan tabel klasifikasi tanah pada Tabel 2.1. Frekuensi dominan, disebut juga frekuensi natural, adalah frekuensi yang paling sering muncul dalam sistem. Frekuensi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis tanah yang ada. Frekuensi dominan berkaitan dengan periode dominan, yaitu waktu yang diperlukan satu siklus penuh gelombang seismik untuk dipantulkan kembali ke permukaan bumi (Sunardi, Arifin, and Susilanto 2012).

3. Ketebalan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen dapat dibandingkan pipa organ terbuka, dan ketika

terjadi resonansi pada amplitudo gelombang meningkat dibandingkan dengan amplitudo aslinya. Fenomena ketebalan vokal terjadi ketika amplitudo gelombang berada pada titik maksimum, yaitu ketika gelombang dengan ketebalan tersebut mempunyai nilai amplitudo maksimum yang disebabkan oleh fenomena resonansi. Ketebalan lapisan sedimen mengacu pada tebalnya lapisan tanah yang lunak atau terlapuk di atas batuan dasar, yang mempengaruhi kecepatan gelombang badan. Menurut Nakamura (2008), ketebalan lapisan sedimen (h) berhubungan dengan frekuensi natural (f_0) dan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter. V_{s30} sehingga dapat dirumuskan persamaan (2.6)

$$f_0 = \frac{V_{s30}}{4h} \quad (2.6)$$

dengan

h : sebagai ketebalan sedimen,

$$h = \frac{V_{s30}}{4f_0} \quad (2.7)$$

Menurut Zaharia dkk (2008), hal berikut ini benar adanya. Semakin kecil nilai frekuensi dominan maka lapisan lapuk semakin tebal dan batuan dasar semakin dalam. Lapisan sedimen

yang tebal memerangkap lebih banyak gelombang, sehingga frekuensi dominannya lebih kecil. Ketika frekuensi bangunan sesuai dengan frekuensi lapisan tanah yang berlaku, resonansi gelombang dapat terjadi dan gelombang seismik dapat diperkuat hingga dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada bangunan.

Nilai V_{s30} ditentukan menggunakan data United States Geological Survey (USGS) dengan memasukkan koordinat pengumpulan data. Nilai kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 m dapat digunakan untuk menentukan parameter geoteknik dalam pembangunan infrastruktur. Di bawah ini adalah klasifikasi nilai V_{s30} berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Jenis Batuan (UBC) (Nurrahmi, Efendi, and Sandra 2015)

Tipe Batuan	Jenis Batuan	V_{s30}
A	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)	>1500 m/s
B	<i>Rock</i> (BatuanSedang)	$760 \leq h \leq 1500$ m/s
C	<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	$360 - 760$ m/s
D	<i>Stiff Soil</i> (Tanah Sedang)	$180 \leq h \leq 360$ m/s
E	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)	<180 m/s

kerentanan tanah merupakan parameter yang menggambarkan persebaran dari indeks kerentanan yang berhubungan dengan tingkat resiko suatu daerah terhadap gempabumi. Kerentanan tanah dapat merujuk kepada tingkat kerentanan suatu lapisan tanah di permukaan yang mengalami deformasi berlebih Ketika

gempabumi terjadi. Berdasarkan klasifikasi kerentanan tanah (Sunardi, Arifin, and Susilanto 2012). Berikut ini nilai kriteria kerentanan tanah ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Klasifikasi Kerentanan Tanah

Kerentanan Tanah	Klasifikasi
<10	Rendah
$10 \leq \text{kg} \leq 20$	Sedang
>20	Bahaya

7. Software Geopsy

Geopsy adalah paket perangkat lunak bebas dan sumber terbuka yang dirancang untuk pemrosesan dan interpretasi data seismik. Ini banyak digunakan di bidang teknik gempa, geofisika, dan seismologi. Geopsy menyediakan berbagai alat untuk analisis sinyal seismik, termasuk tomografi kebisingan sekitar, interferometri seismik, analisis spektral, dan lokasi gempa. Perangkat lunak ini sangat disesuaikan dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pengguna. Geopsy ditulis dengan Python dan tersedia untuk sistem operasi Windows, Mac OS X, dan Linux. Ini memiliki antar muka yang ramah

pengguna yang memudahkan untuk memuat, memvisualisasikan, dan menganalisis data seismik. Selain itu, perangkat lunak ini terdokumentasi dengan baik dan memiliki komunitas pengguna aktif yang memberikan dukungan dan bantuan.

Kerentanan bendungan dapat dipelajari oleh Wahyudin dkk (2019) dan menyajikan hasil pengolahan data rekaman mikroseismik. Rekaman seismik meliputi frekuensi dominan tanah (f_0), ketebalan pelapukan (H), kerentanan seismik (Kg) dan GSS (Ground Shear Strain). Perhitungan nilai diperoleh dengan menggunakan metode HVSR kemudian diolah menggunakan software Geopsy.

Secara keseluruhan, Geopsy adalah software alat yang kuat dan serbaguna yang banyak digunakan dalam komunitas riset seismik untuk berbagai aplikasi.

8. Perangkat lunak Surfer

Surfer merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Golden Software* yang menyediakan kemampuan untuk membuat peta kontur, peta 3D, pemodelan permukaan, analisis data geospasial, dan visualisasi informasi geografis. Perangkat lunak ini berguna bagi ahli geologi, ahli

geofisika, peneliti lingkungan, dan berbagai profesional lainnya yang membutuhkan analisis dan representasi visual data geospasial. Surfer memungkinkan Anda mengimpor data dari berbagai sumber, termasuk data pengukuran lapangan, data penginderaan jauh, dan data geospasial lainnya untuk membuat peta, membuat gambar permukaan, serta menganalisis dan memvisualisasikan data 2D dan 3D.

Software Surfer memiliki beragam fitur, antara lain pembuatan peta kontur, visualisasi permukaan, analisis statistik, dan kemampuan membuat visualisasi data geospasial yang jelas dan mudah dipahami.

9. Google Earth

Google Earth adalah sebuah program komputer yang memungkinkan pengguna untuk mengeksplorasi planet Bumi dengan menggunakan citra satelit dan pemetaan yang diperbarui secara teratur. Program ini dikembangkan oleh perusahaan teknologi Google. Google Earth menyediakan pemandangan dari permukaan Bumi dengan detail yang tinggi, termasuk citra udara, peta topografi, dan citra satelit dari berbagai lokasi di seluruh dunia (Massironi dkk, 2013).

B. Kajian Penelitian

Astuti dkk(2012) melaksanakan penelitian di dekat Bendungan Bajulmati terletak di Desa wongsorejo Kabupaten Bayuwangi dengan tujuan untuk Monitoring kondisi geologi pondasi dari rencana bendungan Bajulmati, yang memiliki karakteristik permeabel terhadap air, memerlukan perbaikan pondasi untuk mencegah bahaya dari rembesan yang dapat mengancam keamanan bendungan. Studi ini akan menganalisis pola aliran dan debit rembesan untuk beberapa opsi perbaikan pondasi dengan menggunakan analisis numerik berbasis elemen hingga (software Seep/W) dalam kondisi steady state, dengan waduk pada tingkat muka air yang tinggi. Analisis ini akan dilakukan dalam dua tahap: tahap pertama akan mempertimbangkan kondisi tanpa perbaikan pondasi, sementara tahap kedua akan mempertimbangkan beberapa alternatif perbaikan pondasi seperti sementasi tirai (*grouting*), dinding penghalang (*cut off wall*), dan alas kedap air hulu (*upstream blanket*).

Studi yang dilakukan oleh (Pancawati. et al. 2016) bertujuan untuk mengidentifikasi kerentanan dinding bendungan menggunakan

metode mikroseismik di Bendungan Jatibarang, Semarang. Metode ini memanfaatkan teknik HVSR dengan durasi perekaman selama 30 menit. Data lapangan tersebut diproses menggunakan perangkat lunak Geopsy dan kemudian dianalisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada titik B1 dan A3, nilai frekuensi natural dan percepatan getaran tanah maksimum tinggi, sementara nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan lapuk, dan ground shear strain rendah. Di titik B4 dan A6, nilai frekuensi natural dan ground shear strain rendah, sementara nilai percepatan getaran tanah maksimum, indeks kerentanan seismik, dan ketebalan lapisan lapuk sedang. Pada titik B2, B3, A4, dan A5, nilai frekuensi natural dan percepatan getaran tanah maksimum tinggi, sementara nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan lapuk, dan ground shear strain juga tinggi. Dari analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa titik B1 dan A3 memiliki risiko kerawanan rendah, B4 dan A6 memiliki risiko kerawanan sedang dengan potensi rekahan atau penurunan tanah, sementara B2, B3, A4, dan A5 memiliki risiko kerawanan tinggi.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bendungan Logung yang terletak pada perbatasan Desa Kandangmas dan Desa Tanjungsrejo Kecamatan Dawe, Kabupaten Kudus. Untuk koordinatnya berada di $6^{\circ}45'34.2''S$ $110^{\circ}55'18.4''E$. Untuk Morfologi bidang bendungan Logung dan lingkungan sekitarnya pada zona banjir terbagi menjadi dua bagian, yaitu morfologi punggung barat laut – arah tenggara dengan bentuk lembah perbukitan rendah-tinggi dengan kemiringan daratan dari 50 sampai 450, pola aliran sungai sejajar di bagian hulu dan mesh di bagian hilir. Unsur morfologi tersebut menempati sisi kiri bendungan. Sisi kanan bendungan bercirikan bukit yang memanjang dan terlokalisasi dengan permukaan agak bergelombang dengan kemiringan medan 200 - 450, Model aliran Sungai mengalir sejajar bagian hulu dan mengikuti anak-anak sungai di bagian hulu ke bagian hilir.

Penelitian ini dilakukan untuk mengambil 8 titik data seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Peta lokasi penelitian

Rincian data koordinat Latitude dan Longitude di bendungan logung ditunjukkan pada Tabel 3.1. pada tabel 3.1 terdapat 8 titik, pada titik 1,2,5,6,7,8 berada pada selatan sedangkan pada titik 3 dan 4 berada pada timur.

Tabel 3. 1 Titik koordinat penelitian

Titik Penelitian	Koordinat	
	Latitude	Longitude
Titik 1	6,759485	110,921783
Titik 2	6,759789	110,921772
Titik 3	6,759614	110,920624
Titik 4	6,759378	110,920632
Titik 5	-6,759407	110,920344
Titik 6	-6,759701	110,920025
Titik 7	-6,758892	110,923283
Titik 8	-6,758908	110,92336

Pelaksanaan Penelitian di bendungan Logung Kabupaten kudas ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Waktu penelitian

No	Waktu	Kegiatan
1	11-13 April 2023	Survei Lapangan
2	3-5 Mei 2023	Penentuan Titik
3	18-20 Oktober 2023	Pengambilan Data

B. Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang di gunakan untuk melakukan penelitian dan pengolahan data:

a. alat mikroseismik



Gambar 3. 2 Set alat microseismik

- b. Laptop
- c. Software SARA
- d. Software geopsy
- e. Google Earth
- f. Software Surfer

C. Teknis Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di kawasan bendungan logung terletak di perbatasan Desa Kandangmas dan Desa Tanjungrejo Kecamatan Dawe Kabupaten Kudus. Prosedur pengambilan data dilakukan terlebih dahulu survei lokasi tempat

penelitian, pengambilan data menggunakan metode mikroseismik dengan teknik HSVR dengan memenuhi langkah-langkah berikut:

- a. Disiapkan alat yang akan digunakan untuk mengukur kerentanan dindin berupamikroseismik.
- b. Dihubungkan Antena GPS dengan Unit Velbox SL06.
- c. *Dileveling* instrument.
- d. Dihubungkan Komputer dengan Unit Velbox SL06 menggunakan LAN pada kabel USB/Ethernet.
- e. Dihubungkan pada Kabel I/O Power dengan Unit Velbox SL06.
- f. Ditentukan titik koordinat melalui GPS.
- g. Dilakukan pengecekan IP Instrumen Recorder Velbox SL-06.
- h. Kemudian mengatur IP pada laptop.
- i. Diakses web dengan cara mengetik IP instrument: port (192.168.2.100:50001) setelah itu masukkan user name tanpa password lalu tekan Ok.Masuk pada akses SARA tekan Run untuk mulai data perekaman dan tunggu sekitar 40 menit untukmemperoleh data serta mencatat apabila ada Noice di lingkungan tersebut,semisal ada orang jalan di sekitar alat tersebut.setelah 40 menit matikan pada intrumen dengan tombol Halt.
- j. Dilakukan Download data terlebih dahulu pada

instrument *ftp://192.168.2.100:50001* setelah masuk pakai user name root tanpa password lalu tekan ok. Setelah melakukan download data simpan pada folder laptop. setelah melakukan penyimpanan lakukan cara yang sama sampai titik yang terakhir.

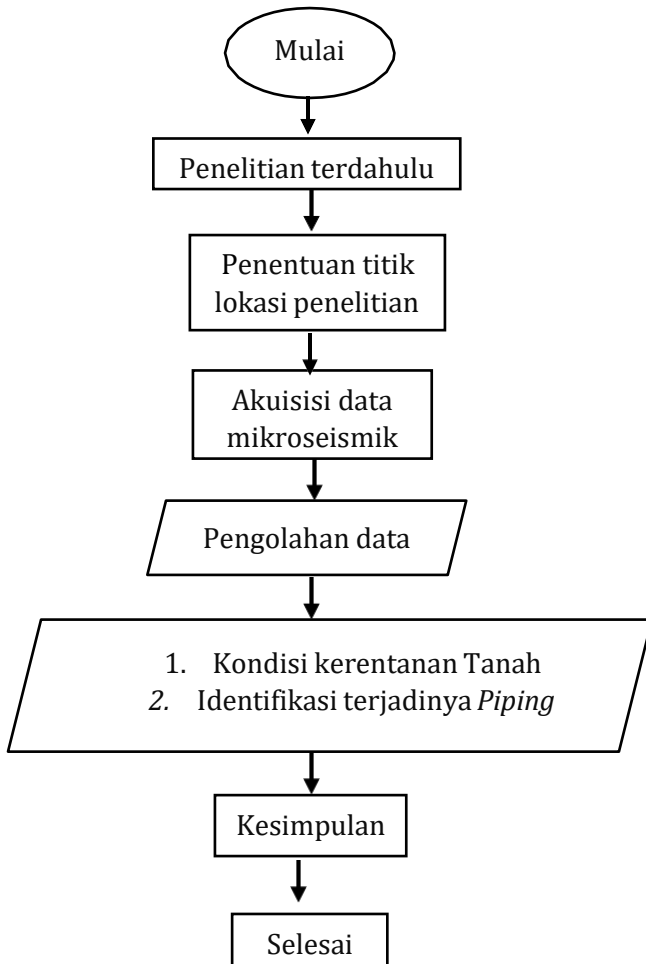
- k. Dimatikan alat dengan cara klik button pada velbox SL06 setelah alat itu sudah off kemudia dicabut power supplynya.

C. Akuisisi Data

Prosedur penelitian ditunjukkan pada diagram alir ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Prosedur penelitian secara lebih rinci sebagai berikut:

- a. Tahap pertama yaitu dapat dipastikan untuk memulai penelitian dengan cara mengetahui masalah yang terjadi untuk penelitian dengan menuliskannya.
- b. Tahap kedua adalah penelitian terdahulu yang dimana kita dapat mengetahui penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan kita ambil.
- c. Tahap ketiga berupa penentuan titik lokasi penelitian, lokasi penelitian dilakukan di daerah bendungan logung kabupaten kudas dengan 8 titik. Untuk penentuan titik dengan cara mendapatkan rekomendasi dari pihak bendunganyang mengalami piping.

- d. Tahap Kelima yaitu akuisisi data, pada akusisi data tersebut mengakusisi data mikroseismik. Peralatan yang digunakan adalah satu set alat mikroseismik, aki, kompas dan laptop.
- e. Tahap keenam berupa pengolahan data, pengolahan data pada mikroseismik dengan menggunakan software Geopsy dan software Surfer.
- f. Tahap ketujuh yaitu estimasi kerentanan Tanah, jika hasil dari pengolahan data sesuai.
- g. Tahap kedelapan berupa kesimpulan, pada tahapan ini peneliti dapat menyimpulkan hasil dari metode HVSr yang telah diinterpretasikan.



Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian

D. Teknis Analisis Data

Data yang di peroleh hasil pengukuran di bendungan logung saat melakukan dengan metode mikroseismik. setelah data yang di peroleh dari pengukuran mikroseismik berupa seismogram tiga stasiun yaitu berupa Atas-bawah, utara- selatan dan barat-timur. langkah selanjutnya yaitu dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga mendapatkan nilai Frekuensi dominan, nilai amplifikasi dan kerentanan dominan. setelahmendapatkan ketiga nilai tersebut di masukkan kedalam software oasis dan software oasis untuk diolah sehingga di dapatkan struktur lapisan yang menyusun pada bendungan tersebut. tahap selanjutnya yaitu dengan menginterpretasikan hasil dari data tersebut.

Setelah pembuatan peta f_0 terdapat di persamaan di cocokan pada klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi. Sedangkan nilai k_g itu kerentanan tanah dan dapat menilai dengan f_0 dimana mendapatkan nilai kecocokan pada peta tersebut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan di area Bendungan Logung Kabupaten Kudus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah pada Bendungan Logung dan untuk mengidentifikasi potensi terjadinya *piping* dengan menggunakan metode Mikroseismik. Penelitian ini dilakukan sebanyak 8 titik pengukuran. Hasil pengukuran ditunjukkan di bawah ini:

1. Titik 1

Pengambilan data di titik pertama dilakukan di lingkungan dataran tinggi, tepatnya di perbukitan sebelah ddinding bendungan dengan ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah. Pengukuran dimulai pukul 13.42 dan diakhiri pukul 14.12, sehingga durasi total pengukuran adalah 30 menit. Selama proses pengambilan data, terdapat beberapa gangguan (noise) terekam, yaitu: (1) pada pukul 13.46, empat menit setelah pengukuran dimulai, terdengar suara pompa air yang berlangsung hingga akhir pengukuran. (2) pada pukul 13.47, satu menit setelah suara pompa terdengar, terjadi gangguan berupa suara payung jatuh akibat tertiup angin. (3) pada

pukul 13.58, terdengar suara langkah orang berjalan, kemudian pukul 14.03 setelahnya suara langkah tersebut terdengar kembali, dan 14.06 setelahnya terjadi lagi gangguan suara payung jatuh akibat angin. (4) 14.08 kemudian, payung kembali jatuh karena angin (5) 14.10 setelahnya terdengar lagi suara langkah orang berjalan. (6) pada waktu 14.12 terjadi noise yang berupa suara payung jatuh serta orang berjalan. Gangguan-gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (*North-South*), Komponen EW (*East-West*), dan Komponen UD (*Up-Down*) yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noise. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning, hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-

masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.2) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan *noise* saat perekaman, terdapat beberapa *noise* diantaranya Pada pukul: (1) 5h42m adalah suara dari payung jatuh (2) 5h44m adalah suara dari payung jatuh yang tertiuip angin, (3) 5h46m adalah orang berjalan (4) pada pukul 5h49m adalah payung jatuh dan terdengar lagi langkah orang berjalan setelah itu terjadi suara payung jatuh kembali di karenakan oleh angin langkah suara berjalan terdengar lagi,(5) 5h51m adalah suara payung jatuh di sertai orang berjalan, (6) waktu 5h52m adalah suara payung jatuh serta orang berjalan, (7) waktu 5h55m adalah suara orang berteriak, (8) waktu 5h57m adalah suara payung jatuh, (9) 5h59m adalah suara orang berjalan.

Pada gambar 4.2 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian

setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah yang dapat di lihat pada Gambar 4.3.

Pada Gambar 4.3, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada kurva ini, nilai frekuensi dominal adalah 1.91589 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 2.10872.

Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi predomnan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.3. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan

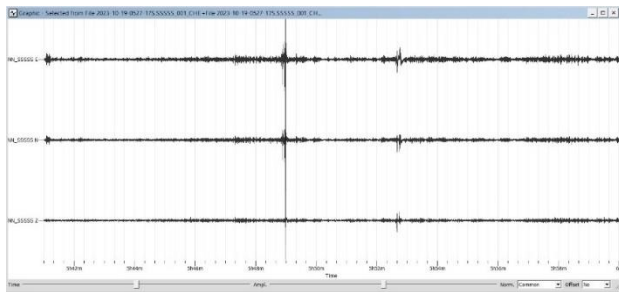
bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

Analisis kurva HVSR pada Gambar 4.3 menunjukkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar 1,915 Hz dan amplifikasi (A_0) sebesar 2,108. Berdasarkan nilai tersebut, estimasi ketebalan lapisan sedimen (h) dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.7). Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai h dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{S30}) dan frekuensi natural (f_0). Mengacu pada data United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di area titik 1 adalah 506 m/s. Dengan mensubstitusikan nilai f_0 , A_0 , dan (V_{S30}) ke dalam Persamaan (2.7), diperoleh nilai estimasi ketebalan lapisan sedimen sebesar 66,057 m.

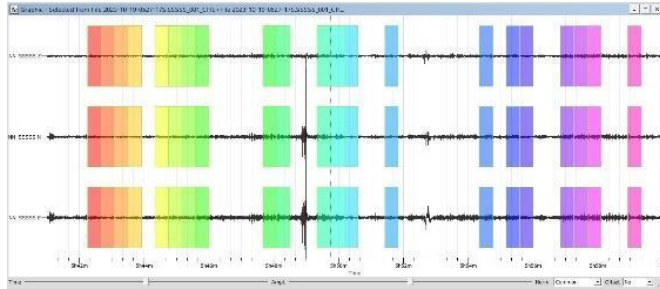
Pengukuran HVSR dilakukan di titik 1, yang terletak di dataran tinggi berupa perbukitan di sebelah dinding bendungan. Lokasi ini memiliki ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah. Hasil analisis HVSR di titik 1 menunjukkan frekuensi natural (f_0) sebesar 1,915 Hz dan amplifikasi (A_0) sebesar 2,108. Berdasarkan klasifikasi jenis tanah, titik 1 tergolong dalam jenis tanah ke-1, yaitu batuan

alluvial dengan ketebalan sedimen yang sangat tebal. Lapisan sedimen ini tersusun atas lumpur dan *topsoil*.

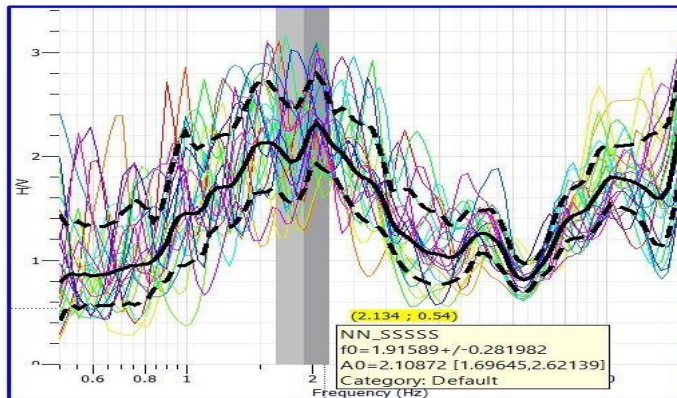
Analisis tingkat kerawanan di titik 1 berdasarkan klasifikasi amplifikasi Suharna (2009) [Tabel 2.3] menunjukkan nilai 2,108, yang tergolong dalam tingkat kerawanan 1 (rendah). Hal ini diperkuat oleh hasil analisis kerentanan Sunardi dkk (2012) yang menunjukkan nilai kerentanan di titik 1 sebesar 1,8, dikategorikan sebagai klasifikasi rendah (<10), yang mengindikasikan tingkat risiko amblesan pada bendungan sangat rendah. Gambaran visualisasi tingkat kerentanan di titik 1 ditampilkan dalam Gambar 4.27 dengan warna biru.



Gambar 4. 1 Proses windowing titik 1



Gambar 4. 2 Tampilan sinyal pada titik 1



Gambar 4. 3 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

2. Titik 2

Pengambilan data di titik kedua dilakukan didataran tinggi yang berupa perbukitan di sebelah kiri bendungan, dengan ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah. Proses pengambilan data berlangsung selama 35 menit, dari pukul 14.24 hingga

14.59 WIB. Selama proses pengambilan data, beberapa gangguan (*noise*) teridentifikasi. Noise pertama terjadi pada pukul 14.24, tiga menit setelah pengukuran dimulai, berupa suara mesin pompa air yang berlangsung hingga akhir pengukuran, Noise kedua pukul 14.25 terjadi langkah kaki orang yang lewat, dan percakapan orang di sekitar lokasi. *Noise* ketiga terjadi pada pukul 14.27, bersumber dari percakapan orang dan jatuhnya payung akibat angin kencang. *Noise* keempat terjadi pada pukul 14.28, disebabkan oleh langkah kaki orang, kelima pada pukul 14.30 percakapan orang, dan ranting pohon yang jatuh, ke enam terjadi waktu 14.32 noise berupa payung jatuh dan orang berlari. Gangguan-gangguan ini berpotensi memengaruhi kualitas data hasil penelitian.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (*North-South*), Komponen EW (*East-West*), dan Komponen UD (*Up-Down*) yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noise. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning, hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.5) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan noise saat perekaman pada waktu alat, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 7h23m adalah langkah kaki orang yang lewat, (2) 7h25m adalah suara orang ngobrol (3) 7h26m adalah suara orang ngobrol suara payung jatuh dan suara orang berjalan, (4) 7h28m adalah langkah orang berjalan, (5) 7h29m adalah suara orang berteriak, (6) 7h31m adalah suara payung jatuh dan orang berlari, (7) 7h35m adalah suara suara orang mengobrol dan ranting pohon jatuh.

Pada gambar 4.5 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur,

Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah yang dapat di lihat pada Gambar 4.6.

Pada Gambar 4.6, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada kurva ini, nilai frekuensi natural adalah 0.618 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 4.854.

Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi predominan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan

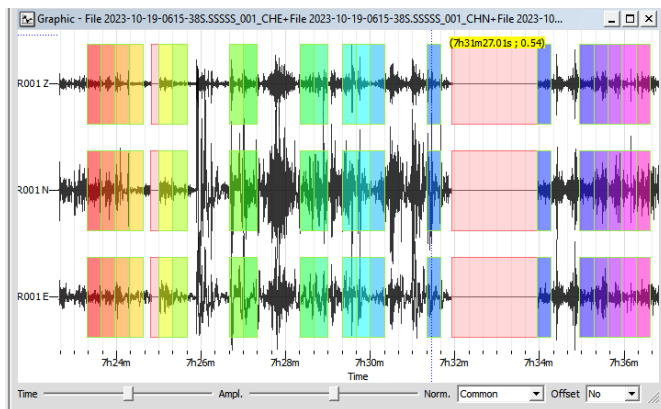
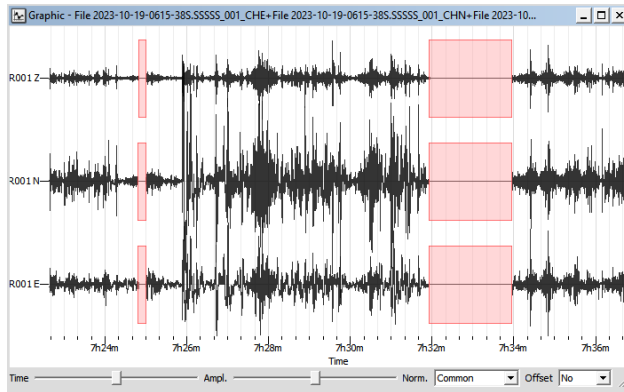
kurva H/V seperti pada Gambar 4.6. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

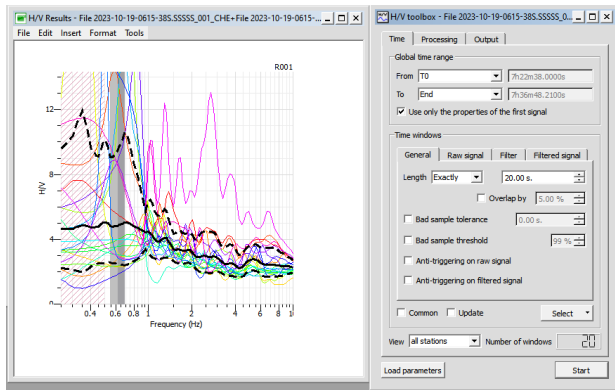
Analisis kurva HVSR pada Gambar 4.6 menunjukkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar 0.618 Hz dan amplifikasi (A_0) sebesar 4.854. Berdasarkan nilai tersebut, estimasi ketebalan lapisan sedimen (h) dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.7). Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai h dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{S30}) dan frekuensi natural (f_0). Mengacu pada data United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di area Titik 2 adalah 506 m/s. Dengan mensubstitusikan nilai f_0 , A_0 , dan (V_{S30}) ke dalam Persamaan (2.7), diperoleh estimasi ketebalan lapisan sedimen sebesar 168,67 meter.

Pengukuran HVSR di titik 2 dilakukan di dataran tinggi berupa perbukitan di sebelah kiri bendungan, dengan ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah. Hasil analisis HVSR menunjukkan bahwa frekuensi

natural (f_0) adalah 0,618 Hz dan amplifikasi A_0 adalah 4,854.

Titik 2 termasuk dalam jenis tanah ke-1, yaitu batuan alluvial dengan ketebalan sedimen yang sangat tebal, terdiri dari lumpur dan topsoil. Berdasarkan klasifikasi amplifikasi Suharna (2009) [Tabel 2.3], nilai A_0 di titik 2 dikategorikan sebagai tingkat kerawanan 4 (sangat tinggi). Namun, hasil analisis kerentanan Daryono (2009) menunjukkan bahwa nilai kerentanan di titik 2 sebesar 1,8, yang tergolong dalam klasifikasi rendah (<10), mengindikasikan tingkat risiko amblesan pada bendungan sangat rendah. Gambaran visualisasi tingkat kerentanan di titik 2 ditampilkan dalam Gambar 4.29 dengan warna biru.





Gambar 4. 6 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

3. Titik 3

Pengambilan data di titik ketiga dilakukan di dataran rendah yang terletak antara perbukitan dan dinding bendungan. Proses pengambilan data berlangsung selama 35 menit, dari pukul 15.08 hingga 15.43 WIB. Selama proses pengambilan data, beberapa gangguan (*noise*) teridentifikasi. Noise pertama terjadi pada pukul 15.15, tujuh menit setelah pengukuran dimulai, berupa suara mesin pompa air yang berlangsung hingga akhir pengukuran serta percakapan orang di sekitar lokasi. Noise kedua terjadi pada pukul 15.20, disebabkan oleh jatuhnya payung akibat angin kencang. Noise ketiga terjadi pada pukul 15.25, disebabkan oleh langkah kaki orang. Noise kelima terjadi pada pukul 15.28, akibat

jatuhnya payung akibat angin kencang. *Noise* ketujuh terjadi pada pukul 15.30, disebabkan oleh langkah kaki orang. *Noise* kedelapan terjadi pada pukul 15.32, bersumber dari jatuhnya payung akibat angin kencang. *Noise* kesembilan terjadi pada pukul 15.34, bersumber dari langkah kaki orang. *Noise* kesepuluh terjadi pada pukul 15.36, disebabkan oleh percakapan orang dan langkah kaki orang. *Noise* kesebelas terjadi pada pukul 15.38, bersumber dari percakapan orang, keduabelas pada pukul 15.43 bersumber dari suara motor. Gangguan-gangguan ini dapat berpotensi memengaruhi kualitas data hasil penelitian.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (North-South), Komponen EW (East-West), dan Komponen UD (Up-Down) yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noise. Variasi warna

pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning, hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.8) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan noise saat perekaman, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 8h6m adalah suara payung jatuh, (2) 8h7m adalah suara orang langkah kaki orang (3) 8h8m adalah suara payung jatuh dan suara orang berlari, (4) 8h10m adalah langkah orang berjalan, (5) 8h15m adalah suara orang berteriak, (6) 8h16m adalah suara payung jatuh dan orang berlari, (7) 8h17m adalah suara suara orang mengobrol dan ranting pohon jatuh, (8) 8h20 adalah suara payung jatuh dan orang lari, (9) 8h21m adalah suara suara langkah kaki, (10) 8h24m adalah suara payung jatuh dan suara orang berlari, (11) 8h25m adalah suara orang ngobrol (12) 8h25m adalah suara orang ngobrol (13) 8h26m adalah suara orang berteriak, (14) 8h28m adalah suara ranting pohon jatuh dan suara motor.

Pada gambar 4.8 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah dapat dilihat pada gambar 4.9.

Pada Gambar 4.9, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada kurva ini, nilai frekuensi natural adalah 0,67985 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 6,2203.

Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi dominan dan faktor penguatan

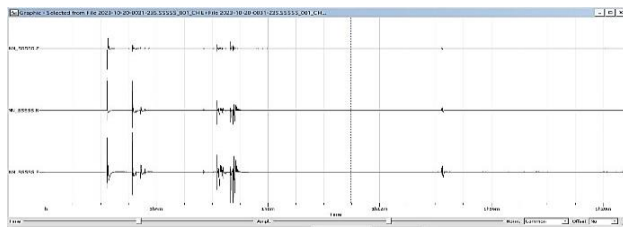
gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.9. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

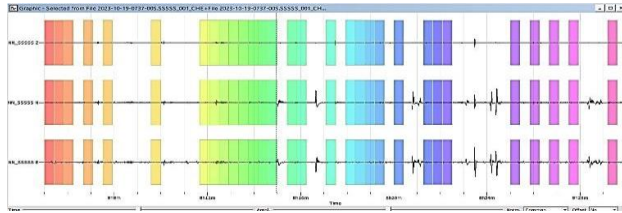
Analisis kurva HVSR pada Gambar 4.9 menunjukkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar 0,67985 Hz dan amplifikasi (A_0) sebesar 6,2203. Berdasarkan nilai tersebut, estimasi ketebalan lapisan sedimen (h) dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.7). Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai h dapat dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{S30}) dan frekuensi natural (f_0). Mengacu pada data United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di area Titik 3 adalah 506 m/s. Dengan mensubstitusikan nilai f_0 , A_0 , dan (V_{S30}) ke dalam Persamaan (2.7), diperoleh estimasi ketebalan lapisan sedimen sebesar 186,44 meter.

Pengambilan data di titik 3 dilakukan di dataran rendah yang terletak antara perbukitan dan dinding

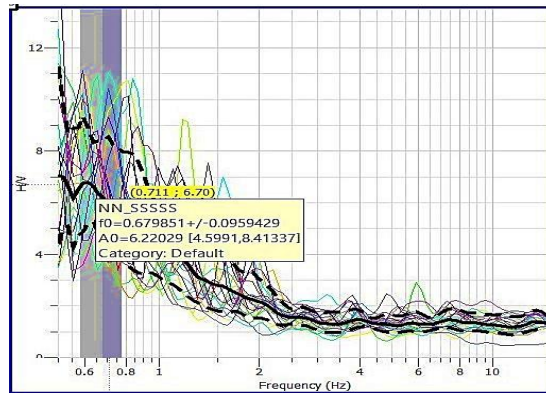
bendungan. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi natural sebesar 0,67985 Hz dan amplifikasi sebesar 6,2203. Titik 3 berada pada jenis tanah ke-1, yang diklasifikasikan sebagai batuan alluvial dengan ketebalan sedimen yang sangat tebal, terdiri dari lumpur dan topsoil. Berdasarkan Tabel 2.3, klasifikasi amplifikasi di titik 3 dengan nilai 6,2203 menurut Suharna (2009) menunjukkan tingkat kerentanan 3, yang berarti tinggi. Namun, pada Gambar 4.27, nilai kerentanan menurut Daryono (2009) adalah 1,8, yang berada dalam klasifikasi rendah (<10), menunjukkan bahwa tingkat risiko amblesan pada bendungan sangat rendah.



Gambar 4. 7 tampilan sinyal pada titik 3



Gambar 4. 8 Proses windowing pada titik 3



Gambar 4. 9 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

4. Titik 4

Pengambilan data di titik keempat dilakukan di dataran rendah yang terletak antara perbukitan dan dinding bendungan. Proses pengambilan data berlangsung selama 38 menit, dari pukul 07.36 hingga 08.04 WIB. Selama proses pengambilan data, beberapa gangguan (*noise*) teridentifikasi. *Noise*

pertama terjadi pada pukul 07.40, disebabkan oleh percakapan orang di sekitar lokasi dan suara orang telfon. *Noise* kedua terjadi pada pukul 07.43, bersumber dari suara jatuhnya payung dan suara orang langkah kaki orang. *Noise* ketiga terjadi pada pukul 07.46, disebabkan oleh suara angin di sekitar lokasi. *Noise* keempat terjadi pada pukul 07.51, bersumber dari suara angin di sekitar lokasi, suara payung jatuh dan suara orang berjalan. Gangguan-gangguan ini berpotensi memengaruhi kualitas data hasil penelitian.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (North-South), Komponen EW (East-West), dan Komponen UD (Up-Down) yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noise. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning,

hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.11) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan noise saat perekaman, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 1h3m adalah suara orang ngobrol dan orang telfon, (2) 1h6m adalah suara jatuhnya payung dan suara orang langkah kaki orang (3) 1h9m adalah suara angin di sekitar lokasi, (4) 1h14m adalah suara angin di sekitar lokasi, suara payung jatuh dan suara orang berjalan.

Pada gambar 4.11 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan

bawah pada gambar 4.12.

Pada Gambar 4.12, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada spektrum HVSR ini, nilai frekuensi natural adalah 11,2884Hz, dan nilai amplifikasi adalah 1,90192.

Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi predominan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.12. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

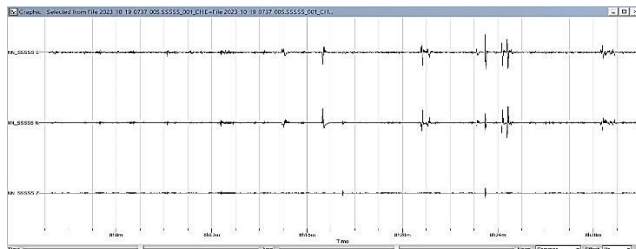
Analisis kurva HVSR pada Gambar 4.12 menunjukkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar

11,2884 Hz dan amplifikasi (A_0) sebesar 1,90192. Berdasarkan nilai tersebut, estimasi ketebalan lapisan sedimen (h) dilakukan menggunakan Persamaan (2.7). Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai h dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{s30}) dan frekuensi natural (f_0). Mengacu pada data United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di area Titik 4 adalah 506 m/s. Substitusi nilai f_0 , A_0 , dan (V_{s30}) ke dalam Persamaan (2.7) menghasilkan estimasi ketebalan lapisan sedimen sebesar 66,512 meter.

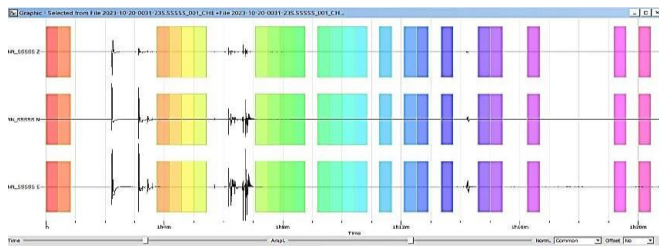
Hasil analisis menunjukkan frekuensi natural sebesar 11,2884 Hz dan amplifikasi sebesar 1,90192, yang tergolong dalam jenis tanah ke-4. Jenis tanah ini diklasifikasikan sebagai batuan tersier dengan ketebalan lapisan sedimen yang sangat tipis, terdiri dari batuan pasir berkerikil keras. Berdasarkan Tabel 2.3, klasifikasi amplifikasi di Titik 4 dengan nilai 1,90192 menunjukkan tingkat kerentanan 1 menurut Suharna (2009), yang berarti rendah. Hal ini diperkuat oleh Gambar 4.27.

di mana Titik 4 ditandai dengan warna oranye, menunjukkan nilai kerentanan 10 menurut Daryono

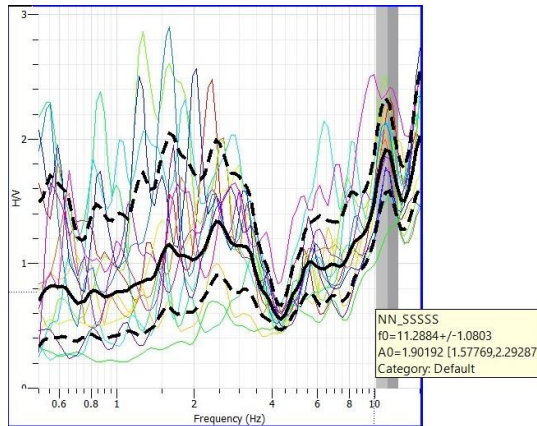
(2009). Berdasarkan klasifikasi kerentanan ini, nilai $10 < K_g < 20$ dikategorikan sebagai "sedang", sehingga tingkat risiko amblesan bendungan di lokasi ini tergolong sedang.



Gambar 4. 10 Tampilan sinyal pada titik 4



Gambar 4. 11 Proses windowing pada titik 4



Gambar 4. 12 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

5. Titik 5

Pengambilan data di titik kelima dilakukan di dataran rendah yang terletak antara perbukitan dan dinding bendungan pada rentang waktu 08.15 hingga 08.50 WIB, berlangsung selama 35 menit. Selama proses pengambilan data, beberapa gangguan (*noise*) teridentifikasi. Noise pertama terjadi pada pukul 08.19, disebabkan oleh percakapan orang di sekitar lokasi. *Noise* kedua terjadi pada pukul 08.21, disebabkan oleh suara payung yang terbuka ditiup

angin. *Noise* ketiga terjadi pada pukul 08.24, disebabkan oleh suara langkah kaki disertai percakapan orang. *Noise* keempat terjadi pada pukul 08.29 disebabkan suara payung jatuh, *Noise* kelima terjadi pada pukul 08.40, disebabkan oleh suara payung jatuh karena angin. *Noise* ketujuh terjadi pada pukul 08.45, disebabkan oleh suara langkah kaki manusia. *Noise* kedelapan terjadi pada pukul 08.50, disebabkan oleh suara payung jatuh karena angin dan telepon. Gangguan-gangguan ini berpotensi memengaruhi kualitas hasil pengambilan data.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (North-South), Komponen EW (East-West), dan Komponen UD (Up-Down) yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noise. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning,

hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.14) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan noise saat perekaman, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 41m adalah suara payung jatuh dan percakapan orang di sekitar lokasi, (2) 43m adalah suara orang jalan dan suara payung yang terbuka ditiup angin (3) 45m adalah suara langkah kaki disertai percakapan orang, (4) 49m adalah langkah suara payung jatuh, (5) 51m adalah suara payung jatuh karena angin, (6) 52m adalah suara langkah kaki manusia,(7) 53m adalah suara suara payung jatuh karena angin dan telepon.

Pada gambar 4.14 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva

spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah pada gambar 4.15.

Pada Gambar 4.15, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada spektrum HVSR ini, nilai frekuensi natural adalah 11,379 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 1,715.

Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi predomnan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.15. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

Gambar 4.15 menunjukkan hasil pengukuran microtremor yang telah diolah menggunakan metode HVSR, menghasilkan kurva H/V seperti yang terlihat pada Gambar 4.18. Kurva ini menggambarkan parameter frekuensi natural (f_0) sebesar 11,379 Hz dan nilai amplifikasi (A_0) sebesar 1,715. Evaluasi lebih lanjut dilakukan untuk menghitung ketebalan lapisan sedimen (h) dengan menggunakan Persamaan (2.7).

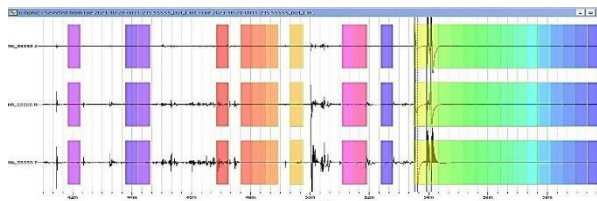
Nilai h dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{s30}) dan frekuensi natural (f_0). Berdasarkan data dari United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di Titik 5 adalah 506 m/s. Dengan menggunakan Persamaan (2.7), diperoleh estimasi ketebalan lapisan sedimen sebesar 11,17 meter.

Titik 5 terletak di dataran rendah antara perbukitan dan dinding bendungan. Frekuensi natural yang diperoleh sebesar 11,379 Hz dan amplifikasi sebesar 1,715, menunjukkan bahwa titik ini berada pada jenis tanah ke-4, yang diklasifikasikan sebagai batuan tersier dengan ketebalan lapisan sedimen yang sangat tipis, terdiri dari batuan pasir berkerikil keras. Berdasarkan Tabel 2.3, klasifikasi

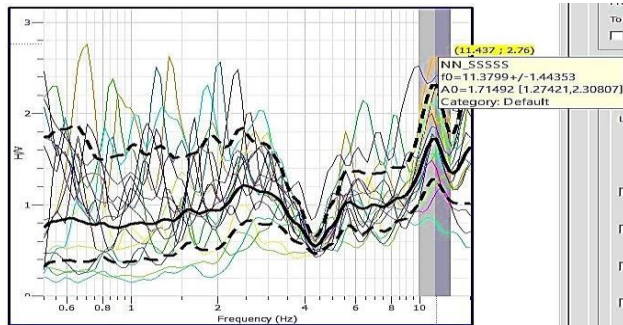
amplifikasi di titik 5 dengan nilai 1,715 menurut Suharna (2009) menunjukkan tingkat kerentanan 1, yang berarti rendah. Hal ini diperkuat oleh Gambar 2.27, di mana titik 5 ditandai dengan warna oranye, menunjukkan nilai kerentanan 10 menurut Daryono (2009). Berdasarkan klasifikasi kerentanan ini, nilai $10 < K_g < 20$ dikategorikan sebagai "sedang", sehingga tingkat risiko amblesan bendungan di lokasi ini tergolong sedang.



Gambar 4. 13 Tampilan Sinyal pada titik 5



Gambar 4. 14 Proses windowing pada titik 5



Gambar 4. 15 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

6. Titik 6

Pengambilan data di titik keenam dilakukan di dataran tinggi yang terletak di sekitar dinding bendungan bagian kanan. Proses pengambilan data dilaksanakan pada rentang waktu 09.10-09.40, dengan durasi total 30 menit. Selama proses pengambilan data, beberapa gangguan (*noise*) teridentifikasi. *Noise* pertama terjadi pada pukul 09.15, disebabkan oleh suara payung yang jatuh akibat angin dan langkah kaki orang yang berjalan. *Noise* kedua terjadi pada pukul 09.20, disebabkan oleh suara payung yang jatuh akibat angin. *Noise* ketiga terjadi pada pukul 09.25, disebabkan oleh percakapan

orang dan suara berjalan. Gangguan-gangguan ini berdampak pada hasil yang diperoleh dari pengambilan data.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (North-South), Komponen EW (East-West), dan Komponen UD (Up-Down) yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noisei. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning, hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.17) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan noise saat perekaman, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 2h9m adalah suara

payung yang jatuh akibat angin dan langkah kaki orang yang berjalan, (2) suara payung yang jatuh akibat angin, (3) 2h13m adalah suara orang percakapan dan suara orang berjalan.

Pada gambar 4.17 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah pada gambar 4.18.

Pada Gambar 4.18, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada spektrum HVSR ini, nilai frekuensi natural adalah 11,464 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 1,488.

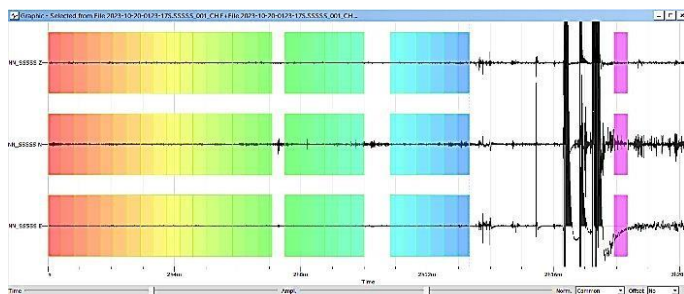
Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi dominan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.18. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

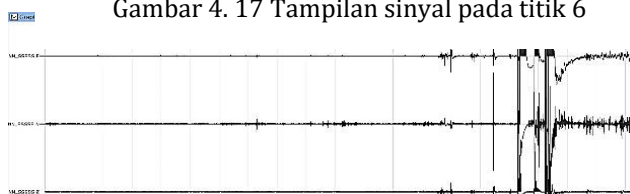
Dalam analisis lebih lanjut, ketebalan lapisan sedimen (h) dihitung menggunakan Persamaan (2.7). Nilai h dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{S30}) dan frekuensi natural (f_0). Berdasarkan data dari United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di Titik 6 adalah 506 m/s. Dengan menggunakan Persamaan (2.7), diperoleh estimasi ketebalan lapisan sedimen sebesar 10,904 meter.

Pengukuran di Titik 6 dilakukan di dataran tinggi yang terletak di sekitar dinding bendungan bagian kanan. Frekuensi natural mencapai 11,464 Hz dengan

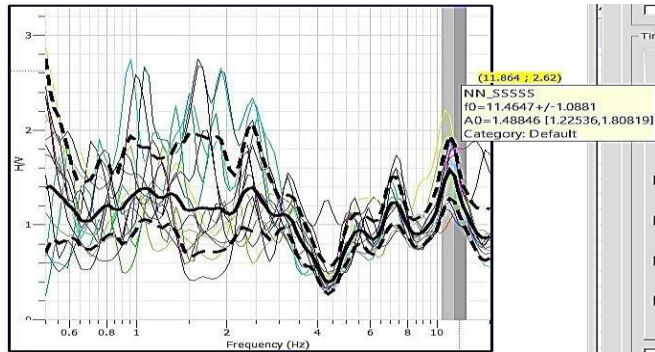
amplifikasi 1,488, menunjukkan bahwa tanah di lokasi ini tergolong jenis tanah keempat, yang diklasifikasikan sebagai batuan tersier dengan lapisan sedimen sangat tipis, terdiri dari batuan pasir berkerikil keras. Berdasarkan Tabel 2.3, klasifikasi amplifikasi di Titik 6 dengan nilai 1,488 menurut Suharna (2009) menunjukkan tingkat kerentanan 1, yang mengindikasikan kerentanan rendah. Pada Gambar 4.27, ditunjukkan warna oranye dengan nilai 10 menurut Daryono (2009), yang mengindikasikan klasifikasi sedang dengan rentang nilai kerentanan 10 hingga 20, menunjukkan tingkat amblesan sedang pada bendungan tersebut.



Gambar 4. 17 Tampilan sinyal pada titik 6



Gambar 4. 16 Proses windowing pada titik 6



Gambar 4. 18 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

7. Titik 7

Pengambilan data di titik ketujuh dilakukan di dekat anak tangga saluran air pada bendungan, pada rentang waktu 10.00 hingga 10.35, dengan durasi pengambilan data selama 35 menit. Selama proses pengambilan data, terdapat gangguan noise. Noise pertama terjadi pada pukul 10.05 disebabkan oleh jatuhnya payung akibat angin dan langkah orang berjalan, noise kedua terjadi pada pukul 10.15, disebabkan oleh percakapan orang dan suara telepon noise yang keempat terjadi pada pukul 10.23 suara orang percakapan dan suara orang berjalan, noise yang kelima pada pukul 10.35 disebabkan oleh suara mesin mobil. Gangguan ini berdampak pada hasil data

yang diperoleh.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (North-South), Komponen EW (East-West), dan Komponen UD (Up-Down) yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noisei. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning, hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.20) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan *noise* saat perekaman, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 4h1m adalah suara jatuhnya payung akibat angin dan langkah oran berjalan, (2)4h5m adalah suara orang bertelefon, (3)

4h8m adalah suara orang percakapan dan suara orang berjalan, (4) 4h11m adalah,(5) 4h15m adalah suara mesin mobil.

Pada gambar 4.20 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah pada gambar 4.21.

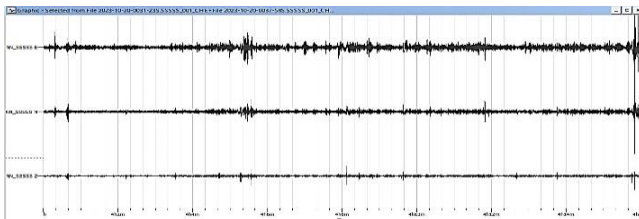
Pada Gambar 4.21, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak) dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada spektrum HVSR ini, nilai frekuensi natural adalah 12,661 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 2,075.

Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi dominan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

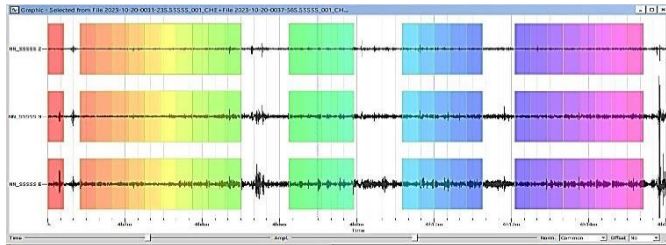
Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.21. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

Kurva HVSR pada Gambar 4.21 menunjukkan frekuensi natural (f_0) sebesar 12,661 Hz dan amplifikasi (A_0) sebesar 2,075. Dalam analisis lebih lanjut, nilai ketebalan lapisan sedimen (h) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.7), yang dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{s30}) dan frekuensi dominan (f_0). Berdasarkan data dari United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di Titik 7 adalah 506 m/s. Dengan menggunakan Persamaan (2.7), diperoleh estimasi nilai ketebalan lapisan sedimen sebesar 9,991 meter.

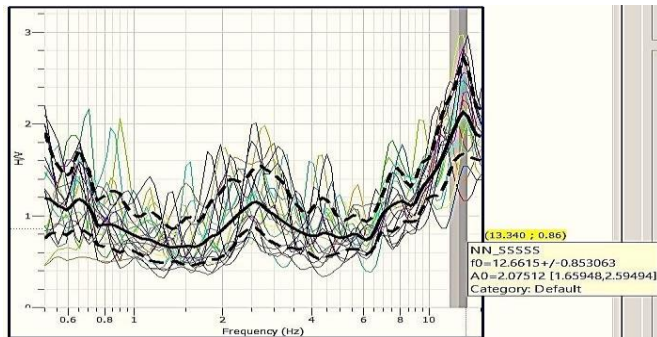
Pengukuran di Titik 7 dilakukan dekat anak tangga saluran air pada bendungan, dengan frekuensi natural sebesar 12,661 Hz dan amplifikasi 2,075. Titik ini tergolong dalam jenis tanah keempat, yang diklasifikasikan sebagai batuan tersier dengan lapisan sedimen sangat tipis terdiri dari batuan pasir berkerikil. Berdasarkan Tabel 2.3, amplifikasi pada Titik 7 sebesar 2,075 menurut Suharna (2009) menunjukkan tingkat kerentanan 1, yang mengindikasikan kerentanan rendah. Gambar 4.27 menunjukkan warna merah dengan nilai 12,1 menurut Daryono (2009), yang menggambarkan tingkat kerentanan sedang dengan rentang nilai antara 10 hingga 20, menunjukkan tingkat risiko amblesan sedang pada bendungan tersebut.



Gambar 4. 19 Tampilan sinyal pada titik 7



Gambar 4. 20 Proses windowing pada titik 7



Gambar 4. 21 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

8. Titik 8

Pengambilan data di titik kedelapan dilakukan di bagian depan dekat jalan raya sebelah tebing pada rentang waktu 11.00 hingga 11.35, dengan durasi pengambilan data selama 35 menit. Selama proses pengambilan data, terjadi gangguan; noise pertama terjadi pada pukul 11.05 akibat jatuhnya payung karena angin, diikuti oleh noise kedua pada pukul

11.10 yang disebabkan oleh suara percakapan orang, noise yang ketiga 11.14 suara payung jatuh akibat tertiu angin, noise yang keempat 11.17 suara orang berjalan, noise yang kelima 11.20 suara mesin mobil. Gangguan ini berdampak pada hasil data yang diperoleh.

Gangguan ini mempengaruhi hasil yang diperoleh dari data penelitian. Hasil pengukuran berupa sinyal (gelombang) dalam domain waktu. Sinyal tersebut terdiri dari tiga komponen data, yaitu Komponen NS (North-South), Komponen EW (East-West), dan Komponen UD (Up-Down) yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.

Hasil pengolahan berupa spektrum yang kemudian dilakukan windowing dimana menunjukkan variasi warna. Windowing merupakan proses pemilihan data stasioner dengan memfilter data rekaman agar terpisah dari noisei. Variasi warna pada pengolahan ini berupa warna merah, kuning, hijau, biru, dan ungu. warna-warna tersebut menunjukkan masing-masing sinyal dalam domain waktu (gambar 4.20) yang dipilih proses windowing yang diubah menjadi domain frekuensi, dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Berdasarkan gambar tersebut dan hasil catatan noise saat perekaman, terdapat beberapa noise diantaranya Pada pukul: (1) 2h49m adalah suara jatuhnya payung akibat ,(2) 2h10m adalah suara orang ngobrol, (3) 2h13m adalah suara payung jatuh dan orang berlari, (4) 2h15m adalah orang bertelepon,(5) 2h17m adalah suara mesin mobil, (6) 2h20m adalah suara payung jatuh.

Pada gambar 4.23 terdapat tiga komponen sinyal rekaman yang terdiri dari tiga komponen sinyal rekam yaitu dari Start-E komponen Barat-Timur, Start-N komponen horizontal Utara-Selatan, dan Start-Z komponen vertikal. Sumbu vertikal menunjukkan besaran amplifikasi, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besaran waktu. Kemudian setelah proses windowing akan muncul kurva spektrum, dimana tampilannya terdapat garis hitam yang menunjukkan rata-rata nilai, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan deviasi atas dan bawah pada gambar 4.24.

Pada Gambar 4.24, terdapat kurva HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) yang menunjukkan puncak gelombang frekuensi. Nilai (f_0) (frekuensi dominan) dan (A_0) (amplitudo puncak)

dapat diperoleh dengan mengidentifikasi titik tertinggi pada kurva tersebut. Pada spektrum HVSR ini, nilai frekuensi dominan adalah 12,299 Hz, dan nilai amplifikasi adalah 1,685.

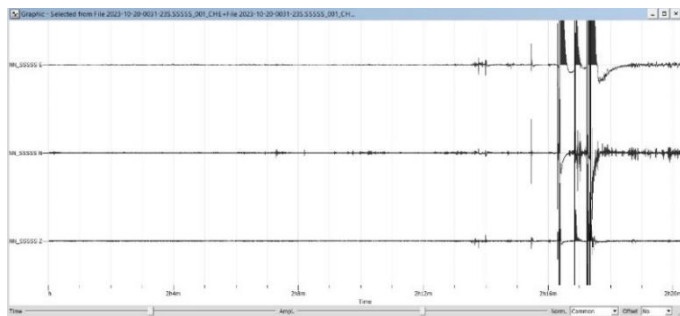
Spektrum H/V yang dihasilkan HVSR dapat digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dan batuan bawah permukaan sebagai fungsi nilai frekuensi predomnan dan faktor penguatan gelombang (amplifikasi).

Hasil dari pengukuran microtremor diolah menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V seperti pada Gambar 4.24. Kurva tersebut terdiri dari dua parameter, yaitu frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Hasil yang baik memiliki nilai *error* yang rendah, yang menunjukkan bahwa tingkat gangguan juga semakin rendah.

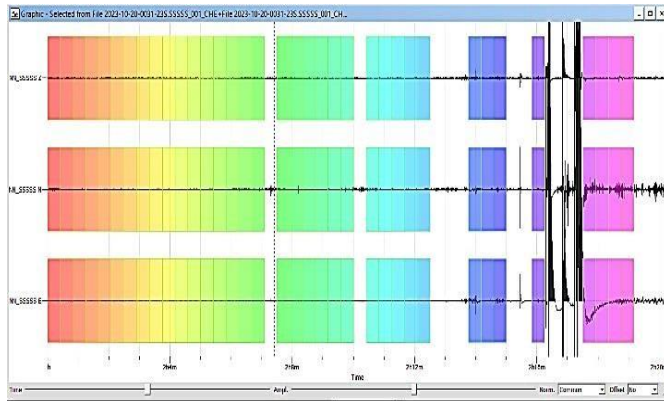
Dalam analisis lebih lanjut, nilai ketebalan lapisan sedimen (h) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.7), yang dipengaruhi oleh kecepatan gelombang S pada permukaan (V_{S30}) dan frekuensi dominan (f_0). Berdasarkan data dari United States Geological Survey (USGS), kecepatan gelombang S pada permukaan di Titik 8 adalah 506 m/s. Dengan menggunakan Persamaan (2.7), diperoleh estimasi

nilai ketebalan lapisan sedimen sebesar 10,163 meter.

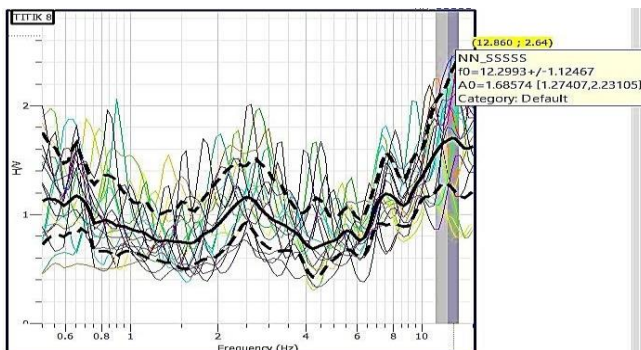
Titik 8 dilokasikan di bagian depan dekat jalan raya sebelah tebing, dengan frekuensi natural 12,299 Hz dan amplifikasi 1,685. Titik ini termasuk dalam jenis tanah keempat yang diklasifikasikan dari batuan tersier, dengan lapisan sedimen yang sangat tipis terdiri dari batuan pasir berkerikil. Berdasarkan Tabel 2.3, amplifikasi pada Titik 8 sebesar 1,685, menurut Suhana (2009), menunjukkan tingkat kerentanan satu yang dapat mengindikasikan kerentanan rendah. Gambar 4.29 menunjukkan warna merah dengan nilai 12,1, menurut Daryono (2009), dapat menggambarkan tingkat kerentanan sedang dengan rentang nilai antara 10 hingga 20, menunjukkan tingkat amblesan sedang pada bendungan tersebut.



Gambar 4. 22 Tampilan sinyal pada titik 8



Gambar 4. 23 Proses windowing pada titik 8



Gambar 4. 24 Grafik Frekuensi Natural (f_0) dan nilai Amplifikasi (A_0)

Pada Proses selanjutnya, akan dilakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak software surfer dengan tujuan untuk menentukan kerentanan tanah dan identifikasi potensi piping pada daerah Timur dan Barat Bendungan Logung

tersebut. Hasil dapat diperoleh sebagai berikut ini: Untuk yang pertama yaitu dengan mengubah koordinat longitude dan latitude ke dalam sumbu X dan Y pada software surfer. Bisa di tunjukkan pada Tabel 4.1.

Dalam mendapatkan nilai sumbu X dan Y dapat dilakukan dengan cara mengubah nilai koordinat longitude dan latitude ke dalam ACS kemudian pilih WGS 84 setelah itu masukan ke dalam projected koordinat lalu klik bagian Target koordinat kemudian pilih ke dalam bentuk UTM zona 49S setelah itu akan muncul nilai sumbu X dan Y.

Tabel 4. 1 Koordinat dan sumbu X dan Y

Longitude	Latitude	X	Y
110.921783	6.759485	91356.50	9252838.4
110.921772	6.759789	91355.29	9252804.8
110.920624	6.759614	91228.43	9252824.1
110.920632	6.759378	91229.31	9252850.2
110.920344	6.759407	91197.48	9252847.0
110.920025	6.759701	91162.23	9252814.5
110.923283	6.758892	91522.25	9252904.0
110.920632	6.758908	91530.76	9252902.2

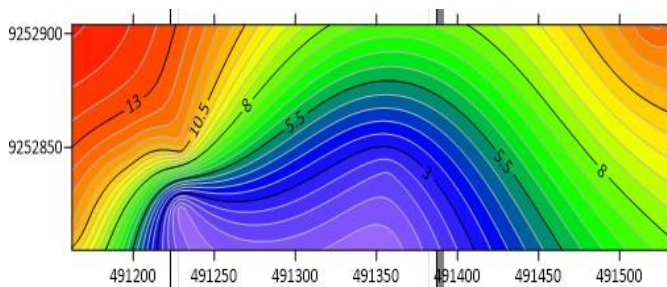
Selanjutnya untuk mencari kontur tanah pada surfer dengan cara memasukkan nilai sumbu x dan y terdapat pada Tabel 4.1 dengan cara kita masukkan nilai sumbu x dan y itu ke dalam new peta contour kemudian dapat menghasilkan peta kontur tanah itu dapat terlihat gambar 4.25.

Berikutnya, dari hasil Surfer, peta kontur tanah diperoleh. Peta ini kemudian dimasukkan ke dalam Google Earth untuk meng-overlay titik penelitian pada peta tersebut, sejalan dengan kondisi geologi bendungan Logung yang tergambar pada Gambar 2.1.

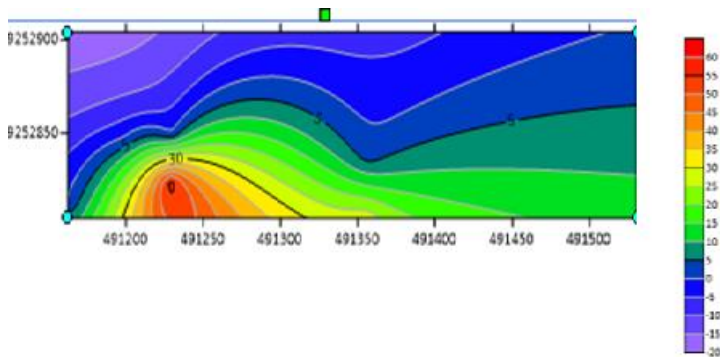
Tujuannya adalah untuk mengevaluasi struktur permukaan tanah di sekitar bendungan tersebut dan mengidentifikasi potensi terjadinya piping, sebagaimana dapat ditunjukkan pada Gambar 4.27.

Nilai K_g dapat dihitung berdasarkan metode analisis tertentu yang mempertimbangkan berbagai faktor relevan. Semakin tinggi nilai K_g , semakin tinggi pula kerentanan suatu wilayah terhadap gempa bumi.

Berdasarkan hasil Analisa dengan Metode Mikroseismik, maka dapat dibuat peta penentuan lokasi yang terjadi piping pada bendungan logung Kabupaten Kudus seperti pada gambar 4.30. Berdasarkan peta yang dibuat untuk menunjukan 2 titik yang memungkinkan terjadi piping yaitu titik 2 dan titik 3. Peta Kontur kerentanan tanah (K_g) ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4. 25 Peta kontur tanah (f_0)



Gambar 4. 26 Peta kontur kerentanan tanah (kg)

B. Pembahasan

Peta geologi regional daerah penelitian termasuk formasi kujung. Formasi kujung terdiri dari empat batuan, endapan pasir, batu pasir, lempung, dan batu gamping (Setyawati dkk, 2016). Kerentanan seismik (K_g) di lokasi penelitian dapat divisualisasikan melalui peta kontur dengan garis-garis berwarna yang menunjukkan nilai K_g yang berbeda. Warna biru menunjukkan nilai K_g yang rendah, sedangkan warna merah menunjukkan nilai K_g yang tinggi. Variasi nilai K_g ini dapat mempengaruhi potensi terjadinya piping pada bendungan.

Berdasarkan hasil Analisa dan interpretasi Kondisi

kerentanan tanah di sekitar bendungan logung termasuk kedalam kategori bahaya dan rendah. Untuk kategori bahaya di tunjukkan pada titik 2 dengan nilai kerentanan tanah 38,95 yang dimana terdapat batuan yang berupa batuan alluvial dan titik 3 memiliki nilai kerentanan tanah 56,91 dengan memiliki batuan yang berupa batuan aluvial. Sedangkan untuk kategori rendah dapat ditunjukkan pada titik 1 dengan nilai kerentanan tanah 2,32 yang memiliki jenis batua aluvial, titik 4 yang memiliki nilai kerentanan tanah 0.3204 serta memiliki jenis batuan yang berupa batuan tersier, titik 5 dengan nilai kerentanan tanah 0.25 yang dimana memiliki jenis batuan yang berupa tersier, titik 6 memiliki nilai yang berupa 0.193 serta jenis batuan tersier, titik 7 memiliki nilai yang berupa 0.34 serta jenis batuan tersier, dan titik 8 memiliki nilai yang berupa 0.231 serta jenis batuan tersier. Bendungan loagung teridentifikasi berpotensi terjadi piping pada titik 2 dan titik 3.

.

BAB V KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan inteprestasi data mikroseismik dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi kerentanan tanah di sekitar bendungan Logung termasuk kedalam kategori bahaya dan Rendah. untuk kategori bahaya di tunjukkan pada titik 2 dengan nilai kerentanan tanah 38,95 yang dimana terdapat batuan yang berupa batuan alluvial dan Titik 3 memiliki nilai kerentanan tanah 56,91 dengan memiliki batuan yang berupa batuan aluvial. Sedangkan untuk kategori rendah dapat ditunjukkan pada titik 1 dengan nilai kerentanan tanah 2,32 yang memiliki jenis batua aluvial, titik 4 yang memiliki nilai kerentanan tanah 0.3204 serta memiliki jenis batuan yang berupa batuan tersier, titik 5 dengan nilai kerentanan tanah 0.25 yang dimana memiliki jenis batuan yang berupa tersier, titik 6 memiliki nilai yang berupa 0.193 serta jenis batuan tersier, titik 7 memiliki nilai yang berupa 0.34 serta jenis batuan tersier, dan titik 8 memiliki nilai yang berupa 0.231 serta jenis batuan tersier.
2. Bendungan logung teridentifikasi berpotensi terjadi

piping pada titik 2 dan titik 3.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu diberikan perhatian khusus terhadap bendungan ini, karena terdapat lima titik yang terdeteksi mengalami piping akibat lapisan sedimen yang tipis dan jenis batuan pasir berkerikil keras.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah jumlah titik pengukuran agar diperoleh data yang lebih komprehensif

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Sofatis Saada. 2019. 'Analisis Nilai Peak Ground Acceleration Dan Intensitas Gempa Menggunakan Metode HVSr Di UIN Walisongo Semarang'. UIN Walisongo Semarang.
- Arifin, Satria Subkhi, Bagus Sapto Mulyatno, Marjiyono, and Roby Setianegara. 2014. 'Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor Dan Analisis Periode Fundamental Daerah Liwa Dan Sekitarnya'. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* 2(1): 30–40.
- Azdan, M. Donny, and Candra R. Samekto. 2008. 'Kritisnya Kondisi Bendungan Di Indonesia'. *Fakultas Teknik* 2(1): 12.
- Das, B. M. 1995. 'Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik'. *Penerbit Erlangga*: 1–300.
- Fauzi, D. A., S. Marsudi, and E. N. Cahya. 2023. 'Analisa Rembesan Terhadap Terjadinya Piping Pada Bendungan Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat'. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* 3(2): 151–64.
- Harsoyo, Budi. 2018. 'Analisis Faktor Penyebab Jebolnya Tanggul Situ Gintung'. *Jurnal Air Indonesia* 6(1).
- Hidayat, Rizki, Tri Kusmita, and Universitas KM Jambi Jl Raya

- Jambi -Muara Bulian. 2020. 'Studi Kerentanan Tanah Di Wilayah Telanaipura Dan Kotabaru Kota Jambi Terhadap Gelombang Seismik'. *Jurnal Riset Fisika Indonesia* 1(1): 1-6. <http://journal.ubb.ac.id/index.php/jrfi/index/2036>.
- Massironi, Matteo et al. 2013. 'Geological Structures of the Vajont Landslide'. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment* 2013(TOPIC 6): 573-82.
- Mudamakin, Philips Bramantia, Ariska Rudiyanto, Supriyanto Rohadi, and Rizki Amalia. 2015. 'Studi Awal Respon Dinamis Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Bendungan Karangates Malang'. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF 2015)* 4: 1-6. <http://snf-unj.ac.id/kumpulan-prosiding/snf2015/>.
- Mutanga, Onesimo, and Lalit Kumar. 2019. 'Google Earth Engine Applications'. *Remote Sensing* 11(5): 11-14.
- Nakamura, Y. 2000. 'Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's'. *Spectrum*: 2656.
- Nurrahmi, Rustan Efendi, and Sandra. 2015. 'Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) Di Kelurahan Talise'. *Gravitasi* 14(1): 7-12.
- Pancawati, Koen Dian., Supriyadi., and Khumaedi. 2016. 'Identifikasi Kerentanan Dinding Bendungan Dengan

- Menggunakan Metode Mikroseismik (Studi Kasus Bendungan Jatibarang, Semarang)'. *Unnes Physics Journal* 2(5): 21–26.
- Putra, Rio Aditomo Mahardika. 2022. 'Analisis Rembesan Terhadap Bahaya Piping Pada Bendungan Way Sekampung'. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* 20(4): 439.
- Rogers, J David, and David J McMahon. 1993. 'Reassessment of the St Francis Dam Failure'. *Journal - American Water Works Association* 20(3): 343–48.
- Satria, Arie, Ichy Lucya Resta, and Nasri MZ. 2020. 'Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen Dan Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi Bagian Timur'. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)* 6(1): 18–30.
- Setyawati, Heni, Najib Najib, and Ahmad Syauqi Hidayatillah. 2016. 'Analisis Rembesan Pada Perencanaan Pembangunan Bendungan Logung'. *Jurnal Geosains dan Teknologi* 1(3): 99–106.
<https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jgt/article/view/3171>.
- Sunardi, Bambang, Januar Arifin, and Pupung Susilanto. 2012. 'Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal'. : 131–37.
- Susilo, A., and S. H Wiyono. 2012. 'Frequency Analysis and Seismic Vulnerability Index by Using Nakamura

Methods at a New Artery Way in Porong, Sidoarjo, Indonesia.' *International Journal of Applied Physics and Mathematics*: 227–30.

Wahyudin, W., S. Sulistiawaty, and N Ihsan. 2019. 'Analisis Kerentanan Bendungan Ponre Ponre Kabupaten Bone Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode HVSR'. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika* 2(1): 90–96.

LAMPIRAN

1. Pengecekan alat mikroseismik dan aki mobil sebelum melakukan penelitian pada tanggal 19 oktober 2023 di bendungan logung kabupaten kudus



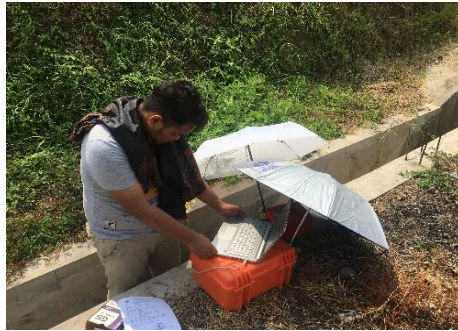
2. pada tanggal 20 oktober-21 oktober 2023 sebelum melakukan penelitian dengan koordinasi dulu dengan pihak bendungan dan menentukan lokasi potensi terjadinya piping di dampingin oleh petugas bendungan. Setelah melakukan diatas sudah di tentukan daerah yang diambil data ada 8 titik selanjutnya dilakukan pengambilan data yang di dampingi oleh pihak bendungan logung tersebut



3. proses pengambilan data dari titik 1- titik 8 dan terbagi menjadi 2 sesi yaitu di hari jum'at dan di hari sabtu. Untuk hari jum'at mulai

siang hari penelitiannya dari jam 13.42 -15.43
dan untuk hari sabtunya di mulai pagi hari
pada pukul 07.36-11.35.

- a. Penelitian pada hari Jum'at dari jam
13.42-15.43





- b. Pada hari sabtu pengukuran di mulai
pagi hari pada pukul 07.36-11.35





Hasil Turnitin

skripsi fiks jati.pdf

ORIGINALITY REPORT

23%	23%	6%	9%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	eprints.walisongo.ac.id Internet Source	4%
2	lib.unnes.ac.id Internet Source	3%
3	iptek.its.ac.id Internet Source	2%
4	eprints.uny.ac.id Internet Source	2%
5	ejournal2.undip.ac.id Internet Source	2%
6	docplayer.info Internet Source	1%
7	123dok.com Internet Source	1%
8	repository.ub.ac.id Internet Source	1%
9	www.scilit.net Internet Source	1%
10	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	1%

11	repository.its.ac.id Internet Source	<1%
----	---	-----

12	edoc.pub Internet Source	<1 %
13	Submitted to itera Student Paper	<1 %
14	jtresda.ub.ac.id Internet Source	<1 %
15	Submitted to Syiah Kuala University Student Paper	<1 %
16	digilib.uin-suka.ac.id Internet Source	<1 %
17	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	<1 %
18	jurnal.untad.ac.id Internet Source	<1 %
19	media.neliti.com Internet Source	<1 %
20	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
21	Submitted to UIN Raden Intan Lampung Student Paper	<1 %
22	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
23	risalahmuslim.id Internet Source	<1 %
24	wartakota.tribunnews.com Internet Source	<1 %
25	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
26	adoc.pub Internet Source	<1 %
27	core.ac.uk Internet Source	<1 %
28	repository.president.ac.id Internet Source	<1 %

29	Adib Maulana, Rini Kusumawardani. "Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor", <i>Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil</i> , 2020 Publication	<1 %
30	Submitted to LL DIKTI IX Turnitin Consortium Part IV Student Paper	<1 %
31	La Hamimu Hamimu, Agnes Maindan, Abdul Manan. "Determinatioan Of Sediment Thickness By Using Microtremor Data In Kadia Sub-District, Kendari City", <i>Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia</i> , 2023 Publication	<1 %
32	journal.trunojoyo.ac.id Internet Source	<1 %
33	repository.ubb.ac.id Internet Source	<1 %
34	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
35	repository.usu.ac.id Internet Source	<1 %
36	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
37	www.researchgate.net Internet Source	<1 %

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. IDENTITAS DIRI

Nama : Duakh Dhamarjati
Tempat, Tanggal Lahir : Demak, 8 Mei 2001
Alamat Rumah : Ngelowetan Indah Rt 01 Rw 06.
Kecamatan Mijen , Kabupaten
Demak
HP : 085723737269
E-mail : dhamarjatiduakh@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

Pendidikan Formal:

1. SD NEGERI NGELOWETAN (2007-2013)
2. SMP NEGERI 4 DEMAK (2013-2016)
3. SMA NEGERI 1 MIJEN DEMAK (2016-2019)
4. UIN WALISONGO SEMARANG (2019-2024)