

TUGAS AKHIR

IDENTIFIKASI KELAYAKAN JEMBATAN SRANDAKAN II KABUPATEN KULON PROGO DENGAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSR) BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR

IDENTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF THE SRANDAKAN II BRIDGE, KULON PROGO DISTRICT USING THE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) METHOD BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENT

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Ian Kurniawan
20511016**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2025

TUGAS AKHIR

IDENTIFIKASI KELAYAKAN JEMBATAN SRANDAKAN II KABUPATEN KULON PROGO DENGAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr)* BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR

IDENTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF THE SRANDAKAN II BRIDGE, KULON PROGO DISTRICT USING THE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr) METHOD BASED ON MIKROTREMOR MEASUREMENT

Disusun oleh :

Ian Kurniawan
20511016

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana

Teknik Sipil

Diuji pada Tanggal 11/12/2025

Oleh Dewan Penguji

Penguji 1

23.12.25

Penguji 2

24/12

Pembimbing

19/12 2025


Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.

NIP : 185111304


Astriana Hardawati S. T., M.Eng

NIP : 165111301


Malik Mushthofa, S. T., M.Eng.

NIP : 185111302

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

30/12 2025




Iry Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph. D. (Eng)., IPM.

NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan tegas menyatakan bahwa laporan penelitian Tugas Akhir ini, yang disusun sebagai persyaratan kelulusan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil karya pribadi saya. Selain itu, segala bagian tertentu yang dikutip dalam penyusunan laporan penelitian Tugas Akhir ini telah dicantumkan dengan jelas beserta sumbernya, sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan yang berlaku. Apabila di kemudian hari terdapat indikasi plagiarisme dalam laporan Tugas Akhir ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 09 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,



Tan Kurniawan

20511016

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalaamiin, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dengan judul **“Identifikasi Kelayakan Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) berdasarkan Pengukuran Mikrotremor”**. Penelitian Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S.T) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa islam dari zaman kegelapan hingga zaman keterangan. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat berbagai tantangan yang harus dihadapi. Meskipun demikian, berkat bantuan, masukan, dan saran dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikan penelitian ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kontribusi yang diberikan kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph. D. (Eng)., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. Selaku dosen Pembimbing yang telah banyak memberi arahan, bimbingan serta motivasi kepada penulis,
3. Seluruh keluarga besar saya, yang sudah memberikan banyak dukungan serta doa,
4. Mas adi, Irham dan Rabza selaku partner dalam pengambilan data lapangan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
5. Teman – teman seperjuangan kuliah, yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Semua pihak yang telah memberikan bantuan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Penulis juga berharap, Penelitian Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi wawasan tambahan bagi pihak lain yang membutuhkan.

Yogyakarta, 19 Desember 2025

Penulis,



Ian Kurniawan

20511016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
ABSTRAK	x
Abstract	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor.	6
2.1.2 Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor	8

2.1.3	Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor dengan Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSR)	9
2.1.4	Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> dan Pergerakan Partikel	15
2.1.5	Studi Eksperimen Perilaku Dinamik Jembatan <i>Prestressed Concrete – I Girder</i> dengan menggunakan akselerometer	20
2.2	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan	23
BAB III LANDASAN TEORI		28
3.1	Jembatan	28
3.1.1	Mutu Material Jembatan	28
3.1.2	Bagian Struktur konstruksi jembatan.	29
3.1.3	Pembebanan Struktur Jembatan.	29
3.1.4	Kelayakan Struktur dan metode pemeriksaan jembatan	35
3.2	Mikrotremor	36
3.3	Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>	37
3.4	Frekuensi Natural dan Periode Getar Alami Struktur Jembatan	38
3.5	Frekuensi Teoritis	39
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		41
4.1	Lokasi Penelitian	41
4.2	Peralatan	42
4.3	Teknik Pengumpulan Data	43
4.4	Pengolahan data	46
4.4.1	Pengolahan data mikrotremor	47
4.4.2	Perhitungan Frekuensi Natural (f_0).	47

4.4.3 Perhitungan Frekuensi Teoritis.	49
4.4.4 Nilai Kerusakan Struktural Relatif.	51
4.5 Diagram Alur Penelitian.	51
BAB V PEMBAHASAN	53
5.1 Analisis Gelombang Horizontal to Vertical Spectral Ratio	53
5.1.1 Pengambilan Data	53
5.1.2 Analisis Data	54
5.1.3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan	57
5.2 Analisis Frekuensi Teoritis Jembatan	58
5.2.1 Analisis Pembebanan	58
5.2.2 Permodelan Struktur Jembatan.	68
5.2.3 Hasil Analisis Software SAP2000	76
5.3 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan	76
5.4 Analisis Kelayakan Jembatan	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	85
6.1 Kesimpulan	85
6.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Frekuensi Alami Jembatan Batanghari II	13
Tabel 2. 2 Tabel Kerusakan Relatif	14
Tabel 2. 3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan	15
Tabel 2. 4 Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi	17
Tabel 2. 5 Kondisi Jembatan Kuranji berdasarkan nilai frekuensi ilmiah	18
Tabel 2. 6 Hasil Pengukuran Frekuensi Alami Jembatan 3 Arah.	21
Tabel 2. 7 Perbandingan Hasil penelitian terdahulu dengan Peneletian yang Dilakukan	24
Tabel 3. 1 Kuat tekan minimum beton berdasarkan tahun pembangunannya	28
Tabel 3. 2 Kuat Tarik baja prategang	28
Tabel 3. 3 Kuat tarik baja tulangan berdasarkan tahun pembangunan	28
Tabel 3. 4 Berat isi untuk Beban Mati	30
Tabel 3. 5 Faktor beban untuk berat sendiri	31
Tabel 3. 6 Faktor beban untuk beban mati tambahan	31
Tabel 3. 7 Faktor beban untuk beban lajur "D"	32
Tabel 3. 8 Faktor beban untuk beban "T"	33
Tabel 3. 9 Kombinasi Beban dan Faktor Beban	35
Tabel 3. 10 Kriteria Penilaian kondisi Bangunan Atas Jembatan	36
Tabel 5. 1 Nilai Frekuensi Natural Jembatan Srandakan II	57
Tabel 5. 2 Format File Data	77
Tabel 5. 3 Perhitungan Nilai Kerusakan Relatif	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva HVSR ketika kereta tidak melintas	7
Gambar 2. 2 Kurva HVSR Ketika dilewati KA Agro Anggrek	7
Gambar 2. 3 Frekuensi Natural Tanah (f_0t) berdasarkan pengolahan data HVSR	9
Gambar 2. 4 Data Frekuensi Alami titik 1. (a) Arah barat, (b) Arah timur	10
Gambar 2. 5 Data frekuensi alami titik 2. (a) arah barat, (b) arah timur	10
Gambar 2. 6 Data frekuensi alami titik 3. (a) arah barat, (b) arah timur	11
Gambar 2. 7 Data frekuensi alami titik 4. (a) arah barat, (b) arah timur	11
Gambar 2. 8 Data frekuensi alami titik 5. (a) arah barat, (b) arah timur	12
Gambar 2. 9 Data frekuensi alami titik 6. (a) arah barat, (b) arah timur	12
Gambar 2. 10 Peta sebaran nilai frekuensi natural diatas jembatan	16
Gambar 2. 11 Peta sebaran nilai frekuensi natural dibawah jembatan	17
Gambar 2. 12 Peta sebaran arah pergerakan partikel diatas jembatan	19
Gambar 2. 13 Peta sebaran arah pergerakan partikel dibawah jembatan	19
Gambar 2. 14 Frekuensi Alami Jembatan pada Pengujian 1 terhadap sumbu Z	21
Gambar 2. 15 Frekuensi Dominan f_d sebesar 14,7 Hz pada pengujian 1	22
Gambar 2. 16 Lendutan yang terjadi pada pengujian beban lalu lintas normal	22
Gambar 2. 17 Lendutan struktur jembatan pada pengujian dengan beban truk 28 ton	23
Gambar 3. 1 Beban lajur "D"	33
Gambar 3. 2 Pembebanan Truk "T" (500 Kn)	34
Gambar 3. 3 Hasil mikrotremor di lapangan. (a) Data Lapangan, (b) Hasil picking Lapangan.	37
Gambar 3. 4 Tampilan Grafik H/V	38
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Jembatan Srandakan II	41
Gambar 4. 2 Jembatan Srandakan II	42
Gambar 4. 3 Gambar 3D Tampak depan Jembatan Srandakan	42
Gambar 4. 4 Gambar 3D Tampak Atas Jembatan Srandakan II	42
Gambar 4. 5 Gambar 3D Tampak Memanjang Jembatan Srandakan II	42

Gambar 4. 6 Titik Pengambilan Data Mikrotremor Jembatan Srandakan II	45
Gambar 4. 7 Profil Jembatan Srandakan II	46
Gambar 4. 8 Sinyal Getaran Mikrotremor 3 Komponen	47
Gambar 4. 9 Contoh windowing sinyal mikrotremor	48
Gambar 4. 10 Kurva H/V	49
Gambar 4. 11 Diagram Alur Penelitian	52
Gambar 5. 1 Persiapan Alat Mikrotremor	53
Gambar 5. 2 Titik Pengambilan Data	54
Gambar 5. 3 Grafik Pengolahan Data Mikrotremor Titik 3	55
Gambar 5. 4 Filtering Option Windowing Data Mikrotremor Titik 3	56
Gambar 5. 5 Proses Windowing Data Mikrotremor Titik 3	56
Gambar 5. 6 Grafik HVSR titik 3	57
Gambar 5. 7 Output Beban Mati Sendiri (MS) bentang 25 meter	59
Gambar 5. 8 Output Beban Mati Sendiri (MS) bentang 40 meter	59
Gambar 5. 9 Beban lapisan Aspal dan overlay	60
Gambar 5. 10 Beban Mati Tambahan total trotoar, pipa, dinding dan tiang sandaran	62
Gambar 5. 11 Perletakan Beban Terbagi Rata (BTR)	63
Gambar 5. 12 Perletakan Beban Garis Terpusat (BGT)	64
Gambar 5. 13 Perletakan Beban Truk "T"	65
Gambar 5. 14 Perletakan Gaya Rem (TB)	66
Gambar 5. 15 Perletakan Beban Pejalan Kaki (TP)	67
Gambar 5. 16 Input Data Garis Grid Jembatan	69
Gambar 5. 17 Material Property Data Beton	70
Gambar 5. 18 Material Property Data Baja Tulangan	70
Gambar 5. 19 Frame Properties	71
Gambar 5. 20 Input Frame Diafragma	71
Gambar 5. 21 Input Frame I-Girder	71
Gambar 5. 22 Hasil Permodelan Jembatan I-Girder Beton	72
Gambar 5. 23 Define Area Sections	73
Gambar 5. 24 Draw Area Sections	73

Gambar 5. 25 Joint Offset Overwrites Plat Lantai	74
Gambar 5. 26 Posisi Plat Setelah dilakukan Offset	74
Gambar 5. 27 Define Load Cases	75
Gambar 5. 28 Kombinasi Pembebanan	76
Gambar 5. 29 Output Frekuensi Teoritis Bentang 40 meter	76
Gambar 5. 30 Output Frekuensi Teoritis Bentang 25 meter	76
Gambar 5. 31 Tampilan Peta Kontur	80
Gambar 5. 32 Peta Kontur	80
Gambar 5. 33 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan Srandakan II	81

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L-1. 1 Kurva HVSR Titik 1	90
Gambar L-1. 2 Kurva HVSR Titik 3	90
Gambar L-1. 3 Kurva HVSR Titik 4	91
Gambar L-1. 4 Kurva HVSR Titik 5	91
Gambar L-1. 5 Kurva HVSR Titik 6	92
Gambar L-1. 6 Kurva HVSR Titik 7	92
Gambar L-1. 7 Kurva HVSR Titik 8	93
Gambar L-1. 8 Kurva HVSR Titik 9	93
Gambar L-1. 9 Kurva HVSR Titik 10	94
Gambar L-1. 10 Kurva HVSR Titik 11	94
Gambar L-1. 11 Kurva HVSR Titik 13	95
Gambar L-1. 12 Kurva HVSR Titik 14	95
Gambar L-1. 13 Kurva HVSR Titik 15	96
Gambar L-1. 14 Kurva HVSR Titik 16	96
Gambar L-1. 15 Kurva HVSR Titik 17	97
Gambar L-1. 16 Kurva HVSR Titik 18	97
Gambar L-1. 17 Kurva HVSR Titik 19	98
Gambar L-1. 18 Kurva HVSR Titik 20	98
Gambar L-1. 19 Kurva HVSR Titik 21	99
Gambar L-1. 20 Kurva HVSR Titik 22	99
Gambar L-1. 21 Kurva HVSR Titik 24	100
Gambar L-1. 22 Kurva HVSR Titik 25	100
Gambar L-1. 23 Kurva HVSR Titik 26	101
Gambar L-1. 24 Kurva HVSR Titik 27	101
Gambar L-1. 25 Kurva HVSR Titik 28	102
Gambar L-1. 26 Kurva HVSR Titik 30	102
Gambar L-1. 27 Kurva HVSR Titik 31	103
Gambar L-1. 28 Kurva HVSR Titik 32	103

Gambar L-1. 29 Kurva HVSR Titik 34	104
Gambar L-1. 30 Kurva HVSR Titik 34	104
Gambar L-1. 31 Kurva HVSR Titik 36	105
Gambar L-1. 32 Kurva HVSR Titik 37	105
Gambar L-1. 33 Kurva HVSR Titik 38	106
Gambar L-2. 1 Dokumentasi Penelitian	107
Gambar L-2. 2 Dokumentasi Penelitian	107
Gambar L-2. 3 Dokumentasi Penelitian	108

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

HVSR	= <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>
MS	= Berat Mati Sendiri
MA	= Berat Mati Tambahan
TD	= Beban Lajur “D”
BTR	= Beban Terbagi Rata
BGT	= Beban Garis Terpusat
q	= Beban arah memanjang dari BTR
L	= Panjang bentang jembatan
FBD	= Faktor Beban Dinamis
Lav	= Panjang Bentang Rerata
Lmax	= Panjang bentang maksimum
TB	= Gaya Rem
TP	= Beban Pejalan Kaki
F0	= Frekuensi Natural
T _{SITE}	= Rasio Spektrum Mikrotremor
SH _{North-South}	= Sinyal Arah Horizontal utara – selatan
SH _{East-West}	= Sinyal Arah Horizontal Timur – Barat
SVS	= Sinyal Arah Vertikal
EW	= <i>East – West</i>
NS	= <i>North – South</i>
F’c	= Mutu Beton
Fy	= Mutu Baja

ABSTRAK

Penelitian identifikasi kelayakan jembatan dilakukan pada Jembatan Srandakan II di Kabupaten Kulon Progo, proses identifikasi kelayakan dilakukan dengan meninjau nilai frekuensi natural jembatan berdasarkan pengukuran sinyal mikrotremor dan permodelan struktur jembatan dengan SAP2000. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kelayakan jembatan berdasarkan kerusakan relatif yang merupakan perbandingan dari frekuensi natural aktual dengan frekuensi natural teoritis, kerusakan relatif dapat menunjukkan penurunan performa jembatan dari kondisi awal jembatan yang ditunjukkan dengan frekuensi natural teoritis dengan kondisi jembatan saat ini yang ditunjukkan dengan frekuensi natural aktual. Jembatan Srandakan II dipilih sebagai objek penelitian dikarenakan Jembatan ini memiliki beban lalu lintas yang tinggi dan telah beroperasi sejak tahun 2007. Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mendapatkan nilai frekuensi natural aktual jembatan berdasarkan pengukuran mikrotremor, hasil frekuensi natural aktual jembatan akan dibandingkan dengan frekuensi natural teoritis untuk mendapatkan nilai kerusakan relatif. Hasil penelitian ini yaitu didapatkan nilai frekuensi natural rata-rata struktur atas jembatan sebesar 1,767 Hz berdasarkan pengukuran mikrotremor, frekuensi teoritis rata-rata sebesar 1,776 Hz berdasarkan permodelan SAP2000, dan nilai kerusakan relatif sebesar 0,501%. Berdasarkan peta persebaran, frekuensi memiliki nilai yang lebih tinggi pada area jembatan dengan pilar diatas tanah dibandingkan pilar diatas air. Berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B, nilai kerusakan relatif berada pada kategori kondisi baik dengan rentang nilai kerusakan relatif 0%-5%. Artinya, jembatan Srandakan II hanya mengalami sedikit penurunan performa, sehingga jembatan Srandakan II masih aman dan layak untuk digunakan.

Kata kunci : HVSr, Mikrotremor, Frekuensi Natural, Frekuensi Teoritis.

Abstract

The bridge feasibility identification study was conducted on the Srandakan II Bridge located in Kulon Progo Regency. The feasibility identification process was carried out by examining the natural frequency of the bridge based on microtremor signal measurements and structural modeling of the bridge using SAP2000. This study aims to determine the feasibility of the bridge based on relative damage, which is defined as the ratio between the actual natural frequency and the theoretical natural frequency. Relative damage can indicate a decrease in bridge performance from its initial condition, represented by the theoretical natural frequency, to the current condition of the bridge, represented by the actual natural frequency. The Srandakan II Bridge was selected as the research object because it carries a high traffic load and has been in operation since 2007. This study was conducted using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to obtain the actual natural frequency of the bridge based on microtremor measurements. The actual natural frequency results were then compared with the theoretical natural frequency to determine the relative damage value. The results of this study show that the average natural frequency of the bridge superstructure obtained from microtremor measurements is 1.767 Hz, while the average theoretical natural frequency obtained from SAP2000 modeling is 1.776 Hz, resulting in a relative damage value of 0.501%. Based on the distribution map, higher frequency values are observed in bridge areas with piers founded on soil compared to piers founded in water. According to the Construction and Building Guideline No. Pt T-05-2002-B, the relative damage value falls within the “good condition” category, with a relative damage range of 0%–5%. This indicates that the Srandakan II Bridge has experienced only a slight reduction in performance and therefore remains safe and feasible for use.

Keywords: HVSr, Microtremor, Natural Frequency, Theoretical Frequency

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan prasarana transportasi vital yang memiliki peran penting dalam mendukung mobilitas manusia serta pendistribusian barang. Jembatan merupakan infrastruktur yang penting sehingga keberadaan jembatan harus selalu berada dalam kondisi yang layak agar mampu menjamin keselamatan bagi pengguna jalan serta keberlanjutan fungsi jaringan transportasi. Seiring bertambahnya usia pelayanan jembatan, struktur jembatan memiliki potensi mengalami penurunan performa akibat adanya degradasi material, kelelahan struktur, dan perubahan lainnya.

Jembatan Srandakan II yang terletak diantara perbatasan Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Bantul tersebut dibangun pada tahun 2005 dan bersebelahan dengan Jembatan Srandakan I, jembatan tersebut merupakan salah satu jembatan strategis di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yang melayani arus lalu lintas dengan intensitas yang tinggi. Jembatan ini berperan sebagai penghubung antar wilayah dan dilintasi oleh berbagai jenis kendaraan, termasuk kendaraan berat dengan frekuensi lintasan yang tinggi. Beban lalu lintas besar dan berulang dalam jangka waktu yang lama dapat meningkatkan akumulasi kerusakan struktural pada jembatan tersebut.

Selain faktor beban lalu lintas, usia jembatan juga menjadi aspek penting dalam identifikasi kelayakan struktur. Jembatan yang telah beroperasi dalam jangka waktu lama cenderung mengalami penurunan performa akibat adanya retak pada beton, penurunan mutu material serta korosi pada baja. Penurunan ini tidak selalu dapat teridentifikasi secara visual oleh mata, sehingga diperlukan proses identifikasi kelayakan yang mampu mendeteksi perubahan perilaku struktur secara menyeluruh.

Metode konvensional dalam pengujian kelayakan jembatan umumnya dilakukan melalui inspeksi secara visual dan uji beban statik. Namun metode tersebut memiliki keterbatasan, seperti memiliki ketergantungan pada subjektivitas pengamat serta kebutuhan pemberhentian lalu lintas diatas jembatan. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang lebih efisien, cepat dan tidak mengganggu operasional jembatan.

Salah satu pengujian dengan metode non-destruktif yang dapat digunakan adalah pengukuran mikrotremor dengan pendekatan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode ini memanfaatkan getaran yang berasal dari aktivitas lingkungan dan lalu lintas untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik struktur, khususnya frekuensi alami. Perubahan nilai frekuensi dapat digunakan sebagai indikator awal adanya penurunan kekakuan struktur akibat pengaruh beban lalu lintas serta usia pada jembatan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilaksanakan untuk mengidentifikasi kelayakan Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo berdasarkan perbandingan frekuensi alami hasil pengukuran mikrotremor dengan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) dengan frekuensi alami teoritis hasil permodelan struktur. Sehingga, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi kelayakan struktur jembatan secara objektif dan rinci.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan kerangka latar belakang yang telah dirumuskan, permasalahan yang akan diuraikan dalam kajian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai frekuensi natural (f_0) pada struktur jembatan Srandakan II di Kabupaten Kulon Progo berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)?
2. Bagaimana nilai frekuensi teoritis struktur jembatan Srandakan II yang diambil melalui permodelan SAP 2000?
3. Bagaimana tingkat kelayakan jembatan Srandakan II berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor menggunakan metode HVSr yang ditinjau melalui

nilai frekuensi natural (f_0) dan frekuensi teoritis struktur jembatan Srandakan II?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian dapat dilihat sebagai berikut :

1. Menentukan nilai frekuensi natural (f_0) pada struktur jembatan Srandakan II di Kabupaten Kulon Progo berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).
2. Mengetahui nilai frekuensi teoritis struktur jembatan Srandakan II yang diambil melalui permodelan SAP 2000
3. Mengetahui kelayakan struktur jembatan Srandakan II di kabupaten Kulon Progo

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu dapat menyediakan informasi terkait kelayakan struktural Jembatan Srandakan II berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor, sehingga dapat berfungsi sebagai landasan bagi pengambilan keputusan oleh pemerintah daerah atau instansi terkait untuk melaksanakan perawatan, perbaikan, atau peningkatan struktur jembatan.

Manfaat lainnya dari penelitian tugas akhir ini adalah menambah wawasan serta literatur ilmiah mengenai metode HVSr dalam analisis kelayakan infrastruktur, terkhusus pada jembatan, yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian yang sejenis.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian tugas akhir yang akan dilaksanakan bertempat pada struktur jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Perangkat lunak yang diterapkan untuk menganalisis data mikrotremor adalah Geopsy, sementara metode yang digunakan dalam pengolahan data

adalah metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR). Metode dan perangkat lunak ini akan dimanfaatkan guna memperoleh nilai frekuensi natural (f_0) serta frekuensi teoritis struktur jembatan.

3. Alat yang digunakan untuk pengambilan data mikrotremor adalah *Lunitek Digital Seismic Sensor*.
4. Beban yang diperhitungkan hanya beban mati dan beban hidup berdasarkan SNI 1725 : 2016
5. Proses *Filtering Noise* pada proses *Windowing* dilakukan dengan mode Auto dengan batas maksimal 20% pada sinyal yang terganggu (noise).
6. Perletakan alat untuk pengukuran mikrotremor mengacu pada aturan SESAME European Research Project (SESAME, 2004).

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini disusun sebagai berikut:

1. Bab I – Pendahuluan
Bab ini mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan penelitian tugas akhir.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka
Bab ini mencakup kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya dan perbandingannya dengan penelitian yang sedang dilakukan.
3. Bab III – Landasan Teori
Bab ini mencakup teori-teori yang dijadikan dasar pendukung penelitian.
4. Bab IV – Metodologi Penelitian
Bab ini mencakup lokasi penelitian, pengumpulan data, alat yang digunakan, serta metode dan tahapan yang diterapkan selama penelitian.
5. Bab V – Analisis Data dan Pembahasan
Bab ini mencakup hasil yang diperoleh selama penelitian, yang berkaitan dengan frekuensi natural (f_0) pada struktur Jembatan Srandakan II, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.
6. Bab VI – Penutup dan Saran

Bab ini mencakup kesimpulan dan pembahasan hasil analisis data, serta saran terkait temuan penelitian.

7. Lampiran

Lampiran berisi data-data yang digunakan selama penelitian serta gambar pendukung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

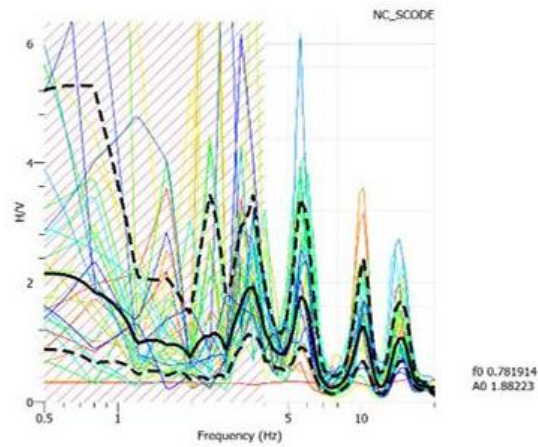
2.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa kajian penelitian terdahulu tentang identifikasi kelayakan jembatan menggunakan metode penelitian yang akan dilakukan. Penelitian terdahulu tersebut di antara lainnya yaitu Maulana, A., & Kusumawardani, R. (2020), Zaki Mutaram, dkk (2022), Oky Dwi Saputra, dkk (2019), Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023), Said Jalalul Akbar, dkk (2020).

2.1.1 Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor.

Maulana, A., & Kusumawardani, R. (2020) melakukan sebuah penelitian mengenai pengujian durabilitas jembatan kereta api dengan metode HVSR berdasarkan pengukuran mikrotremor. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis respons dinamis jembatan kereta api BH-9 Kaligawe, Semarang menggunakan metode HVSR berdasarkan pengukuran mikrotremor. Tujuan dari menggunakan metode HVSR adalah untuk mendapatkan nilai frekuensi natural (f_0) struktur jembatan dan amplitude jembatan Ketika dilewati oleh kereta api, sehingga dengan mengetahui frekuensi natural (f_0) dan amplitude struktur jembatan dapat diketahui juga ketahanan jembatan terhadap getaran akibat beban dinamis yang di berikan oleh kereta api.

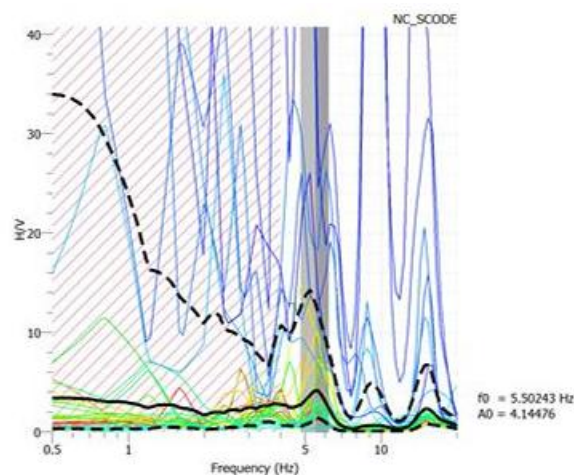
Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan nilai frekuensi natural (f_0) jembatan. Ketika tidak ada kereta melintas didapatkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar 0,78 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 1,88. Adapun gambar kurva HVSR dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.



Gambar 2. 1 Kurva HVSR ketika kereta tidak melintas

(Sumber : Maulana, A., & Kusumawardani, R. (2020))

Ketika kereta melintas di jembatan didapatkan nilai frekuensi natural (f_0) sebesar 1,03 – 5,77 Hz dengan nilai amplitudo yang dihasilkan sebesar 1,70 – 4,14. Nilai frekuensi natural (f_0) terbesar didapatkan saat kereta agro angrek melintas diatas jaembatan dan menghasilkan nilai frekuensi natural sebesar 5,50 Hz dan nilai amplitudo sebesar 4,14. Adapun Gambar kurva HVSR yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 2.2** berikut.



Gambar 2. 2 Kurva HVSR Ketika dilewati KA Agro Angrek

(Sumber : Maulana, A., & Kusumawardani, R. (2020))

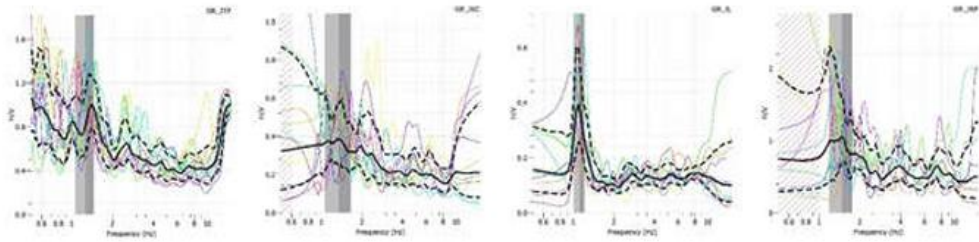
Penelitian ini juga mengukur amplitudo getaran yang dihasilkan oleh kereta api, yang dinyatakan dalam bentuk percepatan getaran. Pengukuran tersebut diperoleh melalui perangkat berbasis accelerometer yang terintegrasi dengan sistem pemantauan seismik. Berdasarkan hasil pengukuran percepatan menggunakan accelerometer, diperoleh nilai percepatan getaran akibat beban kereta api berkisar antara $0,36 \text{ m/s}^2$ hingga $1,37 \text{ m/s}^2$ pada arah x, $0,45 \text{ m/s}^2$ hingga $1,63 \text{ m/s}^2$ pada arah y, serta $1,05 \text{ m/s}^2$ hingga $1,31 \text{ m/s}^2$ pada arah z.

2.1.2 Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor

Zaki Mutaram, dkk (2022) melakukan penelitian di wilayah Kabupaten Aceh Utara. Objek penelitian adalah jembatan rangka baja dan beton bertulang. Beberapa metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), *Floor Spectral Ratio* (FSR), dan *Random Decrement Method* (RDM). Alat sensor *Geobit Instruments* model S-20 *Near Broad Seismik Sensor* digunakan untuk mengumpulkan data titik pengukuran mikrotremor pada jembatan.

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk menganalisa performa jembatan di Aceh Utara dimana tercatat pada tanggal 26 Desember 2004 wilayah Aceh mengalami gempa di dasar laut sebesar 8,9 Skala Richter yang menyebabkan banyak kerusakan pemukiman penduduk, fasilitas umum, sarana – prasarana serta kerusakan lingkungan. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk mengetahui performa jembatan terhadap getaran pada dasar tanah yang sangat mempengaruhi frekuensi natural struktur jembatan. Dari pengambilan data mikrotremor dapat diketahui sifat getaran dan lapisan dibawah permukaan tanah, identifikasi frekuensi natural tanah, frekuensi jembatan, rasio resonansi dan rasio redaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jembatan rangka baja memiliki frekuensi natural tanah 1,25 hingga 1,35 Hz, dan jembatan beton bertulang memiliki frekuensi natural tanah 1,11 hingga 1,47 Hz. Adapun gambar kurva hasil pengukuran mikrotremor dengan metode HVSr dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut.



Gambar 2. 3 Frekuensi Natural Tanah (f_0) berdasarkan pengolahan data HVSr

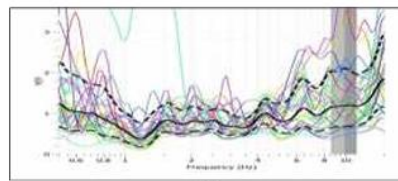
(Sumber : Zaki Mutaran dkk (2022))

Periode getar alami dari hasil penelitian menunjukkan hasil yang identik dengan periode hasil perhitungan teoritis dengan rata – rata periode getar alami lebih besar 7,24% dibandingkan periode hasil perhitungan teoritis. Nilai kekakuan actual struktur jembatan menghasilkan nilai yang lebih besar dibanding dengan kekakuan teoritis, sehingga jembatan menunjukkan performa yang bagus dan masih layak untuk digunakan.

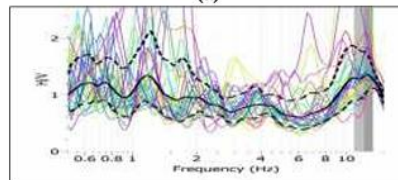
2.1.3 Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor dengan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Oky Dwi Saputra, dkk (2019) melakukan penelitian di Kawasan jembatan Batanghari II, Kecamatan Pelayangan, Kota Jambi, Jambi. Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan selama 8 hari dengan menggunakan alat seismograf MAE 6000, GPS, laptop, pena, log book dan kamera. Dalam penelitian dilakukan survey lapangan terlebih dahulu untuk mengetahui keadaan wilayah yang diteliti, yang mencakup keadaan morfologi, lingkungan, dan struktur jembatan

. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kelayakan dan kondisi struktural jembatan berdasarkan hasil perbandingan frekuensi natural (f_0) dengan nilai standar. Pengambilan data mikrotremor dilakukan dengan 6 titik dengan masing – masing titik terdapat 2 arah yaitu arah timur dan barat. Adapun hasil mikrotremor setelah dilakukan picking dan filtering di software geopsy dapat dilihat pada **Gambar 2.4, Gambar 2.5, Gambar 2.6, Gambar 2.7, Gambar 2.8** dan **Gambar 2.9** berikut.



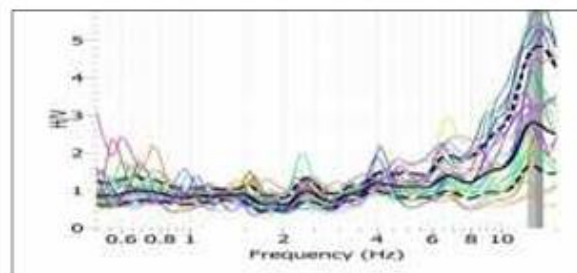
(a)



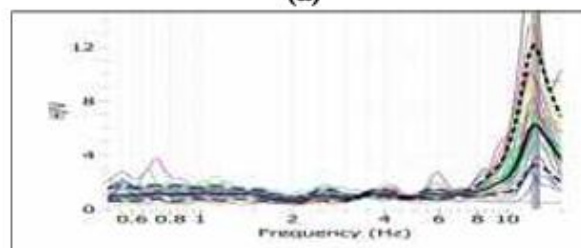
(b)

Gambar 2. 4 Data Frekuensi Alami titik 1. (a) Arah barat, (b) Arah timur

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))



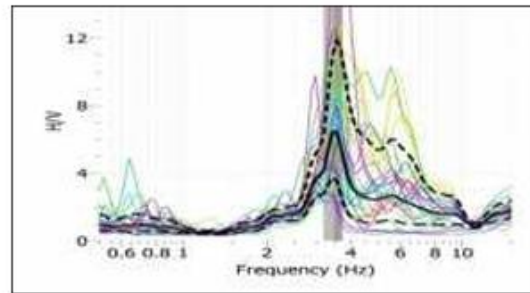
(a)



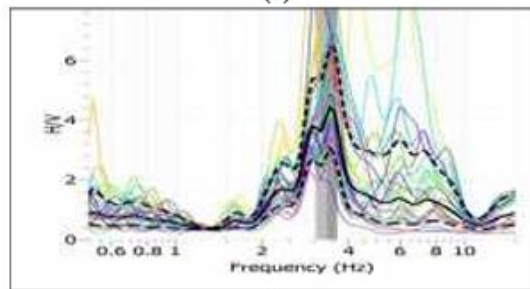
(b)

Gambar 2. 5 Data frekuensi alami titik 2. (a) arah barat, (b) arah timur

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))



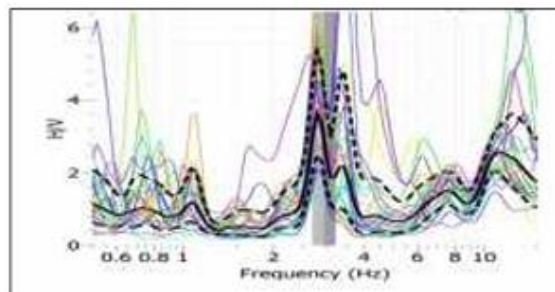
(a)



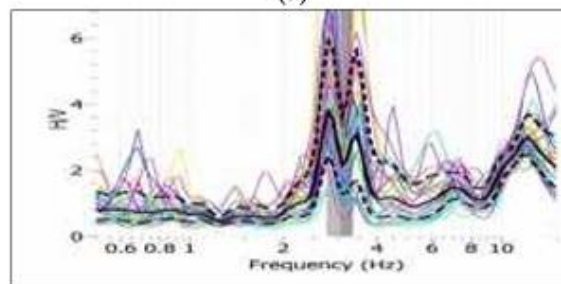
(b)

Gambar 2. 6 Data frekuensi alami titik 3. (a) arah barat, (b) arah timur

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))



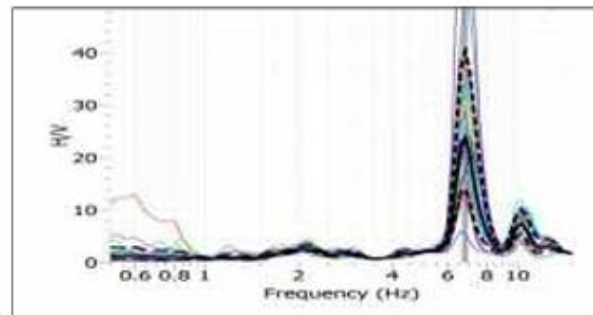
(a)



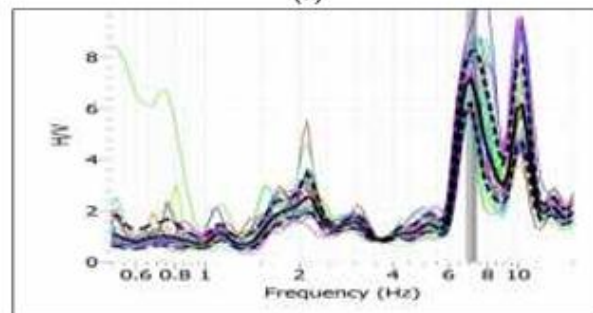
(b)

Gambar 2. 7 Data frekuensi alami titik 4. (a) arah barat, (b) arah timur

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))



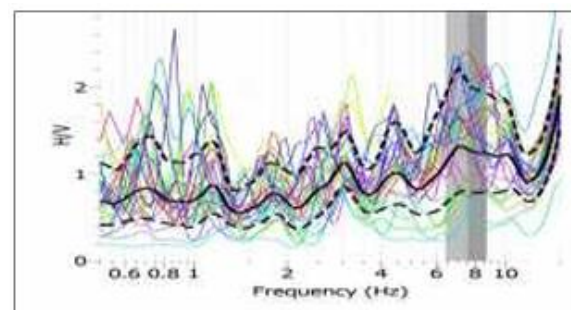
(a)



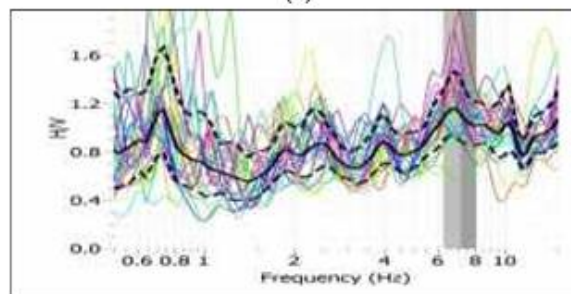
(b)

Gambar 2. 8 Data frekuensi alami titik 5. (a) arah barat, (b) arah timur

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))



(a)



(b)

Gambar 2. 9 Data frekuensi alami titik 6. (a) arah barat, (b) arah timur

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))

Berdasarkan gambar di atas, nilai frekuensi alami ditampilkan dalam bentuk bar abu-abu pada grafik HVSR. Bentuk grafik yang dihasilkan disesuaikan dengan kondisi lapangan. Dengan semakin sedikit orang di jalan, grafik akan membentuk nilai puncak yang tinggi, hal ini disebabkan oleh minimnya gangguan dari aktivitas sekitar di tempat pengambilan data, sehingga data frekuensi alami yang diukur menjadi lebih stabil dan lebih terfokus pada satu frekuensi dominan tanpa adanya data frekuensi yang tidak beraturan. Nilai frekuensi yang dihasilkan dipengaruhi besarnya getaran yang dihasilkan oleh jembatan. Nilai frekuensi yang dihasilkan di daerah tengah struktur jembatan memiliki nilai frekuensi yang lebih kecil dibandingkan dengan daerah ujung jembatan karena formasi keadaan yang lebih padat dan tidak adanya kerenggangan, sedangkan di daerah tengah struktur jembatan memiliki formasi keadaan yang lebih renggang sehingga frekuensi yang dihasilkan di daerah ujung struktur jembatan lebih kecil dibandingkan dengan daerah tengah struktur jembatan. Adapun tabel hasil frekuensi alami jembatan dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2. 1 Nilai Frekuensi Alami Jembatan Batanghari II

Lintasan	Titik	Frekuensi Alami (Hz)
1	Barat	9,9111
	Timur	12,1329
2	Barat	12,8966
	Timur	12,5014
3	Barat	3,45748
	Timur	3,35074
4	Barat	2,95111
	Timur	3,04643
5	Barat	6,79248
	Timur	7,10636
6	Barat	7,56923
	Timur	7,13705

Lanjutan Tabel 2. 1 Nilai Frekuensi Alami Jembatan Batanghari II

Frekuensi Alami Jembatan	7.40441
--------------------------	---------

Dengan diketahuinya besar nilai frekuensi jembatan berdasarkan pengambilan data mikrotremor di titik – titik yang telah direncanakan, maka dapat diketahui nilai kerusakan relatif jembatan. Adapun hasil nilai kerusakan relatif jembatan dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2. 2 Tabel Kerusakan Relatif

Lintasan	Titik	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)	Rata – rata frekuensi jembatan (Hz)	Frekuensi Teoritis (Hz)	Kerusakan Relatif
1	Barat	9,9111	7,40441	7,654	3,53%
	Timur	12,1329			
2	Barat	12,8966			
	Timur	12,5014			
3	Barat	3,45748			
	Timur	3,35074			
4	Barat	2,95111			
	Timur	3,04643			
5	Barat	6,79248			
	Timur	7,10636			
6	Barat	7,56923			
	Timur	7,13705			

Berdasarkan Tabel 2.2 diatas dapat diketahui keadaan dari jembatan Batanghari II. Nilai kerusakan relative yang didapatkan dari perhitungan yaitu sebesar 3,53%. Berdasarkan nilai kerusakan relative yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa jembatan Batanghari II dalam performa yang baik dan masih layak untuk digunakan.

2.1.4 Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* dan Pergerakan Partikel

Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023) melakukan penelitian pada jembatan di Kota Padang, yaitu jembatan Kuranji baru dan jembatan kuranji lama. Jembatan kuranji terletak pada jalanan *By Pass*, jalan nasional dengan volume kendaraan yang berat serta rawan dengan kemacetan. Kepadatan kendaraan yang tinggi menyebabkan kemacetan sehingga beban kendaraan yang berhenti diatas jembatan berpotensi mengakibatkan struktur jembatan mengalami kelebihan beban (*overloading*). Pada area bawah jembatan kuranji memiliki aktivitas penambangan pasir yang sering dilakukan oleh masyarakat, sehingga batuan dan pasir yang berada di bawah jembatan tepatnya di sekitar pilar akan semakin berkurang, dengan berkurangnya batuan dan pasir akibat aktivitas tersebut dapat berpotensi mengakibatkan kerusakan struktur pilar jembatan, sehingga diperlukan evaluasi kondisi struktur jembatan bagian atas dan bawah menggunakan metode HVSR guna mengidentifikasi kondisi struktur jembatan tersebut.

Hasil dari penelitian ini yaitu didapatkan nilai frekuensi natural jembatan dari setiap titik yang telah ditentukan. Nilai frekuensi natural terbesar didapatkan pada titik T10 dengan nilai sebesar 5,466 Hz yang bertempat pada bagian bawah jembatan. Nilai frekuensi natural terendah didapatkan pada titik T4 dengan nilai sebesar 0,892 Hz yang bertempat di bagian atas jembatan. Adapun hasil rekapitulasi tiap titik dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut.

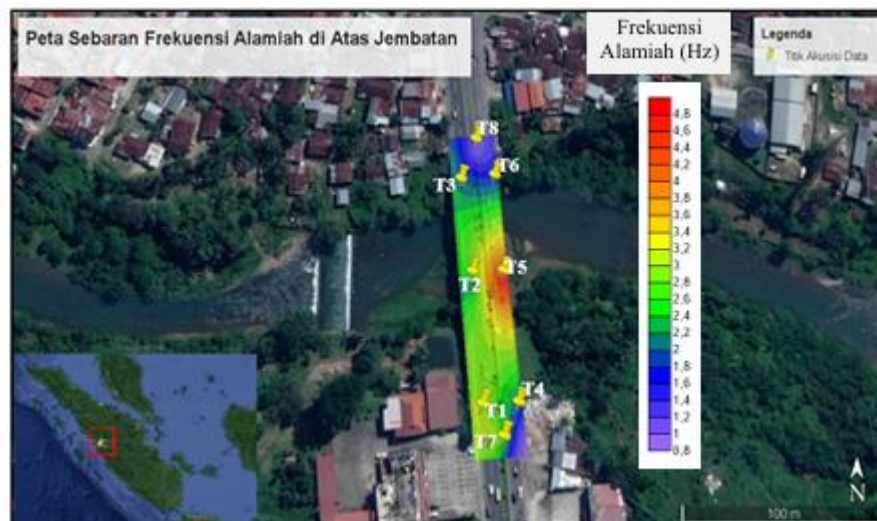
Tabel 2. 3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan

	Titik Akuisi Data	Garis Lintang	Garis Bujur	Frekuensi Alamiah f0 (Hz)
Jembatan lama yang berusia 30 tahun	T1	-0,922775	100,397714	3,204
	T2	-0,922153	100,397667	2,285
	T3	-0,921567	100,397589	2,258
	T9	-0,922765	100,397762	5,128
	T10	-0,922196	100,397700	5,466
	T11	-0,921480	100,397628	2,178

Lanjutan Tabel 2.3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan

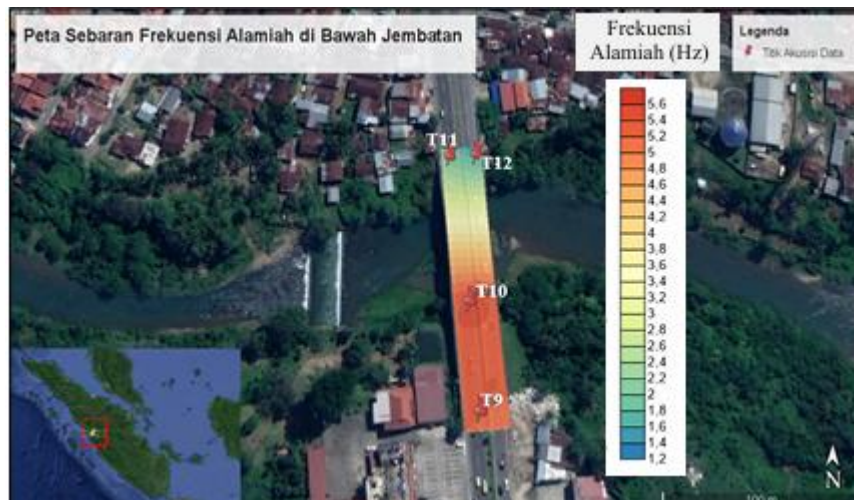
Jembatan baru yang berusia 9 tahun	T4	-0,922761	100,397886	0,892
	T5	-0,922133	100,397836	4,827
	T6	-0,921155	100,397761	1,043
	T12	-0,921482	100,397735	1,361
Sambungan ujung jembatan dengan jalan	T7	-0,922856	100,397819	1,122
	T8	-0,921469	100,397678	1,650

Untuk menunjukkan persebaran nilai frekuensi natural pada jembatan, hasil pengolahan data frekuensi natural di *overlay* pada peta pengambilan data. Peta persebaran nilai frekuensi dibagi kedalam dua bagian, yaitu peta persebaran frekuensi natural bagian atas jembatan dan bagian bawah jembatan. Kedua peta yang dibuat akan menunjukkan kondisi jembatan di tiap titik berdasarkan nilai frekuensi natural. Adapun peta persebaran nilai Frekuensi natural jembatan dapat dilihat pada **Gambar 2.10** dan **Gambar 2.11** berikut.



Gambar 2. 10 Peta sebaran nilai frekuensi natural diatas jembatan

(Sumber : Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023))



Gambar 2. 11 Peta sebaran nilai frekuensi natural dibawah jembatan

(Sumber : Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023))

Dari pengolahan data yang dilakukan, besar nilai frekuensi natural yang telah dihasilkan, dapat digunakan untuk menghitung nilai rasio frekuensi natural untuk jembatan lama dengan usia 30 tahun dan jembatan baru yang berusia 9 tahun. Nilai rasio frekuensi natural tersebut dapat dibandingkan dengan Tabel nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi. Adapun tabel nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi dapat dilihat pada **Tabel 2.4** berikut.

Tabel 2. 4 Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi

No	Visual Keterangan Cacat	Pemeliharaan Program	Rasio Frekuensi KK (%)
1	Elemen-elemen jembatan berada dalam kondisi baik dan tidak ditemukan adanya cacat memerlukan perawatan rutin	Tidak diperlukan perbaikan (hanya perawatan rutin)	$0 < K \leq 2,50$
2	Elemen-elemen jembatan dengan cacat kecil dan memerlukan perawatan rutin	Tidak diperlukan perbaikan segera	$2,5 < K \leq 7,5$
3	Elemen-elemen jembatan dengan kerusakan yang memerlukan perbaikan preventif (dalam 12 bulan)	Perbaikan preventif	$7,5 < K \leq 15,0$

Lanjutan Tabel 2.4 Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi

4	Elemen-elemen jembatan dengan kerusakan yang memerlukan perhatian khusus atau sudah diperbaiki	Perbaikan (rehabilitasi)	$15,0 < K \leq 22,5$
5	Elemen-elemen jembatan dalam kondisi kritis yang memerlukan perhatian segera, perlu diganti	Penggantian	$22,5 < K \leq 27,5$
6	Elemen-elemen jembatan tidak berfungsi, rusak, atau runtuh	Penggantian	$K > 27,5$

Dengan diketahuinya nilai kondisi jembatan berdasarkan perhitungan rasio frekuensi, maka identifikasi kelayakan kondisi jembatan dapat dilakukan. Adapun hasil dari nilai rasio frekuensi jembatan kurangi beserta kondisi yang didapatkan berdasarkan tabel diatas dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut.

Tabel 2. 5 Kondisi Jembatan Kurangi berdasarkan nilai frekuensi ilmiah

	Titik	Frekuensi Alamiah f_0 (Hz)	Frekuensi Teori (Hz)	Frekuensi Rata - rata (Hz)	Rasio Frekuensi Alamiah (%)	Keterangan	
Jembatan sebelah barat yang berusia 30 tahun (Jembatan Lama)	T1	3,204	0,9470	3,420	2,611	Elemen-elemen jembatan dalam kondisi cacat kecil dan memerlukan pengecekan secara rutin	
	T2	2,285					
	T3	2,258					
	T9	5,128					
	T10	5,466					
T11	2,178	2,031		1,144	Elemen-elemen jembatan dalam kondisi baik dan tidak memerlukan perbaikan		
Jembatan sebelah timur yang berusia 9 tahun (Jembatan Baru)	T4						0,892
T5	4,827						
T6	1,043						
T12	1,361						

Tabel di atas menggambarkan kondisi Jembatan Kurangi berdasarkan nilai frekuensi natural. Rasio frekuensi natural untuk jembatan lama yang berusia 30 tahun diperoleh sebesar 2,611%, sedangkan untuk jembatan baru yang berusia 9 tahun sebesar 1,144%. Berdasarkan nilai rasio frekuensi tersebut, dapat diidentifikasi bahwa kondisi jembatan lama menunjukkan kerusakan minor dan memerlukan pemeliharaan rutin, sementara jembatan baru berada dalam kondisi baik dan tidak memerlukan perbaikan.

Penelitian ini juga menghasilkan data mengenai arah pergerakan partikel. Data tersebut penting untuk menentukan arah sumber getaran yang berasal dari aktivitas lalu lintas pada setiap titik yang telah ditetapkan. Dalam proses pengolahan data, arah pergerakan partikel diklasifikasikan menjadi bagian atas jembatan dan bagian bawah jembatan. Hasil pengolahan data tersebut dapat diamati pada **Gambar 2.12** dan **Gambar 2.13** berikut.



Gambar 2. 12 Peta sebaran arah pergerakan partikel diatas jembatan

(Sumber : Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023))



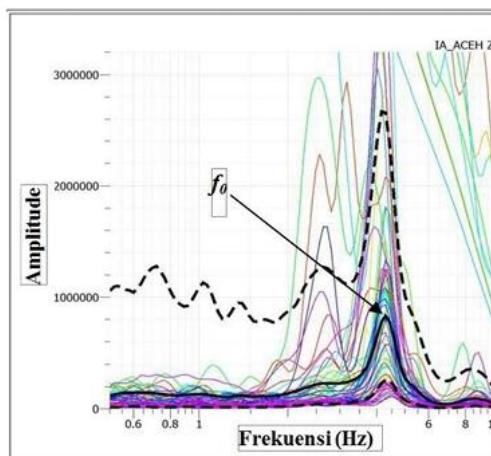
Gambar 2. 13 Peta sebaran arah pergerakan partikel dibawah jembatan

(Sumber : Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023))

2.1.5 Studi Eksperimen Perilaku Dinamik Jembatan *Prestressed Concrete* – I Girder dengan menggunakan akselerometer

Said Jalalul Akbar et al. (2020) meneliti perilaku dinamis jembatan *prestressed concrete* dengan profil I-girder melalui pemanfaatan akselerometer pada jembatan Alue Raya, Kecamatan Blang Mangat, Lhokseumawe, Provinsi Aceh. Kajian ini didasari oleh kapasitas pelayanan jembatan yang terpengaruh oleh berbagai faktor beban serta kondisi lingkungan, termasuk beban gempa, usia struktur, korosi, degradasi material, dan beban lalu lintas kendaraan. Faktor-faktor tersebut berpotensi mempercepat kerusakan struktural jembatan dan mengurangi umur pelayanan. Oleh karena itu, evaluasi kondisi kelauakan jembatan melalui analisis respons perilaku dinamisnya menjadi suatu kebutuhan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dinamik jembatan melalui pengukuran respon dinamik berupa frekuensi alami jembatan dan lendutan akibat beban lalu lintas dengan menggunakan akselerometer. Langkah awal dalam penelitian ini meliputi penentuan posisi sensor pada bagian tengah bentang girder jembatan, yang kemudian diikuti dengan uji pembebanan menggunakan truk bermuatan 28 ton selama 30 menit untuk masing-masing dari tiga kali percobaan. Pada tahap analisis, data yang diperoleh dipindahkan dari digitizer ke perangkat laptop, kemudian dikonversi dari format heksadesimal ke format SAF/Seed dengan menggunakan perangkat lunak Datapro guna memungkinkan pengolahan dan analisis lebih lanjut melalui perangkat lunak Geopsy. Perangkat lunak Geopsy diterapkan untuk mengolah nilai frekuensi alami dari struktur jembatan yang sedang diteliti.

Hasil dari penelitian yang dilakukan dianalisis menggunakan software Geopsy dengan Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dan menghasilkan nilai frekuensi alami jembatan. Selain itu, Software DADIsP digunakan untuk mendapatkan nilai lendutan maksimum pada struktur jembatan. Adapun hasil dari pengukuran frekuensi alami yang didapatkan dapat dilihat pada **Gambar 2.14** berikut.



Gambar 2. 14 Frekuensi Alami Jembatan pada Pengujian 1 terhadap sumbu Z

(Sumber : Said Jalalul Akbar, dkk (2020))

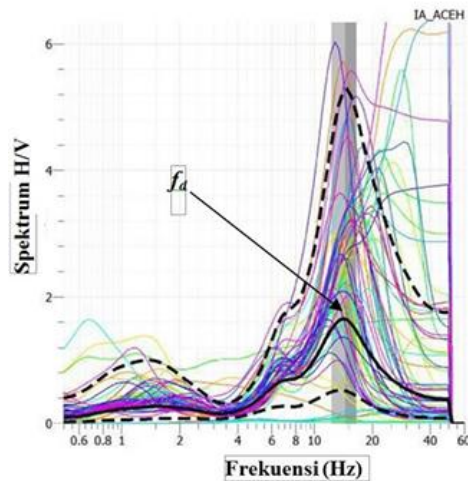
Adapun tabel hasil pengukuran frekuensi alami jembatan pada sumbu Z, NS dan EW dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. 6 Hasil Pengukuran Frekuensi Alami Jembatan 3 Arah.

Jenis Pengujian	Waktu	Sumbu	Frekuensi (Hz)
Pengujian 1	14.30 – 15.00 WIB	Z	4,3256
		NS	5,2180
		EW	5,2183
Pengujian 2	15.30 – 17.00 WIB	Z	4,3215
		NS	5,2503
		EW	5,1608
Pengujian 3	17.30 – 18.00 WIB	Z	4,3355
		NS	5,2226
		EW	5,1426

Selain frekuensi alami, Analisa spektrum H/V pada software geopsy juga menghasilkan nilai frekuensi dominan (Fd). Frekuensi dominan merupakan salah satu parameter krusial dalam perancangan struktur untuk menanggung beban getaran yang berasal dari aktivitas seismik, angin, lalu lintas kendaraan, atau kegiatan manusia. Nilai frekuensi dominan (fd) yang dimiliki oleh suatu struktur jembatan seharusnya tidak identik dengan frekuensi dominan yang diakibatkan oleh beban getaran, mengingat hal tersebut dapat memicu fenomena resonansi pada

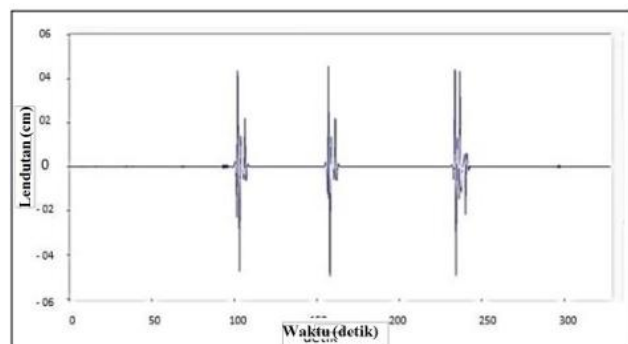
struktur jembatan tersebut. Adapun hasil frekuensi yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 14,7 Hz untuk pengujian 1 dan dapat dilihat pada **Gambar 2.15** berikut.



Gambar 2. 15 Frekuensi Dominan f_d sebesar 14,7 Hz pada pengujian 1

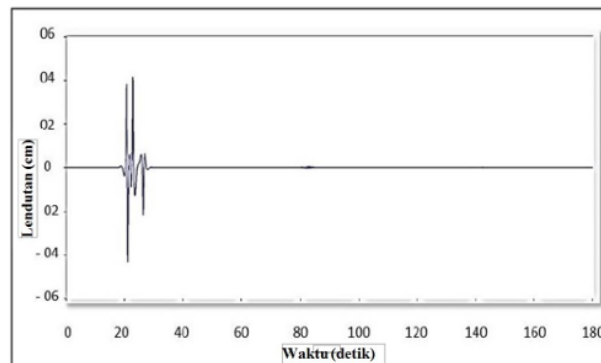
(Sumber : Said Jalalul Akbar, dkk (2020))

Defleksi yang terjadi pada struktur jembatan diperoleh melalui metode integral dengan menggunakan perangkat lunak DADiSP, setelah data pengukuran getaran dikalikan terlebih dahulu dengan faktor koreksi. Berdasarkan hasil analisis, defleksi yang diakibatkan oleh beban lalu lintas normal adalah sebesar 0,5 cm, sedangkan defleksi yang diakibatkan oleh beban truk seberat 28 ton adalah sebesar 0,43 cm. Adapun gambar dapat dilihat pada **Gambar 2.16** dan **Gambar 2.17** berikut.



Gambar 2. 16 Lendutan yang terjadi pada pengujian beban lalu lintas normal

(Sumber : Said Jalalul Akbar, dkk (2020))



Gambar 2. 17 Lendutan struktur jembatan pada pengujian dengan beban truk 28 ton

(Sumber : Said Jalalul Akbar, dkk (2020))

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan

Dari penelitian – penelitian yang sudah dijelaskan sebelumnya maka dapat dirangkum menjadi tabel berikut.

Tabel 2. 7 Perbandingan Hasil penelitian terdahulu dengan Peneletian yang Dilakukan

Peneliti	Oky Dwi Saputra dkk	Maulana, A., & Kusumawardani, R.	Said Jalalul Akbar, dkk	Zaki Mutaram dkk	Annisa, N., & Pohan, A. F.	Ian Kurniawan
Tahun	2019	2020	2020	2022	2023	2025
Judul Penelitian	Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor dengan Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSR)	Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor.	Studi eksperimen perilaku dinamik jembatan <i>Prestressed Concrete – I Girder</i> dengan menggunakan akselerometer	Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor	Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> dan Pergerakan Partikel	Identifikasi Kelayakan Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor
Tujuan Penelitian	1. Untuk menentukan nilai frekuensi natural pada 6 lintasan yang memeiliki 12 titik dengan menggunakan metode HVSR.	1. Untuk menentukan percepatan getaran kereta api menggunakan alat berbasis <i>accelerometer</i> . 2. Untuk menentukan	1. Untuk menentukan nilai frekuensi natural jembatan menggunakan metode HVSR. 2. Untuk menentukan lendutan yang terjadi Ketika	1. Untuk mendapatkan frekuensi natural tanah di sekitar struktur jembatan menggunakan Metode HVSR. 2. Untuk menentukan	1. Untuk mendapatkan nilai frekuensi natural pada jembatan Kuranji lama dan jembatan kuranji baru. 2. Untuk mendapatkan	1. Untuk mendapatkan nilai frekuensi natural menggunakan metode HVSR berdasarkan data mikrotremor.

Lanjutan Tabel 2.7 Hasil Penelitian Terdahulu

	2. Untuk mengetahui presentase nilai relatif guna mengetahui kelayakan jembatan	frekuensi natural struktur jembatan rel kereta api menggunakan metode HVSR.	dilalui beban lalu lintas.	3. Untuk mendapatkan rasio redaman struktur jembatan.	nilai frekuensi natural struktur jembatan . 3. Untuk mendapatkan arah pergerakan partikel pada jembatan	nilai relatif guna mengetahui kelayakan jembatan kurangi lama dan jembatan kurangi baru. 3. Untuk mendapatkan arah pergerakan partikel pada jembatan	2. Untuk mendapatkan nilai frekuensi teoritis dengan menggunakan permodelan SAP2000 3. Untuk mendapatkan nilai relatif guna mengetahui kelayakan jembatan.
Hasil Penelitian	1. Didapatkan rata rata nilai frekuensi natural f_0 yang berjumlah 12 titik. 2. Didapatkan nilai relatif sebesar 3.53% sehingga jembatan batanghari II dalam keadaan utuh.	1. Didapatkan nilai percepatan getaran akibat beban kereta api yang melaju sebesar 0,36 m/s ² – 1,37 m/s ² pada arah x, 0,45 m/s ² – 1,63 m/s ² pada arah y, dan 1,05 m/s ² – 1,31 m/s ² pada arah z	1. Didapatkan respon dinamik struktur diperoleh frekuensi alami dengan nilai 4,3256 Hz. 2. Didapatkan lendutan yang diperoleh menggunakan software DADiSP	1. Didapatkan nilai frekuensi natural tanah sebesar 1,25-1,35 Hz pada jembatan rangka baja. Sedangkan untuk jembatan beton didapatkan nilai frekuensi natural tanah sebesar 1,11 – 1,47 Hz.	1. Didapatkan nilai frekuensi natural pada jembatan kurangi. 2. Didapatkan presentase nilai relatif. Didapatkan ketidak selarasan pada pergerakan partikel.	1. Didapatkan nilai frekuensi natural pada jembatan kurangi. 2. Didapatkan nilai frekuensi teoritis berdasarkan data mikrotremor. 2. Didapatkan nilai frekuensi teoritis berdasarkan analisis permodelan SAP200	

Lanjutan Tabel 2.7 Hasil Penelitian Terdahulu

		<p>2. Didapatkan nilai frekuensi natural dari struktur jembatan sebesar 0,78 Hz dan amplitude sebesar 1,88. Ketika kereta api melintas didapatkan nilai frekuensi natural sebesar 1,03 Hz - 5,77 Hz dan amplitude sebesar 1,70 – 4,14. Nilai frekuensi natural terbesar didapatkan Ketika kereta api Argo Anggrek melintas dengan nilai frekuensi natural yang</p>	<p>sebesar 0,43 cm pada beban truk 28 ton dan 0,5 cm pada beban lalu lintas normal.</p> <p>3. Jembatan yang sudah menua (<i>ageing bridge</i>) dan kenaikan beban lalu lintas dapat mempengaruhi perilaku dinamik dan kapasitas struktur jembatan.</p>	<p>2. Didapatkan nilai frekuensi natural struktur jembatan sebesar 0,81 – 3,29 Hz pada jembatan rangka baja dan 2,21 – 3,62 Hz pada jembatan beton.</p> <p>3. Didapatkan nilai rasio redaman sebesar 2,02-4,97% pada jembatan rangka baja dan 2,05-4,81% pada jembatan beton bertulang. Periode getar alami dari hasil pengujian menunjukan hasil yang identik dengan</p>		<p>3. Didapatkan presentase nilai relatif.</p>
--	--	--	--	---	--	--

Lanjutan Tabel 2.7 Hasil Penelitian Terdahulu

		<p>dihasil sebesar 5,50 Hz dan amplitude 4,14.</p> <p>3. Jembatan dikategorikan aman apabila tidak terjadi resonansi saat menerima beban dinamis kereta.</p>		<p>periode hasil perhitungan periode teoritis dengan nilai rata-rata yang dihasilkan dari periode getar alami lebih besar 7,24% disbanding periode perhitungan teoritis, sehingga jembatan memiliki performa yang baik.</p>		
--	--	--	--	---	--	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Jembatan

Jembatan merupakan infrastruktur yang sangat penting dengan fungsi sebagai penghubung antara wilayah satu dengan wilayah lainnya yang terpisah oleh sungai, lembah, ataupun laut.

3.1.1 Mutu Material Jembatan

Material yang digunakan pada jembatan mengacu pada Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting. Pedoman ini digunakan apabila mutu jembatan yang ditinjau tidak diketahui. Pedoman ini dapat memberikan informasi mengenai kriteria mutu struktur material jembatan berdasarkan tahun pembangunannya. Adapun mutu material yang digunakan pada jembatan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**, **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3. 1 Kuat tekan minimum beton berdasarkan tahun pembangunannya

Tahun Pembangunan Jembatan	Beton Bertulang	Beton Pratekan
	Kuat Tekan MPa	Kuat Tekan MPa
Sebelum 1970	20	Tidak ada
Sesudah 1970	22	35

(Sumber : Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting, 2019)

Tabel 3. 2 Kuat Tarik baja prategang

Tahun Pembangunan	Tensile Strength, f_{pu} MPa
Sebelum 1970	Tidak ada
Sesudah 1970	1725

(Sumber : Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting, 2019)

Tabel 3. 3 Kuat tarik baja tulangan berdasarkan tahun pembangunan

Tahun Pembangunan Jembatan	Tegangan leleh baja tulangan MPa
Sebelum 1970	210
Sesudah 1970	230

(Sumber : Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting, 2019)

3.1.2 Bagian Struktur konstruksi jembatan.

Konstruksi jembatan beton memiliki 3 bagian struktur utama, yaitu struktur bagian atas, struktur bagian bawah, dan pondasi jembatan.

1. Struktur bagian atas jembatan merupakan bagian struktur yang memiliki peran sebagai penerima beban langsung seperti beban sendiri, beban lalu lintas kendaraan, dan beban pejalan kaki. Struktur bagian atas jembatan dapat berupa:
 - a. Plat lantai jembatan.
 - b. Trotoar.
 - c. Tiang sandaran.
 - d. Gelagar memanjang / Girder.
 - e. Gelagar melintang / Diafragma.
 - f. Slab lantai kendaraan.
2. Struktur bagian bawah jembatan merupakan bagian struktur yang memiliki peran menyalurkan semua beban dari struktur bagian atas dan beban lain yang dapat muncul seperti tekanan tanah, aliran sungai, gesekan pada tumpuan dan sebagainya yang kemudian disalurkan ke struktur pondasi jembatan. Struktur bagian bawah dapat berupa :
 - a. Abutment jembatan.
 - b. Pilar jembatan.
3. Struktur pondasi merupakan bagian struktur yang memiliki peran menyalurkan semua beban jembatan ke tanah dibawahnya. Perencanaan pondasi harus sesuai dengan lingkungan sekitar, kondisi tanah dan karakteristik beban sehingga sesuai dengan daya dukung yang telah dipersyaratkan.

3.1.3 Pembebanan Struktur Jembatan.

Dalam tahap perencanaan konstruksi jembatan, faktor pembebanan merupakan hal yang sangat penting dikarenakan diperlukan standar khusus yang dijadikan sebagai dasar dan pedoman dalam perencanaan pembebanan. Di

Indonesia, standar perencanaan pembebanan untuk konstruksi jembatan berpedoman pada SNI 1725 – 2016 yang berisi tentang pembebanan untuk konstruksi jembatan. Beban pada jembatan dapat dibagi menjadi :

1. Beban Mati

Beban mati jembatan merupakan jumlah berat dari setiap komponen struktural dan non – struktural pada konstruksi jembatan. Setiap komponen dianggap menjadi suatu kesatuan aksi yang tidak dapat dipisahkan pada saat menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi.

Massa setiap bangunan dihitung berdasarkan ukuran dimensi yang termuat dalam gambar kerja yang disertai dengan berat jenis material yang digunakan. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai material dapat dilihat pada **Tabel 3.4** berikut ini.

Tabel 3. 4 Berat isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt, or clay</i>)	17,2
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7
5	Aspal beton (<i>asphalt concrete</i>)	22,0
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6
7	Beton $f'_c < 35$ Mpa	22,0-25,0
	$35 < f'_c < 105$ Mpa	$22 + 0,022 f'_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5
9	Kayu (<i>ringan</i>)	7,8
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0

(Sumber : SNI 1725 – 2016)

Berat sendiri (MS) merupakan berat dari bagian struktur yang ditinjau dan elemen - elemen struktural lainnya yang dipikul. Termasuk berat material dan bagian struktur jembatan, serta ditambah dengan elemen non - struktural yang

dianggap tetap. Adapun faktor beban untuk berat sendiri dapat dilihat pada **Tabel 3.5** berikut.

Tabel 3. 5 Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^s)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^s)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber: SNI 1725-2016)

2. Beban mati tambahan (MA).

Beban mati tambahan pada jembatan didefinisikan sebagai berat total material yang membentuk kesatuan beban pada struktur jembatan, yang bersifat elemen non-struktural, serta magnitudonya dapat mengalami variasi seiring dengan bertambahnya usia jembatan.

Tabel 3. 6 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^s)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 (1)	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾ Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

(Sumber: SNI 1725-2016)

3. Beban hidup

Beban hidup jembatan merupakan semua beban yang muncul akibat penggunaan jembatan, seperti beban lalu lintas kendaraan yang disesuaikan dengan peraturan pembebanan jembatan yang berlaku.

a. Beban Lajur “D” (TD).

Beban pada lajur "D" didefinisikan sebagai beban yang terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang dikombinasikan dengan beban garis terpusat. Adapun faktor beban untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada **Tabel 3.7** berikut.

Tabel 3. 7 Faktor beban untuk beban lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ^s_{TD})	Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{TD})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725-2016)

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas q kPa dengan besaran nilai q yang bergantung pada panjang total yang terbebani (L), dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ M} = 9,0 \text{ kPa} \quad (3. 1)$$

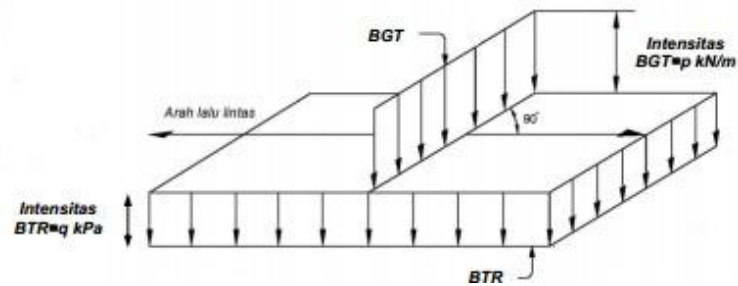
$$\text{Jika } L \geq 30 \text{ M} = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3. 2)$$

Keterangan :

Q : Nilai intensitas beban terbagi rata (BTR) arah memanjang jembatan (kPa).

L : Panjang total jembatan yang terbebani (m).

Adapun gambar mengenai Beban lajur “D” dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3. 1 Beban lajur "D"
(Sumber: SNI 1725-2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan nilai intensitas q Kn/m harus diletakkan secara tegak lurus terhadap arah lalu lintas kendaraan diatas jembatan.

b. Beban truk "T" (TT).

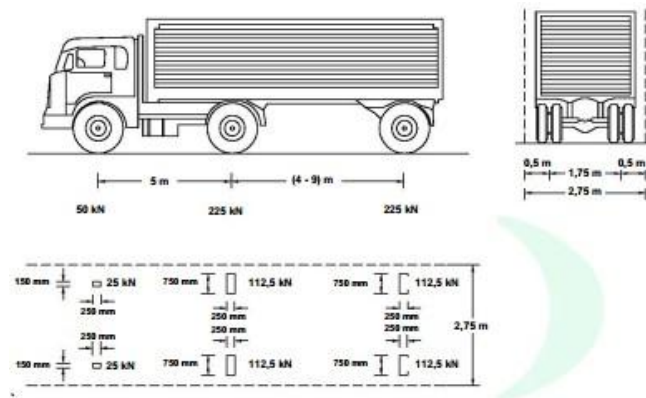
Beban truk "T" tidak bisa digunakan secara bersamaan dengan beban "D". Beban truk bisa digunakan untuk analisis perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" dapat dilihat pada **Tabel 3.8** berikut.

Tabel 3. 8 Faktor beban untuk beban "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		Keadaan Batas Layan (γ^s_{TT})	Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{TT})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725-2016)

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer dengan susunan serta berat gandar yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3. 2 Pembebanan Truk “T” (500 Kn)

(Sumber: SNI 1725-2016)

c. Gaya Rem (TB).

Gaya rem harus diambil dengan nilai terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau
- 5% dari berat truk rencana dengan pembebanan lajur terbagi rata (BTR).

Gaya rem tersebut harus diletakkan di semua lajur rencana yang dibebani arus lalu lintas kendaraan dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan dapat bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing – masing arah longitudinal, setelah itu dipilih yang paling menentukan.

d. Beban Pejalan Kaki (TP).

Beban pejalan kaki diterapkan pada trotoar dengan lebar melebihi 600 mm, dengan intensitas sebesar 5 kPa, dan diasumsikan beroperasi secara simultan dengan beban lalu lintas kendaraan. Apabila terdapat potensi konversi trotoar menjadi jalur kendaraan di masa mendatang, maka beban hidup diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam dinding parapet.

e. Kombinasi Beban dan faktor beban

Kombinasi pembebanan digunakan untuk menganalisis gabungan beberapa jenis beban yang bekerja secara bersamaan pada struktur jembatan. Hal ini bertujuan untuk memperoleh kondisi pembebanan

paling kritis yang digunakan dalam analisis dan evaluasi struktur. Pada kombinasi pembebanan, beban truk (TT) dan beban lajur (TD) tidak dapat dijalankan secara bersamaan. Adapun kombinasi beban dan faktor beban dapat dilihat pada **Tabel 3.9** berikut

Tabel 3.9 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatig (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber : Pembebanan untuk jembatan SNI 1725 : 2016)

3.1.4 Kelayakan Struktur dan metode pemeriksaan jembatan

Kelayakan struktur jembatan dapat diartikan sebagai kemampuan struktur jembatan untuk beroperasi sesuai dengan fungsi yang direncanakan sesuai dengan rentang usia pelayanannya, dengan memperhatikan berbagai faktor seperti beban lalu lintas kendaraan, perubahan lingkungan, dan kondisi geologi tempat jembatan berada.

Dalam identifikasi kelayakan struktur jembatan terdapat beberapa metode pengujian yang dapat digunakan. Pengujian tersebut dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pengujian dengan metode destruktif dan metode pengujian non destruktif. Contoh dari pengujian dengan metode destruktif yaitu pengujian pembebanan, sedangkan contoh dari pengujian dari metode non destruktif yaitu pengujian getaran. Menurut pedoman Konstruksi dan Bangunan (2002), Pengujian menggunakan metode non destruktif seperti pengujian getaran sering sekali digunakan dalam pengidentifikasian kelayakan jembatan karena bersifat lebih

ekonomis dan tidak merusak struktur dibandingkan dengan cara uji pembebanan. Adapun penilaian kerusakan struktur menggunakan pengujian getar pada struktur jembatan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D_{relatif} = \frac{(F_{teoritis} - F_{aktual})}{F_{teoritis}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan :

- $D_{relatif}$: Nilai kerusakan relatif (%)
- F_{aktual} : frekuensi alami struktur (Hz) yang didapat melalui pengukuran lapangan dan diolah menggunakan metode HVSR.
- $F_{teoritis}$: frekuensi alami teoritis (Hz) yang didapat melalui analisis pada software SAP2000.

Setelah didapatkan Nilai kerusakan relatif, nilai tersebut akan disesuaikan dengan kriteria penilaian kondisi jembatan yang terdapat pada **Tabel 3.10** berikut.

Tabel 3. 10 Kriteria Penilaian kondisi Bangunan Atas Jembatan

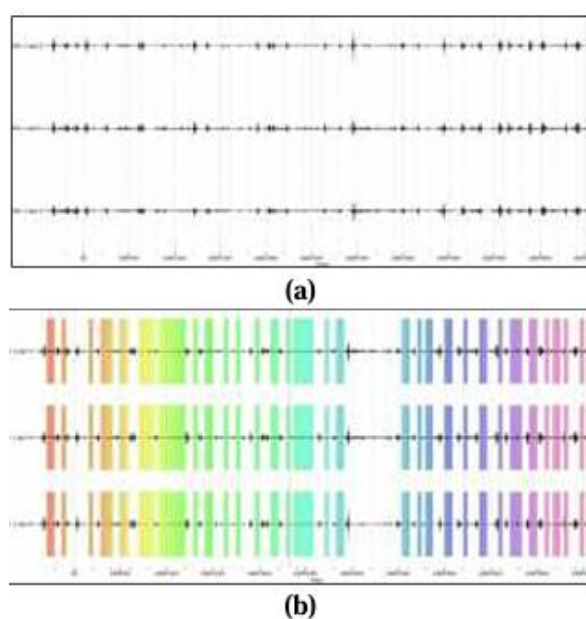
Nilai Kondisi	Jenis Kerusakan	Nilai Kerusakan relatif D_{rel}	Nilai penurunan kapasitas D_{cap}
baik	utuh	0%- 5%	0%- 10%
cukup	rusak ringan (non struktural)	6%- 10%	11 - 20%
sedang	rusak ringan (struktural)	11%- 17%	21% - 34%
buruk	rusak berat (struktural)	18% - 20%	35% - 40%

(Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pt – 05 – 2002 – B)

3.2 Mikrotremor

Mikrotremor atau *Ambient Vibration* merupakan getaran tanah yang bersumber dari aktivitas alam seperti terpaan angin, guncangan, ataupun gelombang. Getaran tersebut juga dapat bersumber dari aktivitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, kegiatan industry dan lain sebagainya. Mikrotremor memiliki amplitude yang sangat kecil sehingga manusia sering tidak dapat merasakannya secara langsung, namun bisa dideteksi oleh alat yang sensitive terhadap getaran seperti seismometer. Pengukuran mikrotremor berfungsi untuk mengetahui sifat

getaran tanah, hal ini dapat terjadi dikarenakan mikrotremor berkaitan sangat erat dengan kondisi struktur tanah dan keadaan dibawah permukaan tanah (Nakamura, 2000). Pada saat pengambilan data mikrotremor untuk identifikasi kelayakan struktur jembatan, titik harus ditempatkan di struktur atas dan struktur bawah jembatan untuk memperoleh nilai frekuensi natural yang diolah menggunakan metode HVSR. Adapun contoh gambar hasil pengambilan data mikrotremor pada struktur jembatan dapat dilihat pada **Gambar 3.3** Berikut.



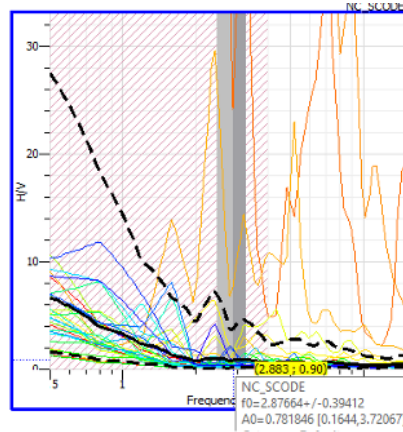
Gambar 3. 3 Hasil mikrotremor di lapangan. (a) Data Lapangan, (b) Hasil picking Lapangan.

(Sumber : Oky Dwi Syaputra dkk (2019))

3.3 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio

Metode HVSR adalah metode yang berfungsi sebagai indikator struktur bawah tanah dengan menghasilkan spektrum mikrotremor yang disertai dengan puncak spektrum perdominannya. Terdapat parameter yang memberikan informasi karakteristik dinamik dan struktur lapisan bawah tanah, yaitu Nilai frekuensi perdominan (f_g) dan faktor amplifikasi tanah (A_g) (Nakamura, 2000). Nilai dari metode ini juga dapat dimanfaatkan untuk menganalisis nilai percepatan getaran maksimum, frekuensi natural dan amplitudo. Metode HVSR memanfaatkan tiga komponen arah gelombang, yang terdiri dari satu komponen vertikal dan dua

komponen horizontal. Adapun **Gambar 3.4** mengenai Grafik HVSR dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Tampilan Grafik H/V
(Sumber : Adib M. & Rini K., (2020))

Data mikrotremor yang telah diambil di lapangan langsung menggunakan alat seismograf akan diolah dan dianalisis menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Data mikrotremor yang didapat berupa tiga komponen getaran, yaitu komponen horizontal timur-barat (EW), komponen horinzontal utara-selatan (NS), dan komponen vertikal atas – bawah. Lalu data mikrotremor tersebut dapat diolah dan dihitung menggunakan **Persamaan 3.4** berikut.

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{\sqrt{((S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2)}{S_{vertikal}} \quad (3. 4)$$

Keterangan :

- T_{SITE} : Rasio spektrum mikrotremor
 $S_{utara-selatan}$: Sinyal horizontal dengan arah utara – selatan
 $S_{timur-barat}$: Sinyal horizontal dengan arah timur-barat
 $S_{vertikal}$: Sinyal vertikal

3.4 Frekuensi Natural dan Periode Getar Alami Struktur Jembatan

Menurut Zaki mutaram, dkk (2022) Frekuensi natural atau frekuensi dominan merupakan suatu kesatuan struktur yang memiliki kekakuan dan massa bergerak saat diberikan gaya awal kemudian gaya tersebut dihilangkan sehingga

mengakibatkan struktur bergetar secara bebas. Frekuensi natural ini ditentukan oleh properti fisik dari struktur, yaitu massa dan kekakuan. Jumlah gelombang yang terjadi setiap detiknya dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{f_n} T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.5)$$

Keterangan :

F_0 : frekuensi natural/alami. (Hz)

k : kekakuan dari struktur

m : massa dari struktur

Menurut Zaki mutaram,dkk (2022), Periode getaran alami merupakan Waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali getaran lengkap dari suatu getaran saat terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali lagi ke posisi asli. Periode getar alami yang terjadi pada struktur jembatan menggambarkan setiap getaran akan bergantung pada massa dan kekakuan dan saling berhubungan dengan frekuensi getaran alami. Periode getaran alami dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_n} = \frac{1}{f_0} T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad (dt) \quad 3.6$$

Keterangan :

T_n : periode getaran alami (detik)

W : jumlah berat seluruh bangunan jembatan. (kN)

3.5 Frekuensi Teoritis

Frekuensi teoritis merupakan frekuensi saat struktur jembatan mengalami getaran secara alami tanpa dipengaruhi gaya atau gangguan dari luar. Setiap struktur yang memiliki massa dan kekakuan tertentu akan menimbulkan frekuensi alami struktur. Oleh karena itu perlu diketahui nilai frekuensi teoritis dari sebuah struktur untuk menghindari resonansi struktur, yaitu kondisi ketika frekuensi beban eksternal memiliki besaran nilai yang sama atau mendekati nilai frekuensi alami

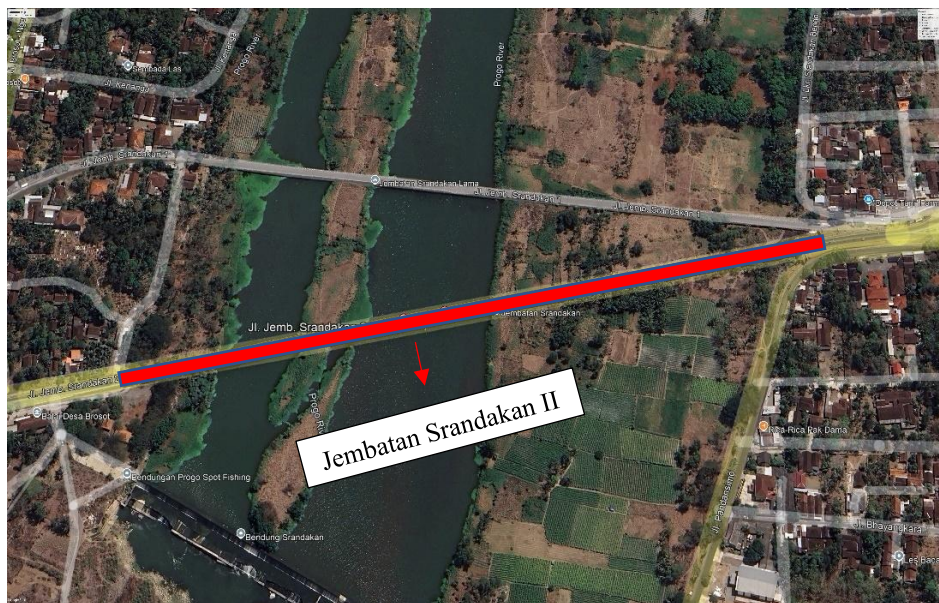
struktur, yang dimana hal tersebut dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Nilai frekuensi teoritis diperoleh melalui perhitungan dan permodelan struktur jembatan dengan bantuan *software* SAP2000.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

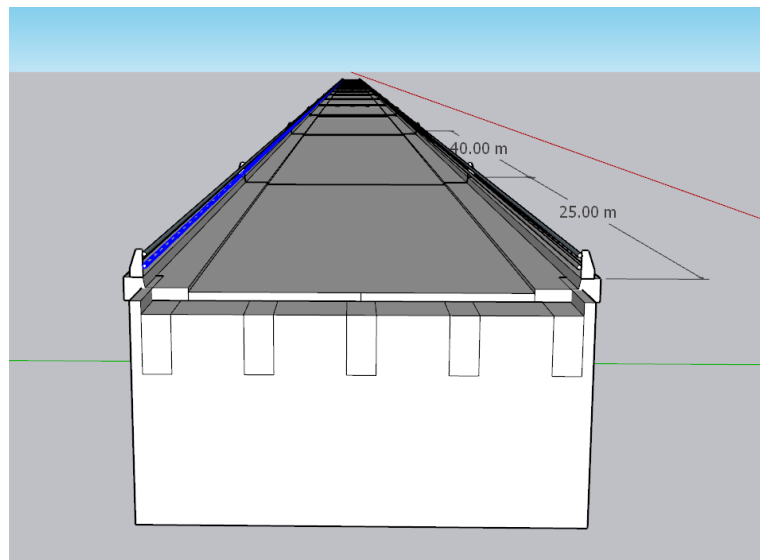
Penelitian ini akan dilaksanakan di Jembatan Srandakan II, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jembatan ini berada tepat diatas sungai Progo dengan lebar jalan sebesar 8 meter dan panjang bentang sebesar 635 meter. Jembatan srandakan II merupakan jembatan dengan struktur girder beton. Adapun gambaran mengenai lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5** berikut.



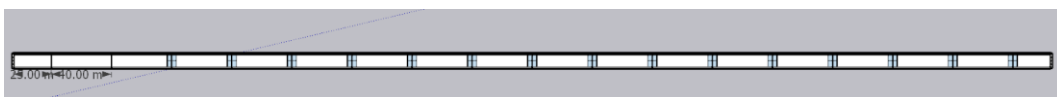
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Jembatan Srandakan II



Gambar 4. 2 Jembatan Srandakan II
(Sumber : www.facebook.com)



Gambar 4. 3 Gambar 3D Tampak depan Jembatan Srandakan



Gambar 4. 4 Gambar 3D Tampak Atas Jembatan Srandakan II



Gambar 4. 5 Gambar 3D Tampak Memanjang Jembatan Srandakan II

4.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan antara lain :
 - a. *Geopsy* berfungsi untuk menganalisis sinyal mikrotremor yang telah ditangkap di lapangan dan diolah menjadi kurva H/V.
 - b. *AutoCAD 2021* untuk membuat gambar teknik dan pembuatan titik dari jembatan yang ditinjau dalam penelitian.
 - c. *Microsoft Excel* untuk perhitungan dan mengolah data.
 - d. *Microsoft Word* untuk penyusunan laporan penelitian.
 - e. *SAP2000* untuk permodelan dan analisis frekuensi teoritis dari jembatan yang ditinjau dalam penelitian.
 - f. *Sketchup Pro 2022* untuk permodelan 3 Dimensi Jembatan Srandakan II.
2. Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan antara lain :
 - a. *Blue Suitcase* untuk perekaman dan pengumpulan getaran yang terjadi pada struktur jembatan.
 - b. *Triton 5s* untuk memproses data getaran yang didapatkan di lapangan.
 - c. Laptop untuk penghubung serta analisis data.
 - d. *Wi-Fi antena* (apabila menggunakan jaringan *Wi-Fi*) atau *Ethernet Cable* (apabila menggunakan koneksi LAN) untuk penghubung antar instrument
 - e. *Flashdisk U SB* untuk menyimpan data penelitian.
 - f. *Battery* untuk sumber daya energi.
 - g. Lembar checklist titik pengambilan data mikrotremor jembatan.
 - h. Jam tangan untuk mengukur waktu pengambilan data mikrotremor.
 - i. *Handphone* untuk mengambil dokumentasi di lapangan.
 - j. Meteran panjang 50 m untuk mengukur profil dan bentang antar pilar jembatan.

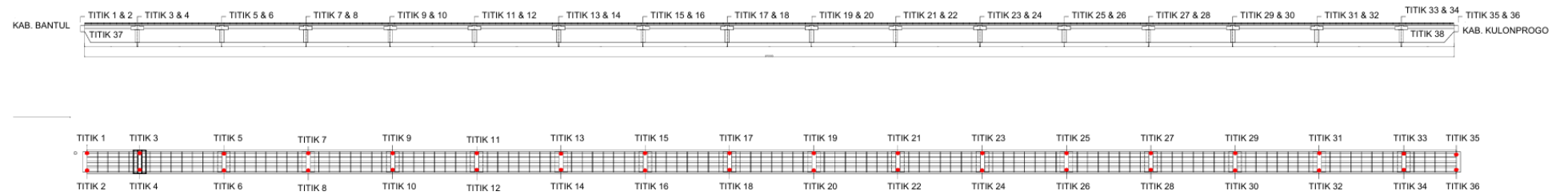
4.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengambilan data mikrotremor pada struktur jembatan yang ditinjau dalam penelitian. Penentuan titik rencana yaitu di atas pilar sebanyak 32 titik, 4 titik pada abutment jembatan dan 2 titik pada tanah di sekitar jembatan. Pengambilan data

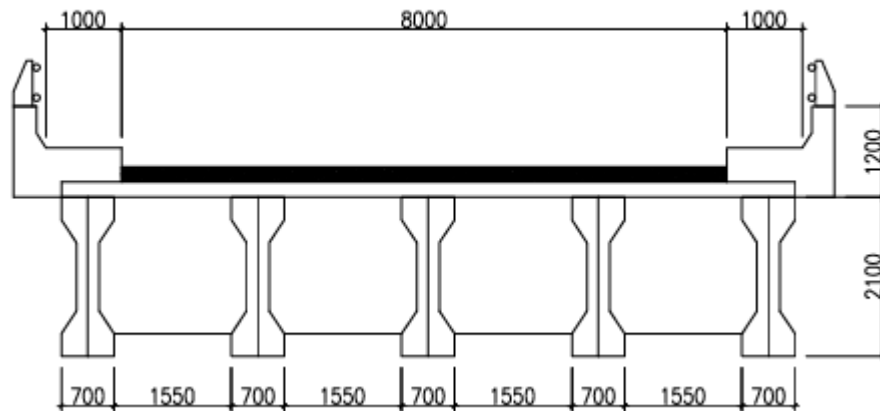
mikrotremor diatas pondasi tidak memungkinkan dikarenakan arus sungai progo yang sangat deras dan letak pondasi pilar yang dalam. Pengambilan data mikrotremor pada titik yang telah ditentukan menggunakan bantuan alat *Digital Seismograph Triton 5s*. Adapun tahapan proses pengumpulan data antara lain :

1. Tahap Survei lapangan.

Tahap survei lapangan memiliki tujuan untuk mengetahui profil jembatan yang diukur menggunakan meteran dan kondisi lingkungan disekitar jembatan yang ditinjau. Data yang digunakan dalam penelitian didapatkan melalui pengambilan data secara langsung di lapangan dengan menyesuaikan titik rencana untuk mendapatkan data mikrotremor jembatan. Perencanaan titik pengambilan data mikrotremor menyesuaikan dengan kondisi lingkungan di sekitar, sehingga didapatkan titik rencana pengambilan data sebanyak 32 titik, 4 titik pada abutment jembatan dan 2 titik pada tanah di sekitar jembatan. Adapun gambar titik rencana pengambilan data mikrotremor dan profil jembatan dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7** berikut.



Gambar 4. 6 Titik Pengambilan Data Mikrotremor Jembatan Srandakan II



Gambar 4. 7 Profil Jembatan Srandakan II

2. Tahap pengambilan data.

Pada tahap pengambilan data, pengambilan data akan dilakukan pada tiap titik yang telah direncanakan dengan pengukuran sinyal mikrotremor selama ± 30 menit menggunakan frekuensi sampling 100 Hz. Data akan didapatkan melalui getaran yang terjadi pada struktur jembatan dan tercatat oleh alat, hasil yang diperoleh dari pengukuran berupa 3 jenis komponen getaran. Selanjutnya data – data yang telah didapatkan akan diolah menggunakan *software Geopsy* untuk memperoleh beberapa parameter yang diperlukan dalam penelitian ini. Dasar dalam pengambilan data ini mengikuti Pedoman Konstruksi dan Bangunan “Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas dengan Uji Getar” pt T-05-2002-B.

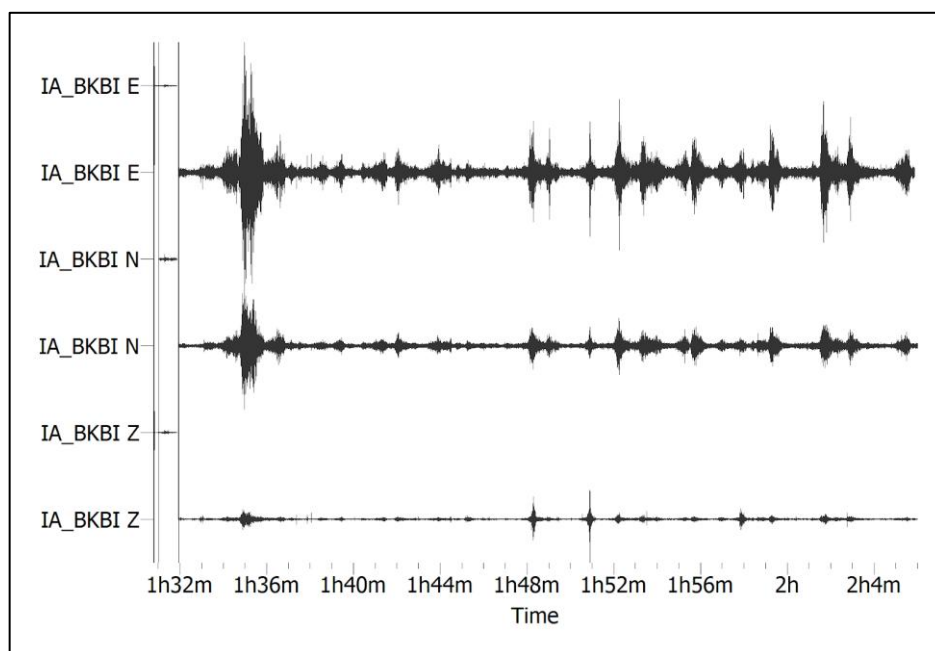
4.4 Pengolahan data

Data yang diperoleh melalui pengukuran mikrotremor pada struktur jembatan selanjutnya akan diinputkan ke dalam perangkat lunak Geopsy. Selanjutnya, saluran dipilih sesuai dengan format data mikrotremor. Kemudian, tekan opsi input pada jendela *SeedLink*, dan perangkat lunak Geopsy akan secara otomatis memproses data sinyal yang telah diperoleh. Kurva HVSR akan didapatkan dengan menyesuaikan *windows* untuk memilah beberapa parameter secara otomatis. Apabila pengolahan secara otomatis menghasilkan kurva HVSR yang tidak cocok atau kurang bagus maka dapat dilakukan pemilahan secara manual atau filtering,

hal ini dilakukan untuk memisahkan nilai frekuensi yang diinginkan dan membuang frekuensi yang tidak diinginkan. Proses pengolahan data lanjutan dapat dilakukan melalui inversi terhadap hasil kurva H/V. Adapun penjelasan mengenai pengolahan data pada masing-masing parameter adalah sebagai berikut.

4.4.1 Pengolahan data mikrotremor

Data pengukuran mikrotremor yang telah diperoleh akan diproses menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Hasil dari pengukuran getaran tersebut akan menghasilkan tiga jenis komponen, yaitu komponen horizontal utara-selatan, horizontal timur-barat, dan vertikal. Ketiga komponen getaran ini akan disimpan dalam format SHN.mseed, SHZ.mseed, dan SHE.mseed. Sinyal mikrotremor dari 3 jenis komponen getaran dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut.



Gambar 4. 8 Sinyal Getaran Mikrotremor 3 Komponen

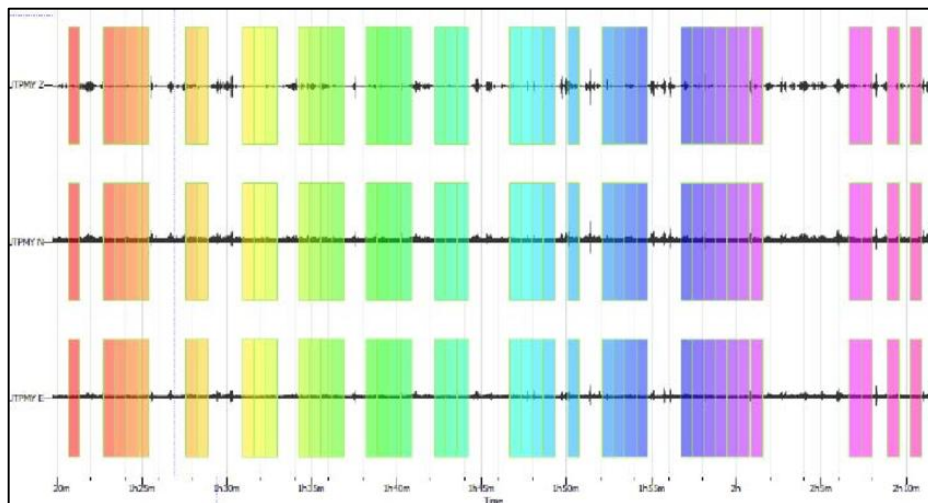
(Sumber : imgf.ub.ac.id.)

4.4.2 Perhitungan Frekuensi Natural (f_0).

Data mikrotremor yang telah diolah kemudian diolah kembali dengan menggunakan software Geopsy untuk memperoleh kurva H/V. Dari kurva H/V yang diperoleh akan menghasilkan parameter yang diperlukan, yaitu Frekuensi

Natural struktur jembatan. Selain frekuensi natural, kurva H/V juga menghasilkan beberapa parameter lain seperti Amplifikasi (A0) dan Peiode Dominan (T0). Tahapan dalam pengolahan data mikrotremor menggunakan software Geopsy dapat dilihat sebagai berikut.

1. *Install* dan jalankan *software Geopsy*, lalu tekan opsi file dan import signals, kemudian atur dan sesuaikan *seed stream* dengan IP *Instrument Wi-Fi* atau *Ethernet*.
2. Tekan *connect* lalu pilih channels dengan format data SHN, SHE, dan SHZ.
3. Pada windows seed link signal loader Geopsy, tekan start atau input data. Tekan tombol pada toolbar lalu software geopsy akan secara otomatis menyeleksi dan mengolah waktu rekaman sinyal. Adapun contoh dari pengolahan data rekaman sinyal getaran pada software Geopsy dapat dilihat pada **Gambar 4.9** berikut.

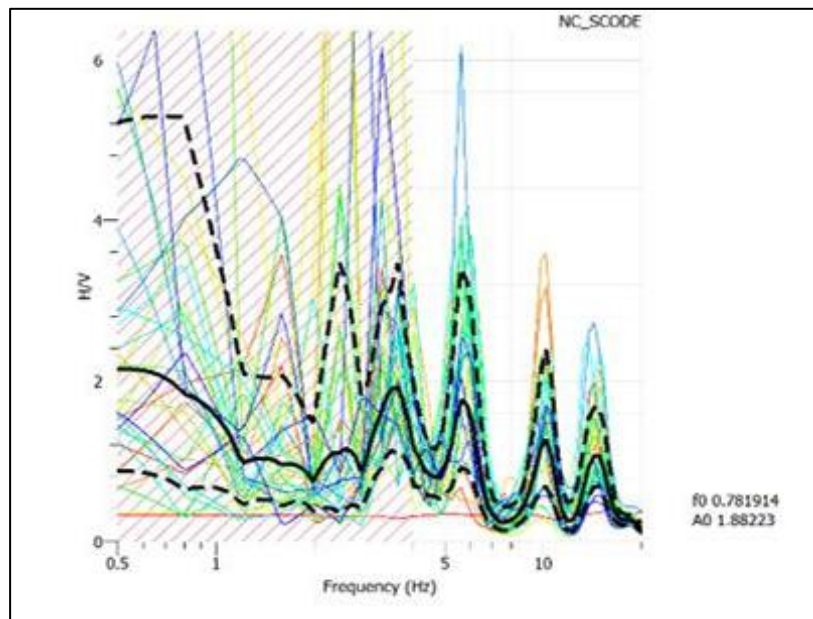


Gambar 4. 9 Contoh windowing sinyal mikrotremor

(Sumber : Siti Noor S. B, dkk (2022))

4. Kemudian *time window* yang berupa panjang (*length*) range waktu, yaitu waktu mulai dan waktu maksimum *window*. Setelah itu pilih 3 komponen data lalu klik kanan, pilih H/V. Selanjutnya pilih *exactly* pada kolom *length* kemudian *checklist* bagian *anti triggers on raw signals*, dan pilih *auto* pada kolom *select* lalu klik *start*.

5. Proses pengolahan data akan disesuaikan dengan windows untuk memilah parameter yang diperlukan secara otomatis. Tekan tombol start lalu software Geopsy akan memulai perhitungan HVSR.
6. Simpan hasil kurva H/V yang telah selesai diolah dengan menggunakan format *extension* HV. Adapun contoh hasil kurva H/V dapat dilihat pada **Gambar 4.10** berikut.



Gambar 4. 10 Kurva H/V

(Sumber : Adib M. & Rini K. (2020))

4.4.3 Perhitungan Frekuensi Teoritis.

Nilai frekuensi teoritis diperoleh melalui perhitungan dan permodelan struktur jembatan dengan bantuan *software* SAP2000. Adapun langkah langkah untuk menentukan frekuensi teoritis dapat dilihat pada langkah-langkah berikut ini.

1. Pengumpulan data
Yaitu pengumpulan data dari struktur jembatan yang ditinjau, dapat berupa data panjang dan lebar jembatan, geometri penampang jembatan, material dan beban dari struktur jembatan. Data yang didapatkan harus disesuaikan dengan standar pembebanan jembatan yang berlaku.
2. Permodelan struktur

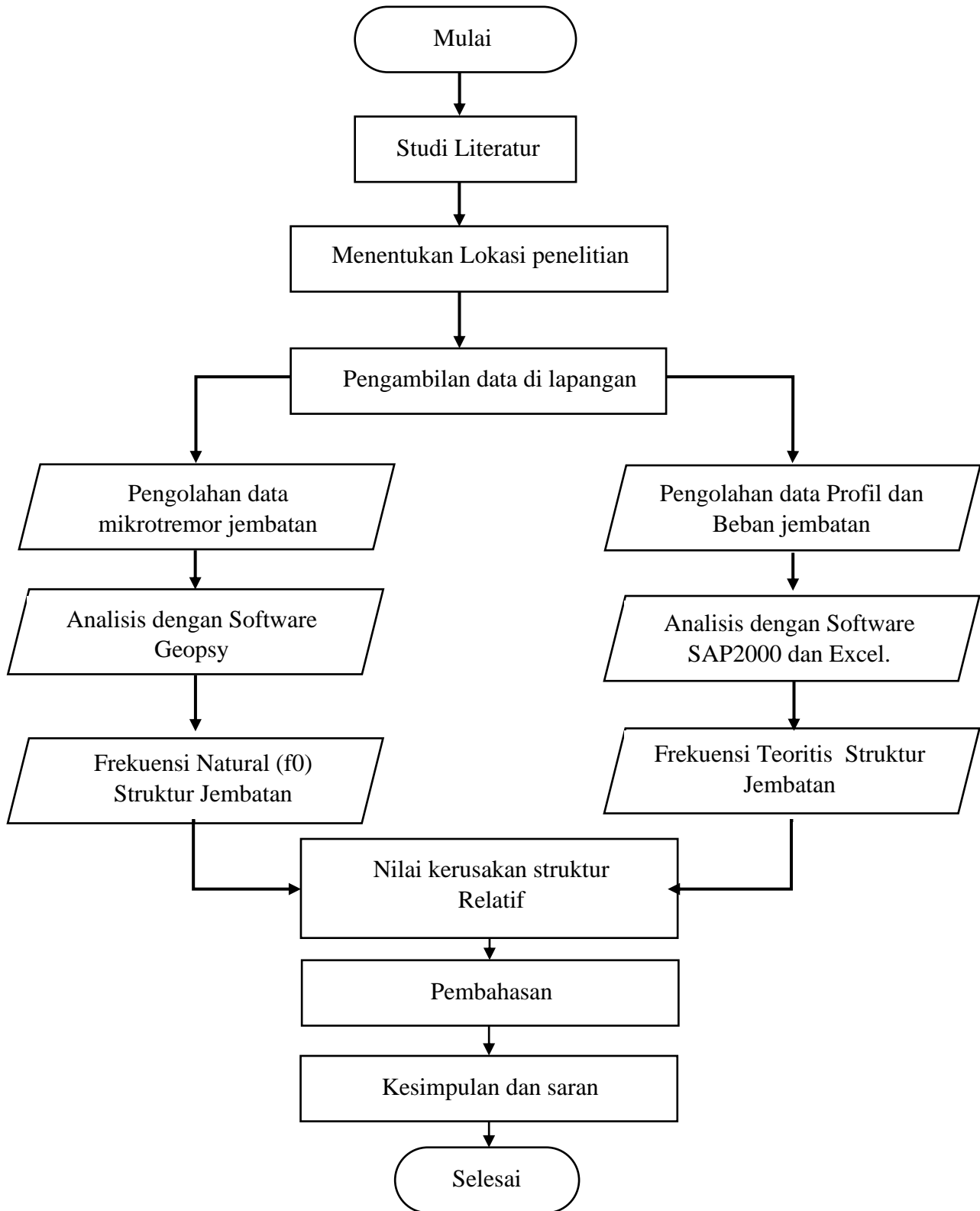
- a. Buka software SAP2000 lalu pilih satuan yang akan digunakan, satuan yang digunakan dapat berupa kilonewton (kN), meter (m), dan lain – lain.
 - b. Buat permodelan sesuai dengan pengukuran data geometris yang telah dilakukan.
 - c. Menentukan material yang digunakan sesuai dengan jembatan yang ditinjau dengan melalui Opsi *Define – Material*.
 - d. Menentukan properties penampang struktur jembatan seperti kolom atau balok jembatan, melalui opsi *Define – Section properties*.
 - e. Menggambar elemen – elemen struktur untuk permodelan melalui opsi *Draw*, harus disesuaikan dengan data jembatan yang telah didapatkan.
3. Penentuan pembebanan dan *Boundary Conditions*
- a. Menentukan beban sesuai dengan standar pembebanan jembatan yang berlaku seperti beban mati, beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa melalui opsi *Define – Load Patterns*.
 - b. Memasukkan beban yang telah ditetapkan pada elemen struktur yang telah dimodelkan, dilakukan melalui opsi *Assign – Loads*.
 - c. Menentukan *boundary conditions* berupa penentuan batas *joint* dan sambungan pada elemen struktur jembatan.
4. Analisis frekuensi teoritis.
- a. Melakukan analisis modal dengan opsi *Define – Analysis Cases – Modal*.
 - b. Melakukan pemilihan jumlah
 - c. Melakukan analisis melalui opsi *Analyze – Run Analysis*.
 - d. Setelah proses analisis selesai, hasil dari frekuensi teoritis struktur dan *mode shapes* struktur akan dapat dilihat.
5. Membuat visual *mode shapes*
- Untuk memperlihatkan atau membuat visual dari mode shapes struktur dapat dilakukan melalui opsi *Display – Show Deformed Shape*.

4.4.4 Nilai Kerusakan Struktural Relatif.

Dalam perhitungan nilai kerusakan struktural relatif diperlukan 2 parameter yang sudah diolah sebelumnya, yaitu Nilai frekuensi alami (f_0) dan frekuensi teoritis. Kedua parameter ini akan diolah menggunakan **Persamaan 3.14** untuk mendapatkan nilai kerusakan struktural relatif. Nilai kerusakan struktural relatif yang sudah didapatkan akan disesuaikan dengan Kriteria penilaian kondisi bangunan atas jembatan yang terdapat pada **Tabel 3.15** yang berdasarkan pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan “Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas Dengan Cara Uji Getar” Pt T-05-2002-B.

4.5 Diagram Alur Penelitian.

Adapun diagram alur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 4.11** berikut.



Gambar 4. 11 Diagram Alur Penelitian

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Gelombang Horizontal to Vertical Spectral Ratio

5.1.1 Pengambilan Data

Pengumpulan data mikrotremor dilaksanakan pada lokasi-lokasi yang telah ditetapkan di awal. Pada pengambilan data mikrotremor ini akan dilaksanakan proses perekaman getaran menggunakan perangkat perekam getaran *Microtremor Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s*. Titik yang diambil untuk pengambilan data mikrotremor dilakukan di bagian struktur atas jembatan, yaitu diatas setiap pilar dengan jumlah 32 titik, diatas tumpuan atau abutment dengan jumlah 4 titik dan di tanah sekitar jembatan dengan jumlah 2 titik. Setelah penentuan titik pengambilan data, selanjutnya dilakukan persiapan alat. Adapun proses persiapan alat dapat dilihat pada **Gambar 5.1** berikut.



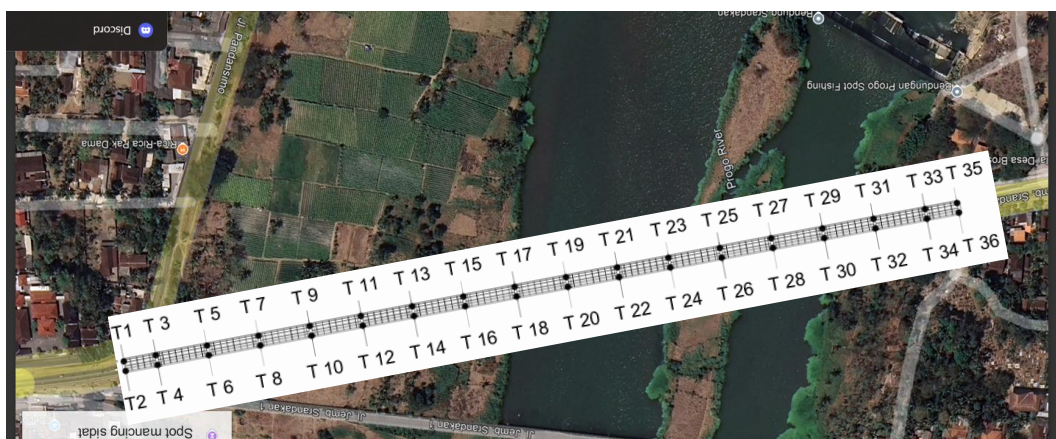
Gambar 5. 1 Persiapan Alat Mikrotremor

Langkah selanjutnya yaitu meletakkan perangkat pada permukaan yang datar untuk memastikan alat dapat sejajar dengan arah utara serta menyesuaikan keseimbangan kaki – kaki perangkat dengan nivo atau gelembung ditempatkan berada di titik tengah, setelah itu sambungkan kabel ethernet, antena Wi-Fi, GPS

dan baterai. Setelah semua komponen alat telah terpasang, alat sudah siap digunakan untuk pengambilan data mikrotremor. Proses pengambilan data mikrotremor pada tiap titik dilakukan selama kurang lebih 30 menit. Data yang dihasilkan dari perekaman alat *Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s* yaitu berupa data mentah yang mencakup tiga komponen arah gelombang seismik. Data tersebut disimpan dalam format file SHZ.mseed, SHE.mseed dan SHN.mseed.

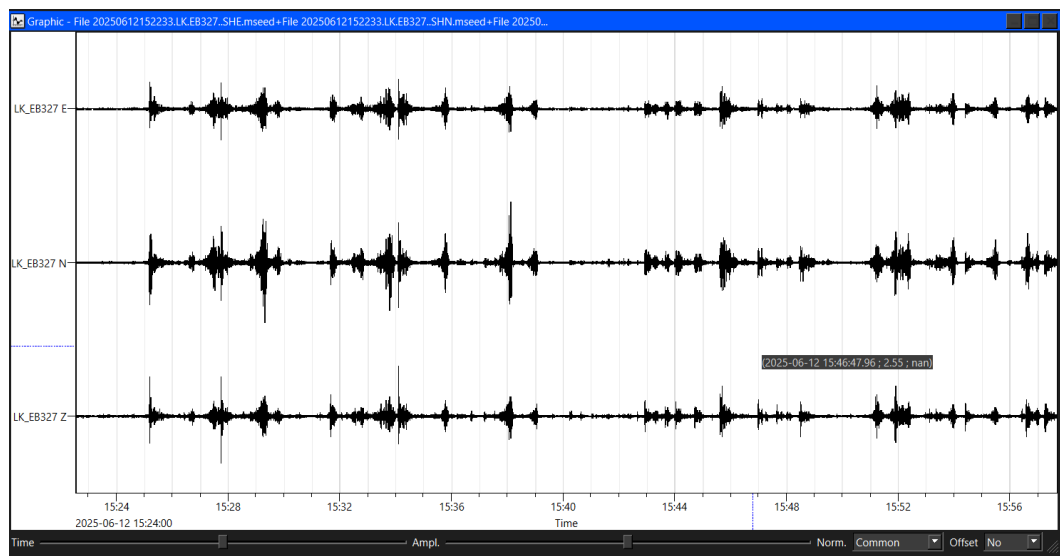
5.1.2 Analisis Data

Penelitian yang dilakukan pada Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo ini menghasilkan data berupa nilai frekuensi natural (f_0). Penelitian ini dilakukan pada 32 titik struktur atas jembatan, 4 titik pada abutment atau tumpuan dan 2 titik pada tanah sekitar jembatan. Adapun gambar pengambilan titik dapat dilihat pada **Gambar 5.2** berikut.



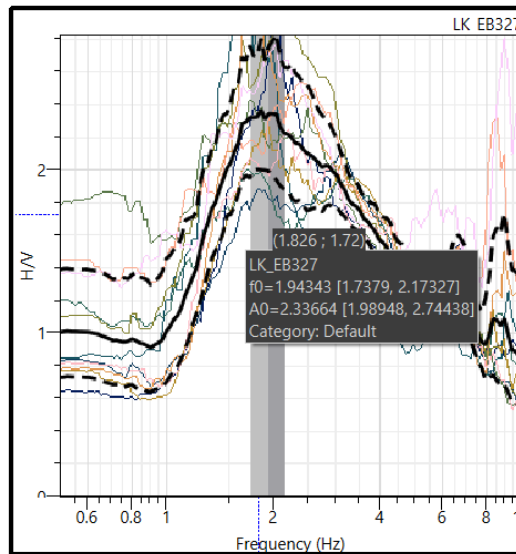
Gambar 5.2 Titik Pengambilan Data

Dari proses pengumpulan data mikrotremor di tiap titik yang telah ditentukan, akan dihasilkan data tiga arah gelombang seismik yang tersimpan dalam format SHZ.mseed, SHE.mseed dan SHE.mseed. Data yang telah didapat akan diolah dengan menggunakan *software Geopsy*, dari Software ini akan menghasilkan tiga grafik komponen gelombang, yaitu komponen vertikal, horizontal utara – selatan, dan horizontal timur - barat. Hasil pengolahan data dengan *software Geopsy* dapat dilihat pada **Gambar 5.3** berikut.



Gambar 5.3 Grafik Pengolahan Data Mikrotremor Titik 3

Setelah data tiga komponen gelombang seismik di input pada software Geopsy, dilakukan proses filtering option dan windowing untuk memilih gelombang yang tidak terganggu atau menghilangkan noise. Proses ini penting dilakukan dikarenakan saat pengambilan data di lapangan, getaran yang terekam tidak hanya berasal dari struktur jembatan, namun juga berasal dari aktivitas sekitar jembatan seperti lalu lintas kendaraan. Proses seleksi tiga komponen atau windowing dilakukan secara otomatis dengan panjang grafik selama 20 detik, kemudian diikuti oleh penyaringan manual untuk menghilangkan noise gelombang yang tersisa. Contoh proses filtering dan windowing pada titik 3 dapat dilihat pada **Gambar 5.4** dan **Gambar 5.5** berikut.



Gambar 5. 6 Grafik HVSR titik 3

5.1.3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan

Hasil dari analisis nilai frekuensi natural (f_0) struktur jembatan yang diperoleh melalui olah data menggunakan *software Geopsy*. Pengambilan data dilakukan di beberapa titik pada struktur jembatan yang telah ditentukan, kemudian diolah menggunakan *software Geopsy* dan diambil kurva HVSR. Dari hasil analisis Kurva HVSR pada tiap titik struktur jembatan Srandakan II dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 5. 1 Nilai Frekuensi Natural Jembatan Srandakan II

Titik	Posisi	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)
1	Struktur Atas jembatan	1,898
3		1,943
4		2,463
5		1,948
6		2,146
7		1,765
8		1,916
9		1,642
10		1,894
11		1,623

Lanjutan Tabel 5,1 Nilai Frekuensi Natural Jembatan Srandakan II

Titik	Posisi	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)
12		1.413
13		1.336
14		1.639
15		1.591
16		1.531
17		1.463
18		1.650
19		1.328
20		1.261
21		1.822
22		0.560
24		2.550
26		2.507
27		2.090
28		1.280
30		1.747
31		2.082
32		1.809
34		1.623
36		2.504

5.2 Analisis Frekuensi Teoritis Jembatan

5.2.1 Analisis Pembebanan

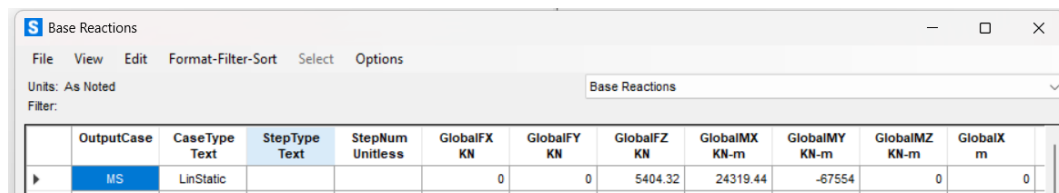
Analisis pembebanan dilaksanakan guna menentukan respons dinamik struktur jembatan. Pembebanan pada jembatan mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 1725 – 2016, yang mencakup beban mati, beban hidup, serta beban dinamik. Analisis dilakukan dengan software SAP2000, dari hasil analisis ini didapatkan nilai frekuensi teoritis dari struktur jembatan. Perhitungan pembebanan jembatan berdasarkan pedoman SNI 1725 – 2016 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Beban Mati

Beban mati pada jembatan merupakan jumlah berat dari setiap komponen struktural dan non – struktural pada konstruksi jembatan.

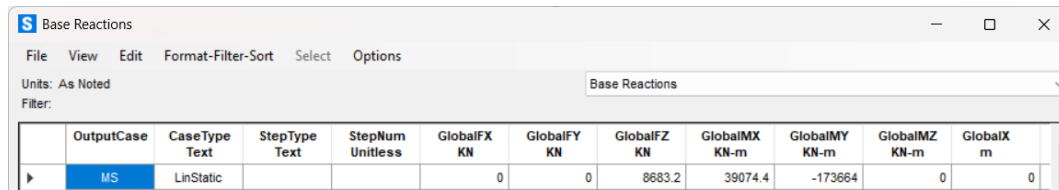
a. Berat Mati Sendiri (MS).

Berat sendiri merupakan berat dari bagian struktur yang ditinjau dan elemen – elemen struktural lainnya yang dipikul. Hasil berat mati sendiri didapatkan melalui software SAP2000 sebesar 8683,2 kN untuk bentang 40 meter dan 5404,32 kN untuk bentang 25 meter. Adapun gambar hasil analisis Berat Sendiri (MS) melalui SAP2000 dapat dilihat pada **Gambar 5.7** dan **Gambar 5.8** berikut.



OutputCase	CaseType Text	StepType Text	StepNum Unitless	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m
MS	LinStatic			0	0	5404.32	24319.44	-67554	0	0

Gambar 5. 7 Output Beban Mati Sendiri (MS) bentang 25 meter



OutputCase	CaseType Text	StepType Text	StepNum Unitless	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m
MS	LinStatic			0	0	8683.2	39074.4	-173664	0	0

Gambar 5. 8 Output Beban Mati Sendiri (MS) bentang 40 meter

b. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan jembatan merupakan berat seluruh material yang membentuk kesatuan beban yang merupakan elemen non – struktural. Adapun proses perhitungan beban mati tambahan dapat dilihat sebagai berikut.

1) Lapisan Aspal + Overlay.

$$\text{Tebal Aspal + Overlay} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Berat Jenis Aspal} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Beban Akibat Aspal} = 0,1 \times 22$$

$$= 2,2 \text{ kN/m}^2$$

Maka pada struktur Plat lantai jembatan akan diberi beban tambahan sebesar 2,2 kN/m².

Adapun perletakan beban mati tambahan lapisan aspal dapat dilihat **Gambar 5.9** berikut.

	A	B	C	D	E
5	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20
4	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20
3	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20
2	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20
1	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20	0.00, 0.00, -2.20

Gambar 5. 9 Beban lapisan Aspal dan overlay

2) Trotoar

Besar beban trotoar dihitung menjadi beban merata pada Balok yang terbebani trotoar.

$$\text{Tebal Trotoar} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Trotoar} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Berat Jenis Beton} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Beban akibat trotoar} &= 0,35 \times 1 \times 22 \\ &= 7,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan diatas, didapatkan nilai beban merata diatas bentang balok I – Girder sebesar 7,7 kN/m.

3) Pipa railing

Jembatan Srandakan memiliki dua baris pipa railing, beban pipa railing akan dijadikan beban merata sepanjang jembatan.

$$\text{Berat jenis pipa railing} = 0.04 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban akibat pipa railing} &= 2 \times 0.04 \text{ kN/m} \\ &= 0.08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Maka berat dari perhitungan beban railing, didapatkan nilai beban merata sebesar 0.08 kN/m.

4) Dinding Parapet

Jembatan Srandakan II memiliki dinding parapet yang membentang sepanjang jembatan, beban dinding parapet akan dijadikan menjadi beban merata.

$$\begin{aligned} \text{Volume Dinding Parapet} &= \text{Luas 1} + \text{Luas 2} \\ &= \left(\frac{0.65+0.85}{2} \times 0.125 \right) + 0.3 \times 1.2 \\ &= 0.45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis beton} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Beban akibat dinding parapet} &= 0.45 \times 22 \\ &= 9.98 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

5) Tiang sandaran pipa railing

Jembatan srandakan memiliki tiang sandaran berbentuk trapesium yang menyangga dua pipa railing jembatan dengan jarak tiap dua meter dan ketebalan 3 cm.

$$\begin{aligned} \text{Volume tiang} &= \text{Luas Trapesium} \times \text{Tebal} \\ &= \frac{0.6+0.2}{2} \times 0.25 \times 0.03 \\ &= 0.0030 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

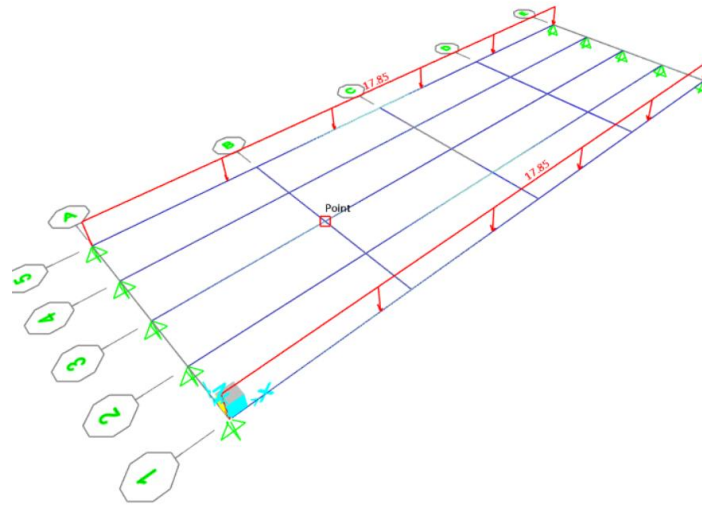
$$\text{Berat jenis tiang} = 76.96 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Berat Tiang merata} = \frac{(\text{Vol.Tiang} \times \text{Berat Jenis} \times \frac{L}{2})}{L}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Tiang merata 40 meter} &= \frac{(0.003 \times 76.96 \times \frac{40}{2})}{40} \\ &= 0.09 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Tiang merata 25 meter} &= \frac{(0.003 \times 76.96 \times \frac{25}{2})}{25} \\ &= 0.09 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban trotoar, pipa railing, dinding parapet, dan tiang sandaran dijumlahkan lalu ditempatkan diatas girder yang terbebani, adapun Gambar 3.10 dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5. 10 Beban Mati Tambahan total trotoar, pipa, dinding dan tiang sandaran

2. Beban Hidup

Pembebanan yang diakibatkan oleh aktivitas lalu lintas kendaraan di atas jembatan mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 1725-2016, yang mengatur pembebanan jembatan melalui kombinasi beban jalur, gaya pengereman, serta beban yang timbul dari pejalan kaki.

a. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR) yang digabungkan dengan Beban Garis Terpusat (BGT). Adapun perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

1) Beban Terbagi Rata (BTR)

Jembatan Srandakan II Kabupaten Bantul memiliki panjang bentang sebesar 40 meter dan 25 meter, maka beban terbagi rata (BTR) dapat dihitung sebagai berikut.

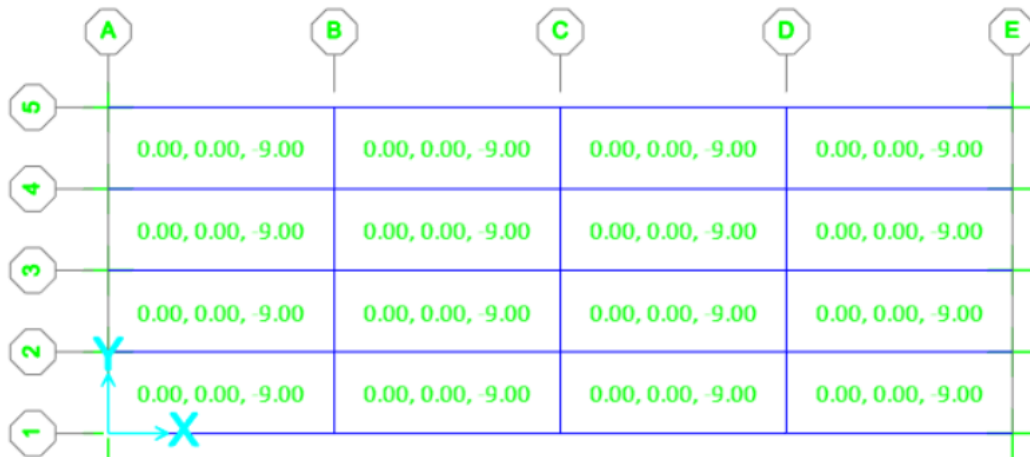
Jembatan bentang 40 meter, $L > 30$ m, maka menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} q &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \\ &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{40} \right) \end{aligned}$$

$$= 7.88 \text{ kN/m}^2.$$

Jembatan bentang 25 meter, $L < 30 \text{ m}$, maka nilai beban terbagi rata sebesar $9,0 \text{ kN/m}^2$.

Adapun perletakan Beban Terbagi Rata (BTR) dapat dilihat pada **Gambar 5.11** sebagai berikut.



Gambar 5. 11 Perletakan Beban Terbagi Rata (BTR)

2) Beban Garis Terpusat (BGT)

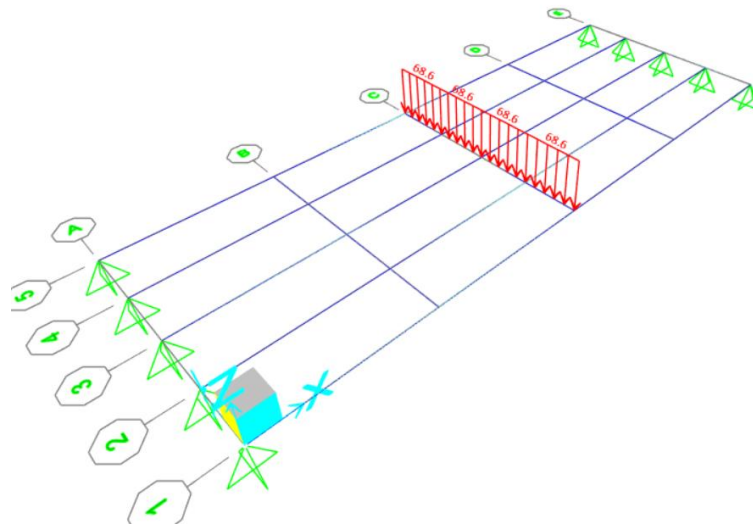
Beban garis terpusat (BGT) ditenpatkan secara tegak lurus terhadap arah lalu lintas kendaraan pada jembatan. Besar intensitas beban garis terpusat sebesar :

$$p = 49,0 \text{ kN/m}.$$

Terdapat penentuan nilai Faktor Beban Dinamis (FBD) digunakan pada seluruh bagian jembatan yang berada diatas permukaan tanah. Adapun perhitungan faktor beban dinamis (FBD) pada jembatan Srandakan II dengan panjang 40 meter dan 25 meter, maka sesuai dengan Pedoman SNI 1725 – 2016 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= FBD \times p \\ &= 140\% \times 49 \\ &= 68.6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Adapun perletakan Beban Garis Terpusat dapat dilihat pada **Gambar 5.12** berikut.



Gambar 5. 12 Perletakan Beban Garis Terpusat (BGT)

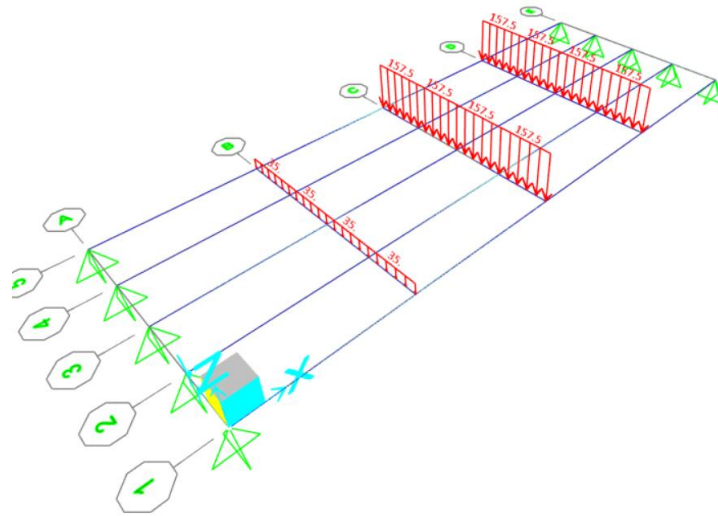
b. Beban Truk “T”

Pembebanan Truk “T” terdiri atas susunan dan berat gandar dari kendaraan truk semi – trailer. Berat dari tiap gandar dibagi menjadi beban merata dengan nilai sama besar.

$$\begin{aligned} \text{Roda Depan} &= 25 \times (1 + FBD) \\ &= 25 \times (1 + 0,4) \\ &= 35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gandar Depan dan Belakang} &= 112,5 \times (1 + FBD) \\ &= 112,5 \times (1 + 0,4) \\ &= 157,5 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Adapun Perletakan Beban Truk “T” dapat dilihat pada **Gambar 5.13** berikut.



Gambar 5. 13 Perletakan Beban Truk "T"

c. Gaya Rem (TB)

Gaya rem yang diambil yaitu sebesar 25% dari beban gandar truk desain atau 5% dari kombinasi beban truk desain dan beban terbagi rata (BTR).

Untuk Jembatan Bentang 40 meter :

$$\begin{aligned} \text{TB1} &= 25\% \times 225 \\ &= 56,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TB2} &= 5\% \times (TT + (BTR \times L \times B)) \\ &= 5\% \times (500 + (7.88 \times 40 \times 8)) \\ &= 151.00 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk Jembatan Bentang 25 meter :

$$\begin{aligned} \text{TB1} &= 25\% \times 225 \\ &= 56,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TB2} &= 5\% \times (TT + (BTR \times L \times B)) \\ &= 5\% \times (500 + (9 \times 25 \times 8)) \\ &= 115.00 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka, diambil nilai yang terbesar antara TB1 dan TB2, maka nilai yang diambil sebesar 151.00 kN dan 115.00 Kn.

Titik tangkap rem kendaraan (dihitung dari profil bawah jembatan)

$$\text{Y bentang 40 meter} = \frac{1}{2} \times H_{profil} \times t_{plat} \times t_{aspal} + 1,8$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.1 \times 0,3 \times 0,1 + 1,8$$

$$= 2,88 \text{ m}$$

$$\text{Y bentang 25 meter} = \frac{1}{2} \times H_{profil} \times t_{plat} \times t_{aspal} + 1,8$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.1 \times 0,3 \times 0,1 + 1,8$$

$$= 2.88 \text{ m}$$

Maka gaya rem yang terjadi pada jembatan adalah sebagai berikut

$$M_{TB} \text{ bentang 40 meter} = \frac{TB \times Y}{\text{jumlah joint}}$$

$$= \frac{151 \times 2,88}{10}$$

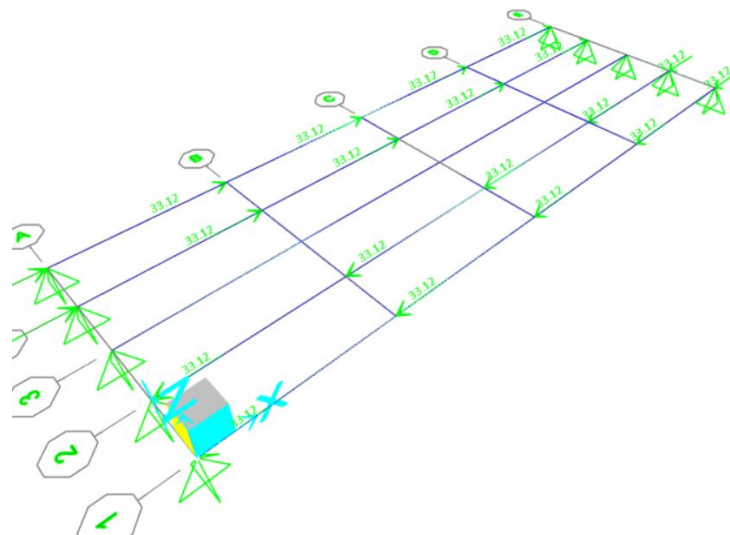
$$= 43.49 \text{ kN}$$

$$M_{TB} \text{ bentang 25 meter} = \frac{TB \times Y}{\text{jumlah joint}}$$

$$= \frac{115 \times 2,88}{10}$$

$$= 33.12 \text{ kN}$$

Adapun perletakan Gaya Rem dapat dilihat pada **Gambar 5.14** berikut.



Gambar 5. 14 Perletakan Gaya Rem (TB)

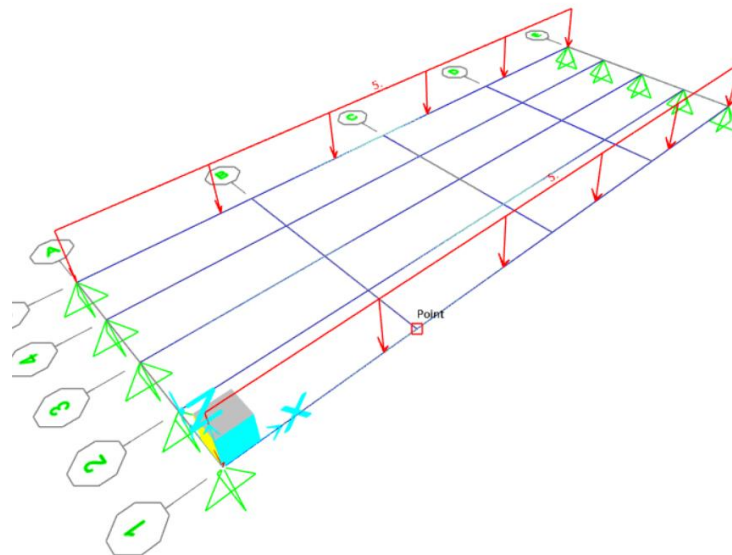
d. Beban Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki pada jembatan yang memiliki komponen trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm harus direncanakan menanggung beban

pejalan kaki sebesar 5 kPa, dan dapat dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan diatas jembatan, maka perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Lebar trotoar jembatan} &= 1 \text{ m} \\ q &= 5 \text{ kPa} \\ \text{Beban pejalan kaki} &= 1 \times 5 \\ &= 5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Adapun perletakan beban pejalan kaki (TP) dapat dilihat pada **Gambar 5.15** berikut.



Gambar 5. 15 Perletakan Beban Pejalan Kaki (TP)

e. Kombinasi Pembebanan dan Faktor Beban

Kombinasi beban dan faktor beban yang digunakan mengacu pada SNI 1725: 2016. Pada pedoman tersebut disebutkan bahwa beban Truk “TT” dan Beban Lajur “TD” tidak dapat dijalankan secara bersamaan. Pada permodelan yang akan dilakukan, kombinasi beban yang digunakan hanya Kombinasi Beban Kuat I (TT/TD) dan Kombinasi Layan I (TT/TD), sehingga terdapat 4 kombinasi pembebanan. Adapun kombinasi pembebanan dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Kuat I TD} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,8 \text{ TD} + 1,8 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP}$$

$$\text{Kuat I TT} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,8 \text{ TT} + 1,8 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP}$$

$$\text{Layan I TD} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,00 \text{ TD} + 1,00 \text{ TB} + 1,00 \text{ TP}$$

$$\text{Layan I TT} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,00 \text{ TT} + 1,00 \text{ TB} + 1,00 \text{ TP}$$

5.2.2 Permodelan Struktur Jembatan.

Dalam konteks pemodelan struktur jembatan, penelitian ini menggunakan perangkat lunak SAP2000. Pemodelan struktur jembatan melalui perangkat lunak SAP2000 melibatkan proses pembentukan model digital jembatan yang memungkinkan analisis terhadap stabilitas, kekuatan, serta respons dinamis struktur terhadap berbagai jenis beban. Berdasarkan data elemen struktur atas Jembatan Srandakan II yang diperoleh melalui pengukuran lapangan secara langsung, serta asumsi yang mengacu pada peraturan penentuan *Bridge Load Rating*, pemodelan struktur atas jembatan dapat diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000.

1. Membuat garis grid jembatan

Membuat garis grid jembatan pada software SAP2000 diperlukan untuk mempermudah dalam pemodelan jembatan yang dapat disesuaikan dengan data jembatan yang telah didapatkan. Adapun input pembuatan grid pada proses pemodelan struktur utama jembatan dapat dilihat pada **Gambar 5.16** berikut.

Define Grid System Data

System Name: GLOBAL

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	0	Primary	Yes	End	
B	5.5	Primary	Yes	End	
C	11	Primary	Yes	End	
D	16.5	Primary	Yes	End	
E	25	Primary	Yes	End	

Add
Delete

Y Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	0	Primary	Yes	Start	
2	2.25	Primary	Yes	Start	
3	4.5	Primary	Yes	Start	
4	6.75	Primary	Yes	Start	
5	9	Primary	Yes	Start	

Add
Delete

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
	0	Primary	Yes	End	

Add
Delete

Display Grids as:
 Ordinates Spacing

Hide All Grid Lines
 Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1.25

Reset to Default Color
 Reorder Ordinates

OK Cancel

Gambar 5. 16 Input Data Garis Grid Jembatan

2. Define Material Properties Baja dan Beton.

Material jembatan girder beton yang diterapkan dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak SAP2000 ini merujuk pada pedoman penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan eksisting Nomor 03/SE/M/2016. Data input properti material baja dan beton dapat dilihat dari **Gambar 5.17** dan **Gambar 5.18** berikut.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a concrete material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (FC 22), 'Material Type' (Concrete), and 'Material Grade' (FC 22). The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (24) and 'Mass per Unit Volume' (2.4473). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (22044.954), 'Poisson, U' (0.2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (9.900E-06), and 'Shear Modulus, G' (9185.3975). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, f_c' (22000), 'Expected Concrete Compressive Strength' (22000), and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The dialog has 'OK' and 'Cancel' buttons.

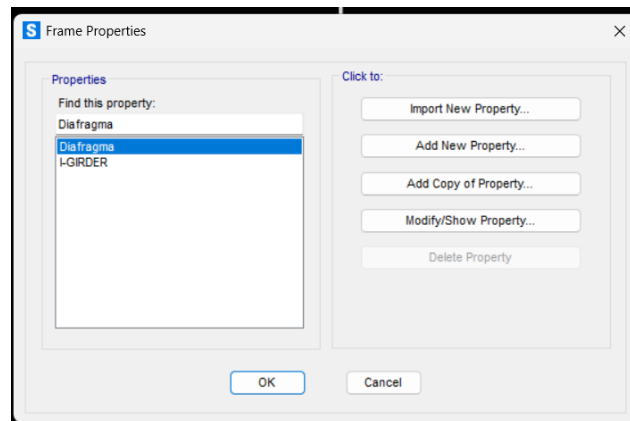
Gambar 5. 17 Material Property Data Beton

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a steel material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (Baja Tulangan), 'Material Type' (Steel), and 'Material Grade' (Grade 50). The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (78.9729) and 'Mass per Unit Volume' (7.849). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (1.999E+08), 'Poisson, U' (0.3), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (1.170E-05), and 'Shear Modulus, G' (78903069). The 'Other Properties For Steel Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, F_y' (250000), 'Minimum Tensile Stress, F_u' (360000), 'Expected Yield Stress, F_{ye}' (250000), and 'Expected Tensile Stress, F_{ue}' (360000). The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The dialog has 'OK' and 'Cancel' buttons.

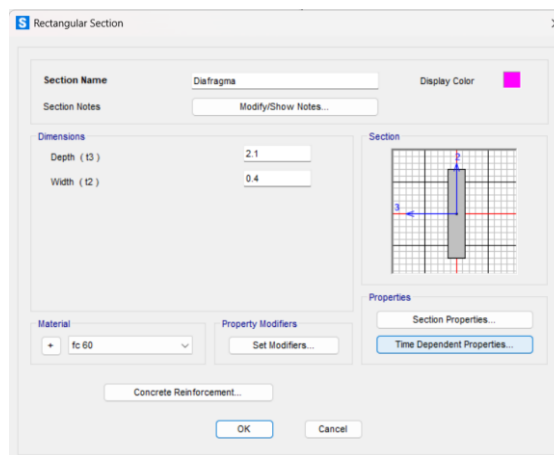
Gambar 5. 18 Material Property Data Baja Tulangan

3. Define Sections Properties.

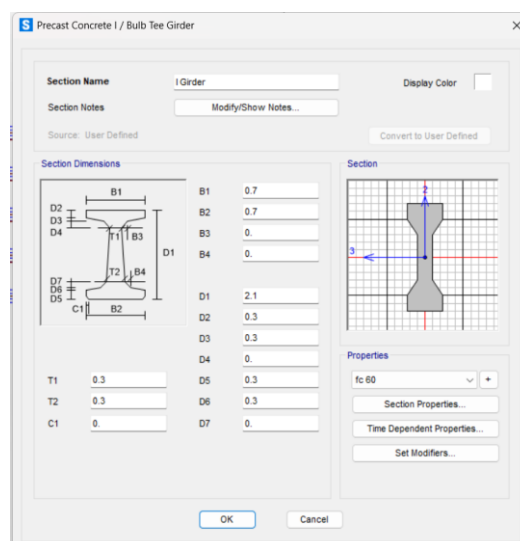
Profil jembatan beton I-Girder yang dimodelkan pada Software SAP2000 berdasarkan data profil jembatan yang didapatkan melalui pengukuran secara langsung di lapangan meteran sepanjang 50 meter dan 7,5 meter. Adapun input data profil Beton yang membentuk struktur jembatan dapat dilihat pada **Gambar 5.19** , **Gambar 5.20**, dan **Gambar 5.21** berikut.



Gambar 5. 19 Frame Properties



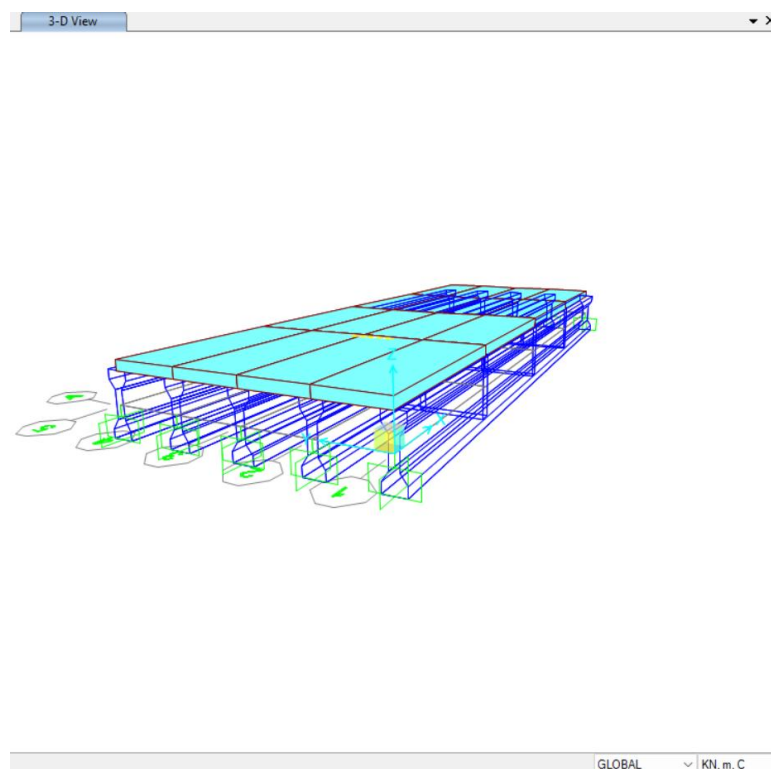
Gambar 5. 20 Input Frame Diafragma



Gambar 5. 21 Input Frame I-Girder

4. Draw Frame and Repiclated.

Setelah membuat garis grid dan memasukkan data profil jembatan, langkah berikutnya yaitu melakukan draw frame pada garis grid yang telah dibuat, selanjutnya dilakukan repiclated hingga membentuk susunan struktur jembatan dengan panjang 635 meter. Adapun bentuk struktur jembatan I – Girder beton dapat dilihat pada **Gambar 5.22** berikut.

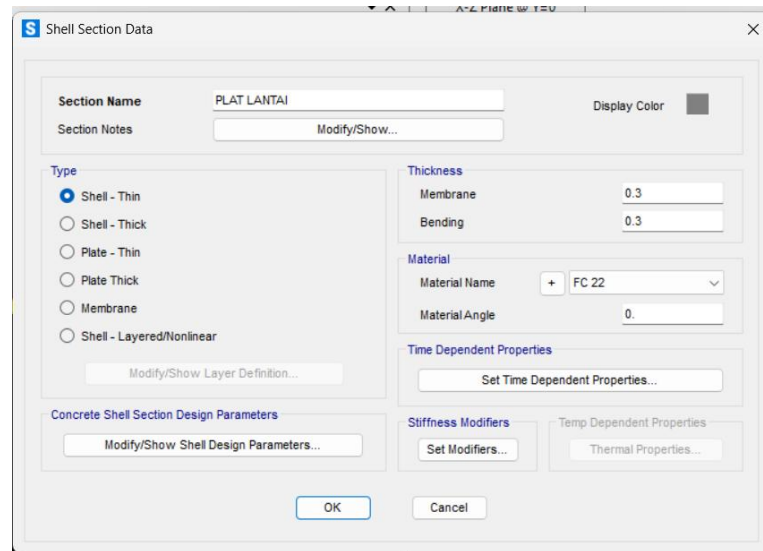


Gambar 5. 22 Hasil Permodelan Jembatan I-Girder Beton

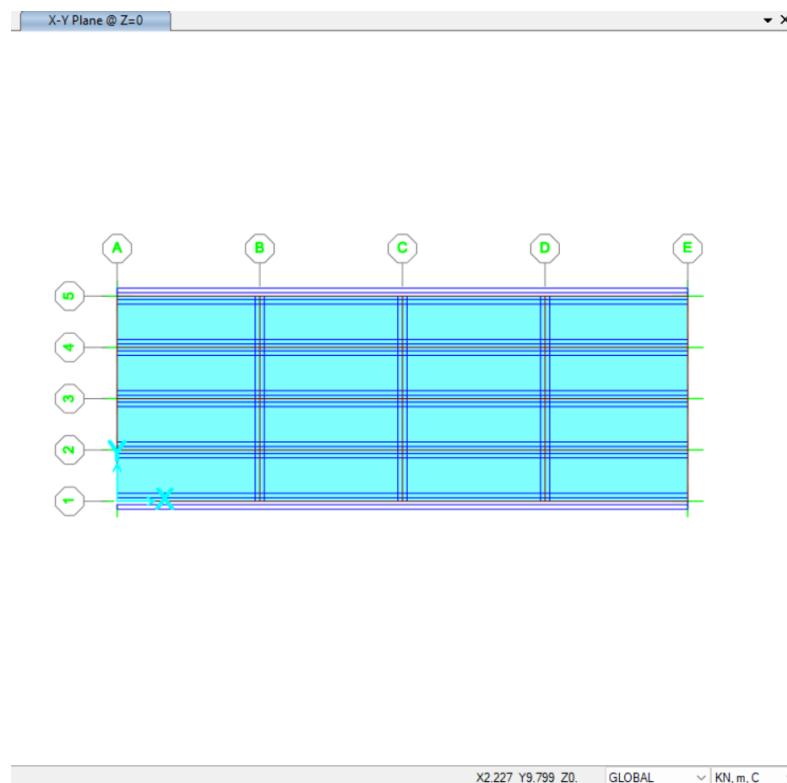
5. Define and Drawing Area Section

Penggunaan fitur Define Area Section merupakan langkah penting untuk mendefinisikan elemen plat beton bertulang yang bertumpu pada girder. Pada permodelan ini, plat beton bertulang yang digunakan berpedoman pada Penentuan Bridge Load Rating untuk jembatan eksisting. Plat yang dimodelkan memiliki kuat tekan f_c 22 MPa dan tebal 300 mm berdasarkan hasil pengukuran di lapangan. Setelah define area sections selesai, selanjutnya plat beton digambar pada elevasi $Z = 0$ m dengan memilih opsi draw rectangular, dimana perletakan setiap plat dibatasi

oleh diafragma jembatan. Adapun proses Define dan Drawing area sections dapat dilihat pada **Gambar 5.23** dan **Gambar 5.24** berikut.



Gambar 5. 23 Define Area Sections



Gambar 5. 24 Draw Area Sections

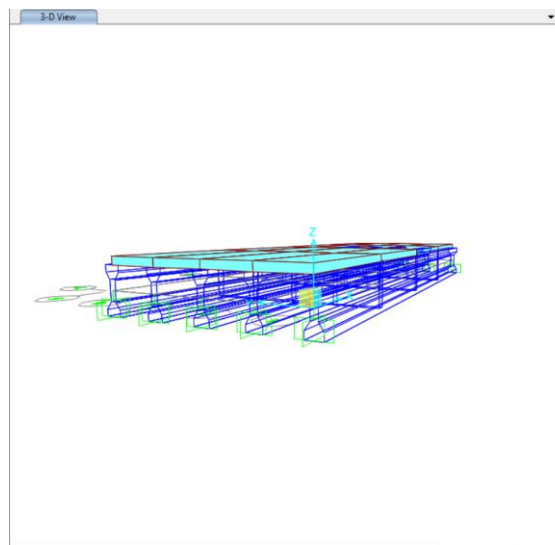
6. Joint Offset Overwrites Plat Lantai

Secara default, area plat lantai yang telah digambar berada pada elevasi $Z = 0$, yaitu berada pada posisi yang sama dengan Gelagar memanjang dan diafragma, sehingga dalam kondisi sebenarnya dilapangan, plat lantai menumpu berada diatas gelagar memanjang dan diafragma. Oleh karena itu, setiap panel plat lantai yang telah dimodelkan memerlukan penerapan offset sebesar separuh tinggi gelagar memanjang ditambah separuh ketebalan plat lantai. Prosedur untuk melaksanakan joint offset overwrites pada panel plat lantai dapat diamati pada **Gambar 5.25** dan **Gambar 5.26** berikut.



Pt #	Joint Offset m	Area 1 Pts	Area 2 Pts	Area 3 Pts	Area 4 Pts	Area 5 Pts	Area 6 Pts	Area 7 Pts	Area 8 Pts	Area 9 Pts	Area 10 Pts
1	1.2	3	5	7	9	12	13	14	15	17	18
2	1.2	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23
3	1.2	11	12	13	14	16	17	18	19	21	22
4	1.2	1	3	5	7	11	12	13	14	16	17

Gambar 5. 25 Joint Offset Overwrites Plat Lantai

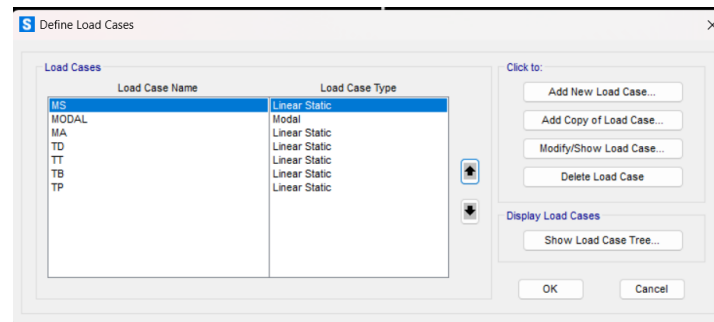


Gambar 5. 26 Posisi Plat Setelah dilakukan Offset

7. Define Load Cases

Define Load Cases pada yang dilakukan pada program SAP2000 berpedoman pada Peraturan Pedoman Bridge Load Rating untuk jembatan eksisting yang dimana berfokus ada penilaian beban desain berdasar kondisi Kuat I. Dalam

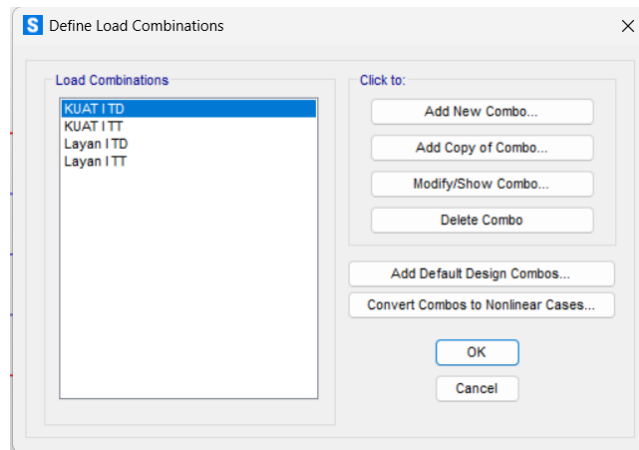
konteks ini, beban yang dipertimbangkan meliputi beban mati jembatan serta beban hidup dari lalu lintas kendaraan. Beban-beban tersebut diperlukan untuk menghitung gaya internal yang timbul pada setiap elemen struktur jembatan. Proses *Define Load Cases* pada struktur jembatan I-Girder beton dapat diamati pada gambar berikut.



Gambar 5. 27 Define Load Cases

8. Define Load Combination

Kombinasi pembebanan merujuk pada sekumpulan beban yang diterapkan pada jembatan yang sedang dianalisis, sesuai dengan pedoman SNI 1725:2016 mengenai pembebanan jembatan. Kombinasi kuat I merupakan kombinasi pembebanan yang mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja pada jembatan dalam kondisi normal, tanpa memasukkan beban angin. Pada kondisi kuat I, besaran beban yang terjadi akan dikalikan dengan faktor pembebanan yang sesuai. Selain kombinasi Kuat I, terdapat kombinasi Layan I yang meninjau jembatan dalam keadaan operasional, dimana semua besaran beban digunakan sesuai dalam nominalnya. Pemilihan kombinasi beban sangat penting dikarenakan pada kombinasi Kuat I memastikan ketahanan jembatan cukup kuat terhadap beban maksimum yang terjadi, sedangkan pada kombinasi Layan I memastikan jembatan berada dalam batas aman ketika mengalami defleksi dan tegangan tetap selama penggunaan normal. Adapun proses Define Load Combination dapat dilihat pada **Gambar 5.28** berikut.



Gambar 5. 28 Kombinasi Pembebanan

5.2.3 Hasil Analisis Software SAP2000

Pada analisis software SAP2000 akan menghasilkan data berupa frekuensi teoritis dari jembatan akibat beban desain. Dalam analisis ini dihasilkan nilai frekuensi teoritis jembatan sebesar 1.40 Hz untuk bentang 25 meter dan 2.15 untuk bentang 40 meter . Adapun hasil proses running analysis SAP2000 dapat dilihat pada **Gambar 5.29** dan **Gambar 5.30** berikut.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
MODAL	Mode	12	0.71499	1.39862127...	8.78779666...	77.2253702...

Gambar 5. 29 Output Frekuensi Teoritis Bentang 40 meter

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
MODAL	Mode	12	0.464222	2.15413988...	13.5348600...	183.192437...

Gambar 5. 30 Output Frekuensi Teoritis Bentang 25 meter

5.3 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan

Penyusunan peta distribusi frekuensi pada struktur bagian atas jembatan memberikan manfaat dalam menghasilkan representasi visual yang penting untuk analisis struktur dinamis, khususnya dalam menilai distribusi nilai frekuensi di

lokasi-lokasi pengukuran yang telah ditetapkan pada jembatan tersebut. Pada pembuatan peta persebaran frekuensi struktur atas jembatan, data hasil pengukuran mikrotremor akan diolah menjadi peta kontur menggunakan software Surfer, peta kontur yang dibuat akan menunjukkan variasi nilai frekuensi di atas jembatan. Peta distribusi frekuensi ini menyediakan data yang tepat mengenai nilai besaran respons frekuensi di suatu area yang dapat menunjukkan kemungkinan kerentanan struktur jembatan terhadap beban dinamis, seperti beban dari arus lalu lintas kendaraan. Adapun langkah pembuatan peta persebaran frekuensi struktur bagian atas jembatan menggunakan software Surfer adalah sebagai berikut.

1. Persiapan Data.

Data yang perlu dipersiapkan untuk membuat peta persebaran frekuensi yaitu berupa data koordinat bujur lintang dan data nilai frekuensi hasil pengukuran mikrotremor. Data tersebut disimpan dalam format Excel dengan pembagian kolom X diisi bujur, Y diisi lintang, dan Z diisi frekuensi, pembagian tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.2** berikut.

Tabel 5. 2 Format File Data

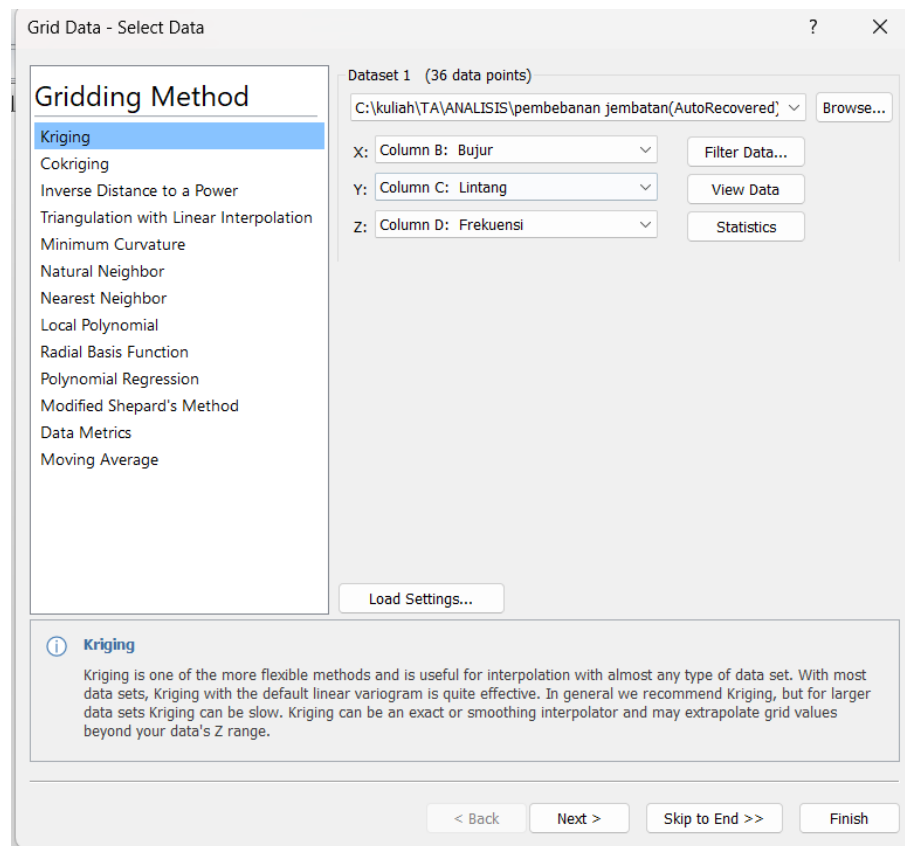
Titik	Bujur	Lintang	Frekuensi
1	110.2457	-7.938772	1,898
3	110.2455	-7.93883	1,943
4	110.2455	-7.938748	2,463
5	110.2353	-7.938852	1,948
6	110.2453	-7.938802	2,146
7	110.2449	-7.938965	1,765
8	110.2449	-7.938854	1,916
9	110.2446	-7.939017	1,642
10	110.2446	-7.938921	1.894
11	110.2442	-7.939056	1,623
13	110.2438	-7.939138	1,413
14	110.2439	-7.939052	1,336

Lanjutan Tabel 5.2 Format File Data

15	110.2435	-7.939204	1,639
16	110.2435	-7.939147	1,591
17	110.2432	-7.939297	1,531
18	110.2431	-7.939182	1,463
19	110.2428	-7.939327	1,650
20	110.2428	-7.939215	1,328
21	110.2424	-7.939223	1,261
22	110.2425	-7.93932	1,822
24	110.2421	-7.939432	0,560
25	110.2417	-7.939621	2,550
26	110.2417	-7.939522	2,507
27	110.2414	-7.939647	2,090
28	110.2414	-7.939577	1,280
30	110.241	-7.939676	1,747
31	110.2407	-7.939775	2,082
32	110.2407	-7.939745	1,809
34	110.2403	-7.939749	1,623
36	110.2401	-7.939775	2,504
Rata-rata			1,767
Median			1,756
Modus			1,623

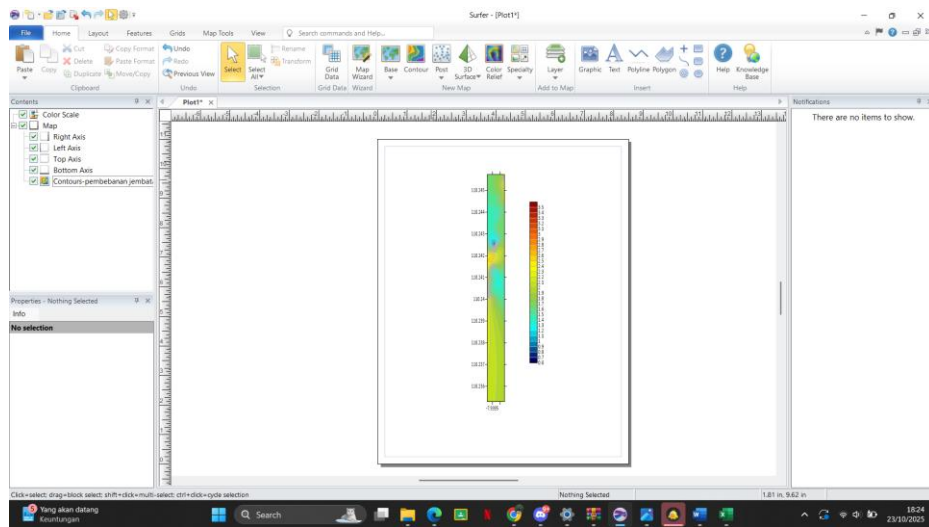
2. Import Data ke Surfer

Data yang sudah disimpan dalam format excel kemudian diinput kedalam Surfer dengan menekan opsi Grid>Grid Data >Browse. Data excel yang telah diinput akan memiliki tampilan seperti pada Gambar berikut. Kolom X,Y dan Z harus disesuaikan dengan data excel yang digunakan.



3. Membuat Peta Kontur

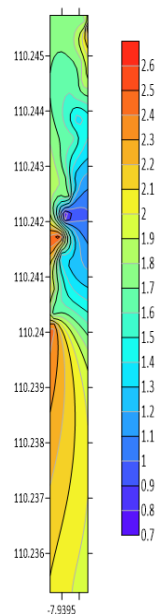
Setelah melakukan import data dari file Excel ke dalam *software Surfer*, langkah berikutnya adalah pembuatan peta kontur dengan mengakses menu Home > New Map > Contour Map. *Software Surfer* secara otomatis akan menghasilkan peta kontur berdasarkan data Excel yang telah diimpor. Adapun representasi visual dari Peta Kontur dalam Surfer dapat diamati sebagai berikut.



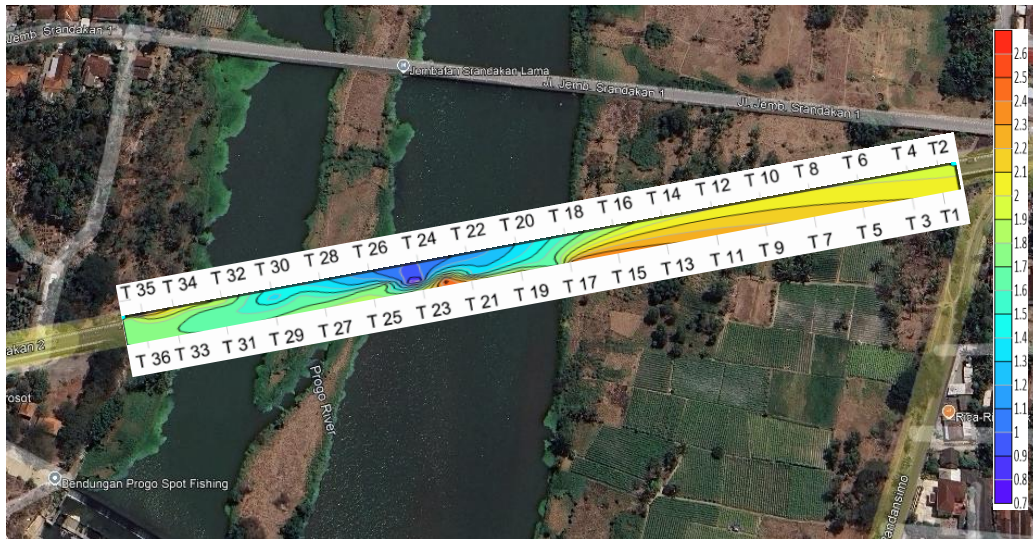
Gambar 5. 31 Tampilan Peta Kontur

4. Ekspor Peta

Setelah proses pembuatan peta kontur telah selesai, peta tersebut disimpan dalam format gambar dengan cara memilih opsi pada menu File > Export. Gambar yang telah diekspor dapat diamati pada **Gambar 5.24**, serta peta persebaran frekuensi jembatan pada **Gambar 5.25**.



Gambar 5. 32 Peta Kontur



Gambar 5. 33 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan Srandakan II

5.4 Analisis Kelayakan Jembatan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, nilai parameter dalam indeks kerentanan struktur jembatan dapat diidentifikasi, yaitu frekuensi natural (f_0) yang diperoleh melalui pengukuran mikrotremor serta frekuensi teoritis yang diperoleh melalui analisis menggunakan perangkat lunak SAP2000. Kedua data nilai frekuensi yang telah diperoleh tersebut akan diproses untuk perhitungan analisis kelayakan jembatan, dengan tujuan menentukan nilai kerusakan relatif pada jembatan tersebut.

Dalam proses evaluasi kelayakan jembatan, analisis frekuensi struktur jembatan dianggap sebagai parameter penting yang ditetapkan dalam Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B. Adapun perhitungan kerusakan relatif jembatan dapat dilihat sebagai berikut.

$$F_0 \text{ rata – rata aktual} = 1,767 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi teoritis} &= \frac{(\text{Frek.teoritis bentang } 25\text{m} + \text{Frek.teoritis bentang } 40\text{m})}{2} \\ &= \frac{2,154 + 1,399}{2} \\ &= 1,776 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$D_{\text{relatif}} = \left[\frac{(f_{\text{teoritis}} - f_{\text{aktual}})}{f_{\text{teoritis}}} \right] \times 100\%$$

$$= \left[\frac{(1,776 - 1,767)}{1,776} \right] \times 100\%$$

$$= 0,501 \%$$

Berikut merupakan hasil nilai kerusakan relatif yang dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 5. 3 Perhitungan Nilai Kerusakan Relatif

Titik	Posisi	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)	Frekuensi rata-rata Jembatan (Hz)	Frekuensi teoritis (Hz)	Kerusakan relatif (%)
1	Struktur Atas jembatan	1,898	1,767	1,776	0,501
3		1,943			
4		2,463			
5		1,948			
6		2,146			
7		1,765			
8		1,916			
9		1,642			
10		1,894			
11		1,623			
12		1,413			
13		1,336			
14		1,639			
15		1,591			
16		1,531			
17		1,463			
18		1,650			
19		1,328			
20		1,261			
21		1,822			
22	0,560				
24	2,550				
26	2,507				
27	2,090				
28	1,280				
30	1,747				

Lanjutan Tabel 5.3 Perhitungan Nilai Kerusakan Relatif

Titik	Posisi	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)	Frekuensi rata-rata Jembatan (Hz)	Frekuensi teoritis (Hz)	Kerusakan relatif (%)
31		2,082			
32		1,809			
34		1,623			
36		2,504			

Berdasarkan penelitian kelayakan jembatan yang telah dilaksanakan, diperoleh nilai rata – rata frekuensi natural (f_0) struktur atas jembatan berdasarkan pengukuran mikrotremor di lapangan dengan nilai sebesar 1,767 Hz dengan nilai modus sebesar 1,623 Hz dan nilai median sebesar 1,756 Hz. Selain itu, frekuensi teoritis yang dihasilkan melalui proses permodelan software SAP2000 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 1,776 Hz dari perhitungan rata-rata nilai frekuensi bentang 25 meter dan 40 meter . Pada penelitian ini pilar tidak dimodelkan dan hanya struktur atas yang dianalisis sesuai dengan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor Pt T-05-2002-B dimana hanya struktur atas yang dianalisis untuk mengetahui kerusakan relatif. Frekuensi natural jembatan berdasarkan pengukuran mikrotremor menghasilkan nilai yang lebih kecil pada area jembatan yang dilalui oleh sungai. Hal ini dikarenakan pada pilar jembatan yang berada di air akan memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan pilar jembatan yang berada diatas tanah, sehingga mengakibatkan frekuensi natural jembatan menjadi turun, hal ini juga menandakan bahwa struktur pilar jembatan dapat mempengaruhi struktur diatasnya, sehingga pada saat pengukuran mikrotremor yang diletakkan pada struktur atas jembatan dihasilkan nilai frekuensi yang lebih rendah di pilar area air dibanding di pilar area tanah.

Setelah dilakukan perhitungan kerusakan relatif, diperoleh nilai kerusakan relatif sebesar 0,501%. Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor Pt T-05-2002-B, nilai yang diperoleh merepresentasikan tingkat penurunan performa struktur, yang dibandingkan dengan kondisi awal atau standar yang telah ditetapkan. Dalam konteks jembatan, kerusakan relatif dapat dievaluasi

berdasarkan perubahan sifat mekanis, seperti peningkatan defleksi, penurunan kekuatan material, atau munculnya retakan pada komponen struktural. Persentase kerusakan relatif ini menunjukkan bahwa jembatan ini masih berada pada dalam kondisi struktural yang baik dan utuh dan hanya mengalami penurunan performa yang minimal.

Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor : Pt T-05-2002-B, nilai presentase kerusakan relatif yang dihasilkan pada penelitian ini ditempatkan pada kategori kondisi baik dengan nilai presentase kerusakan relatif antara 0 – 5% dengan nilai presentase kerusakan relatif yang dihasilkan sebesar 0,501%. Nilai yang dihasilkan menunjukkan bahwa jembatan Srandakan II hanya mengalami penurunan performa yang sangat kecil akibat adanya beban arus lalu lintas yang tinggi, maka dengan nilai yang dihasilkan, jembatan Srandakan II memiliki kondisi struktural dan performa yang baik dan utuh.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dalam penelitian analisis frekuensi Jembatan Srandakan II di Kabupaten Kulon Progo melalui pengukuran mikrotremor di lapangan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengukuran mikrotremor pada jembatan di lapangan menunjukkan nilai frekuensi rata-rata struktur atas jembatan sebesar 1,767 Hz.
2. Permodelan menggunakan perangkat lunak SAP2000 menghasilkan nilai frekuensi teoritis sebesar 2,154 Hz untuk jembatan dengan bentang 25 meter dan 1,399 Hz untuk bentang 40 meter, sehingga diperoleh nilai frekuensi teoritis rata-rata sebesar 1,776 Hz.
3. Berdasarkan analisis frekuensi natural rata-rata jembatan yang diperoleh melalui pengukuran mikrotremor dan frekuensi teoritis dari permodelan perangkat lunak SAP2000, diperoleh nilai persentase kerusakan relatif sebesar 0,501%. Mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05 2002-B, nilai tersebut termasuk dalam kategori kondisi baik dengan kerusakan relatif antara 0% hingga 5%, sehingga jembatan hanya mengalami penurunan performa yang minimal dan memiliki kondisi struktural yang baik serta utuh.

6.2 Saran

Setelah seluruh tahapan penelitian yang telah dilaksanakan, maka diperoleh beberapa hal yang dapat digunakan sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, adapun saran – saran tersebut yaitu

1. Pengukuran mikrotremor di lapangan alangkah baiknya dilakukan ketika kondisi lalu lintas dalam keadaan paling sepi. Hal ini bertujuan agar meminimalisir gangguan dari getaran yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas diatas jembatan, sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan

menghasilkan karakteristik alami struktur jembatan tanpa adanya gangguan tambahan.

2. Untuk meningkatkan kualitas yang lebih baik, pengukuran mikrotremor sebaiknya dilakukan dengan durasi perekaman yang lebih lama, agar perolehan data mikrotremor lebih stabil dan meminimalkan gangguan dari faktor luar seperti aktivitas di sekitar lokasi perekaman. Selain itu dapat dilakukan penambahan titik pengambilan ditengah bentang jembatan agar dapat mengetahui nilai frekuensi yang terdapat pada tengah bentang jembatan.
3. Untuk pengambilan keputusan dilakukannya perbaikan jembatan dapat dilakukan dengan data pendukung seperti data pengujian jembatan metode lain seperti metode uji pembebanan.
4. Dalam rangka memastikan bahwa studi kelayakan jembatan menghasilkan hasil yang akurat dan menyeluruh serta dapat dijadikan landasan untuk pengambilan keputusan, dengan merujuk pada pedoman yang ditetapkan oleh Proyek Penelitian Eropa SESAME (SESAME, 2004).

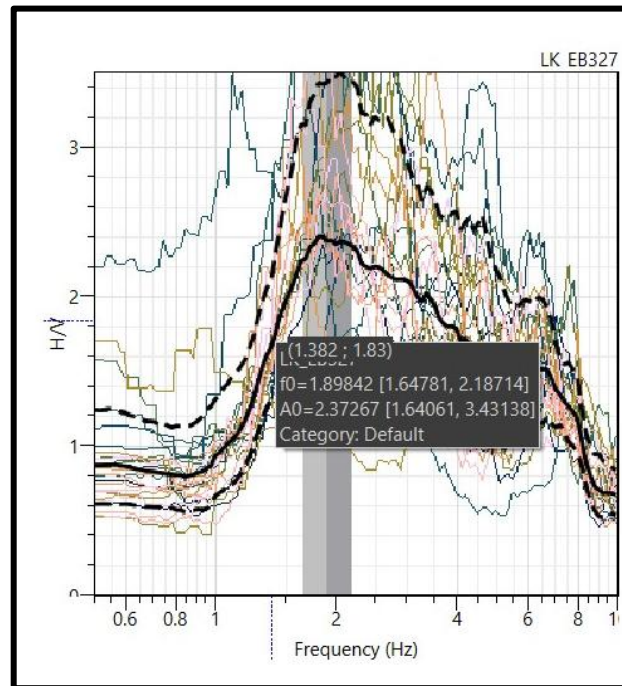
DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, N., & Pohan, A. F. (2023). Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio dan Pergerakan Partikel. *Jurnal Fisika Unand*, 12(3), 381–387. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.3.380-386.2023>
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, SNI 1725:2016*, BSN: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, SNI 2833:2016*, BSN: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan, RSNI T-12-2004*, BSN: Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B tentang Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas Dengan Cara Uji Getar*, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. 2016. *Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting, No.03/SE/M/2016*. Jakarta.
- Kusumawardani, R., Zelin, M. A., & Kusbiantoro, A. (2019). *Ground Vibration Analysis of Railroad Dynamic Loads on Rail Structure*.
- Maizuar, M. (2020). Studi Eksperimen Perilaku Dinamik Jembatan Pci Girder Dengan Menggunakan Akselerometer. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 297. <https://doi.org/10.29103/tj.v10i2.353>
- Maulana, A., & Kusumawardani, R. (2020). Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 13(2), 54–59. <https://doi.org/10.23917/dts.v13i2.13055>

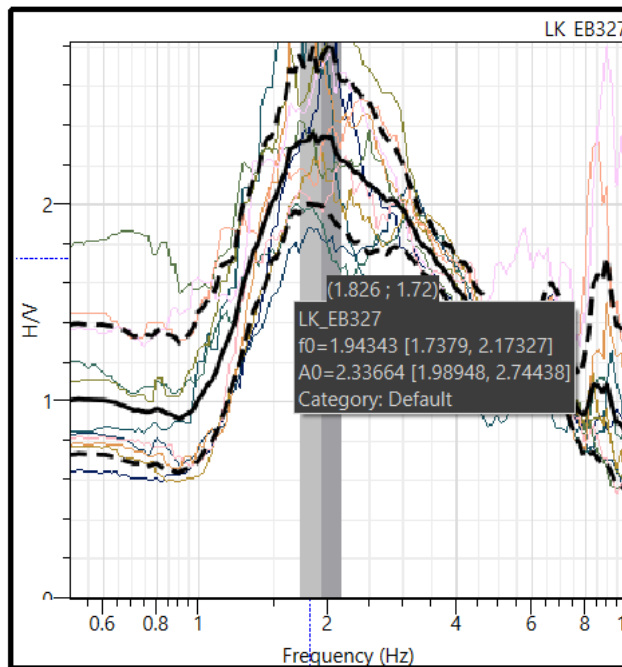
- Maulidiya, S., & Rusli, R. (2017). Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang). *Jurnal MIPA*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.35799/jm.6.1.2017.15222>
- Mutaram, Z., Muksin, U., & Idris, Y. (2022). Kajian Respon Jembatan Di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 5(3), 160–169. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v5i3.26135>
- Nakamura, Y. (2000). *Clear Identification Of Fundamental Idea Of Nakamura's Technique And Its Applications*.
- SESAME. (2004) “Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations Measurements, Processing And Interpretation”, Project No. EVG1-CT-2000-00026, European Commission-Research General Directorate.
- Syaputra, O. D., Farid, F., Samsidar, S., & Handayani, L. (2019). Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari Ii Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (Hvsr). *Komunikasi Fisika Indonesia*, 16(1), 59. <https://doi.org/10.31258/jkfi.16.1.59-64>
- Triyoso, C., Aminullah, A., & Suhendro, B. (2024). *Perbandingan Getaran Alami Struktur Jembatan Rangka Baja Belanda dengan Pengujian Ambien*.

LAMPIRAN

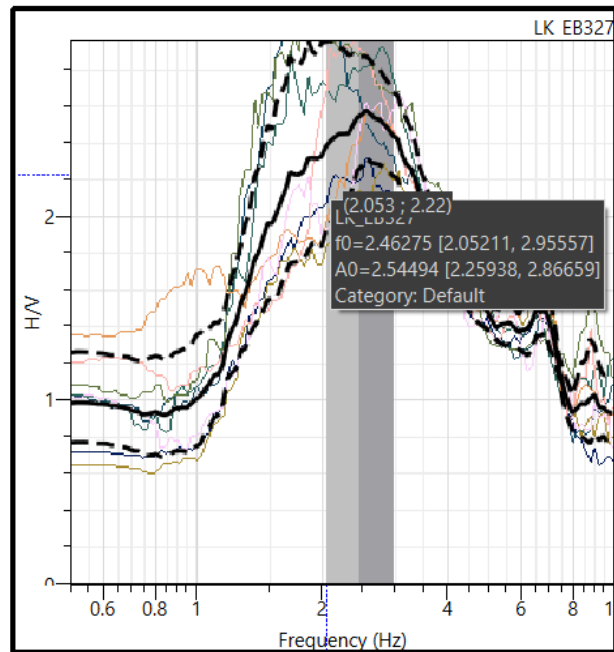
Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR



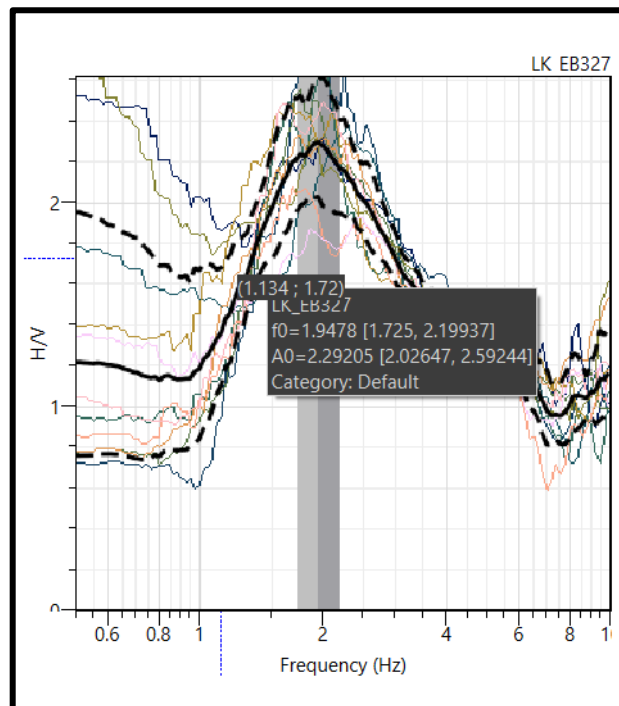
Gambar L-1. 1 Kurva HVSR Titik 1



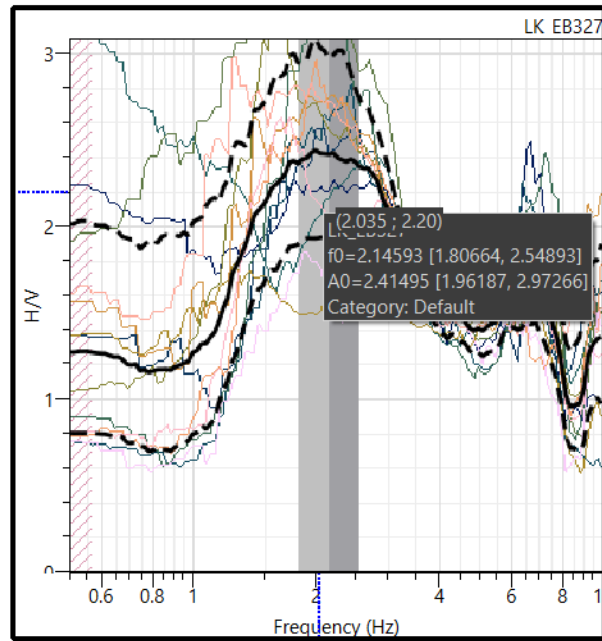
Gambar L-1. 2 Kurva HVSR Titik 3



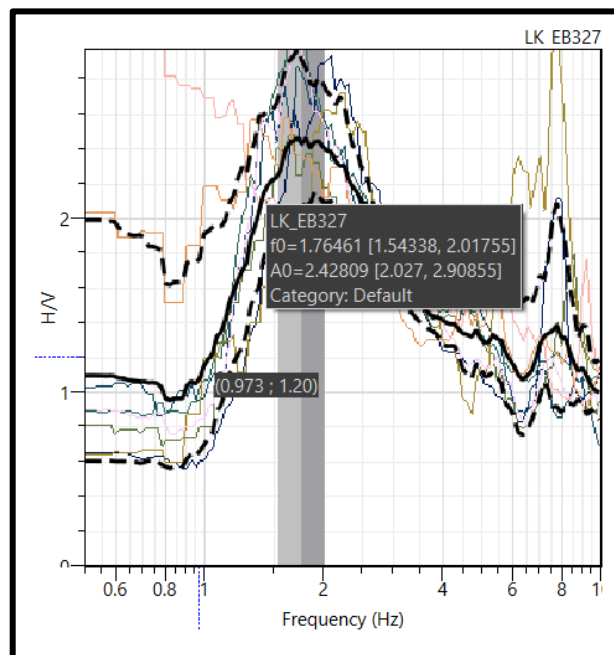
Gambar L-1. 3 Kurva HVSR Titik 4



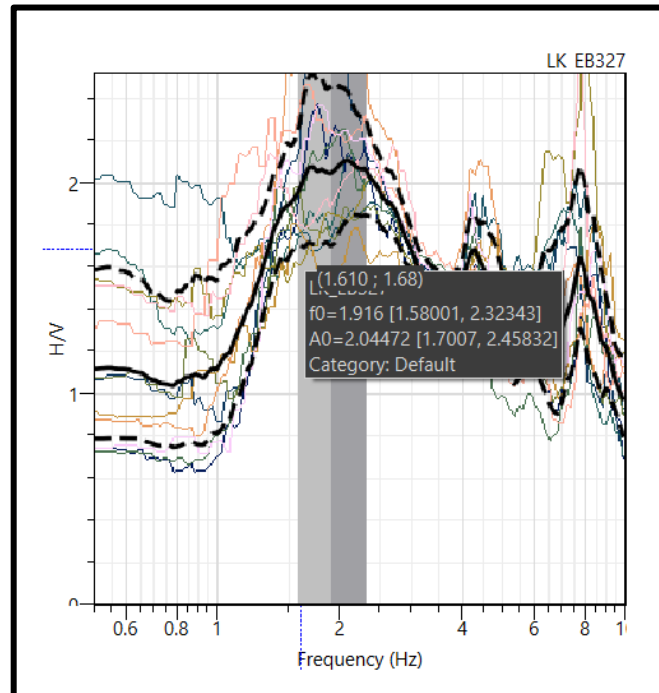
Gambar L-1. 4 Kurva HVSR Titik 5



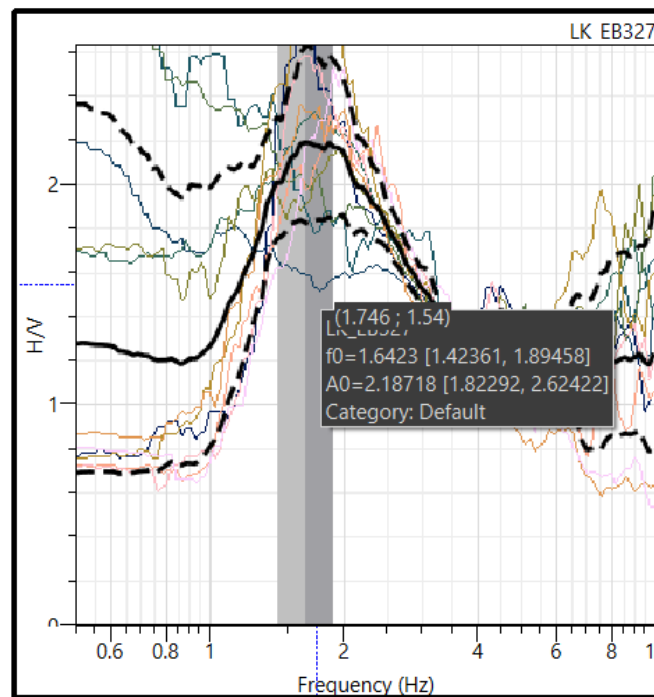
Gambar L-1. 5 Kurva HVSR Titik 6



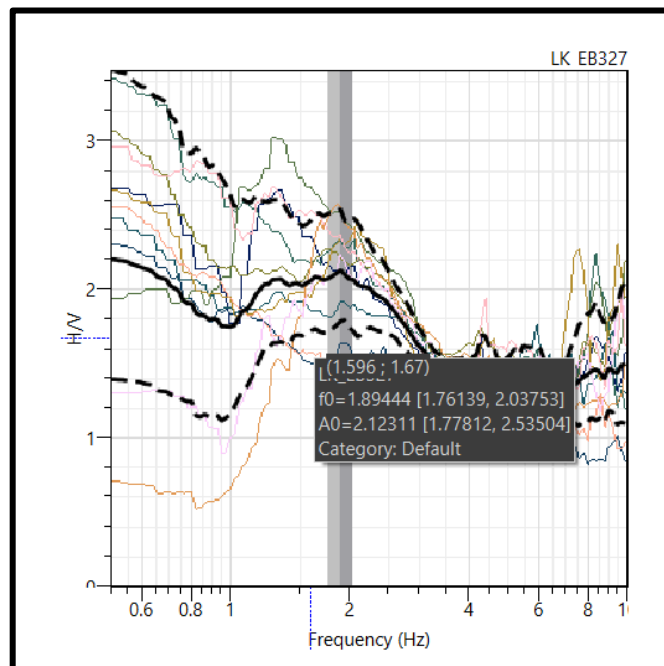
Gambar L-1. 6 Kurva HVSR Titik 7



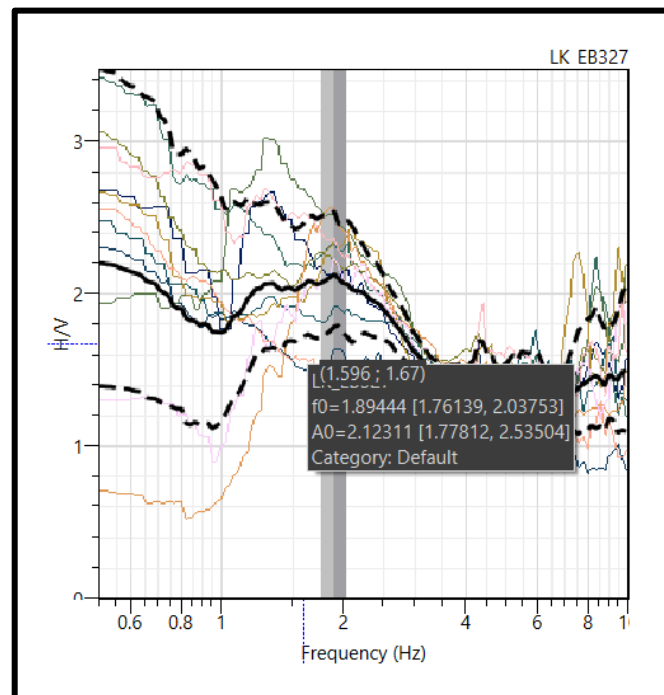
Gambar L-1. 7 Kurva HVSR Titik 8



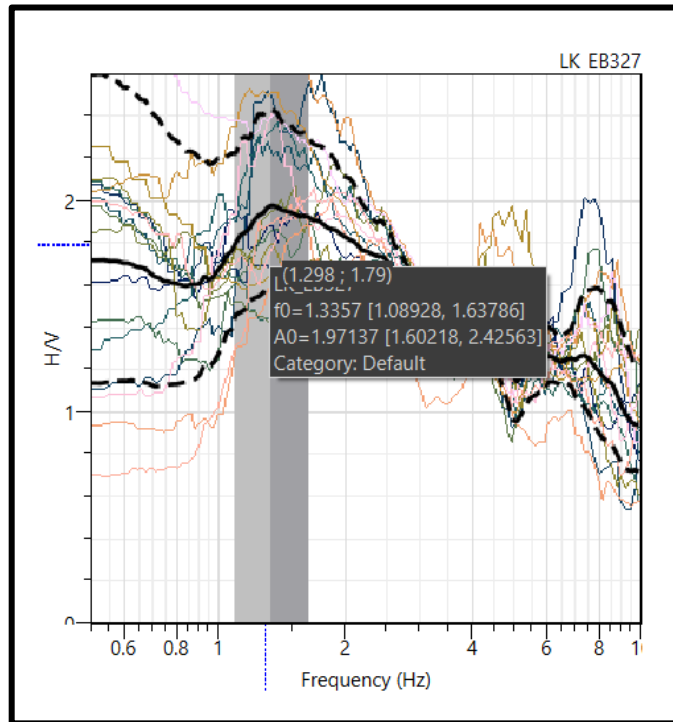
Gambar L-1. 8 Kurva HVSR Titik 9



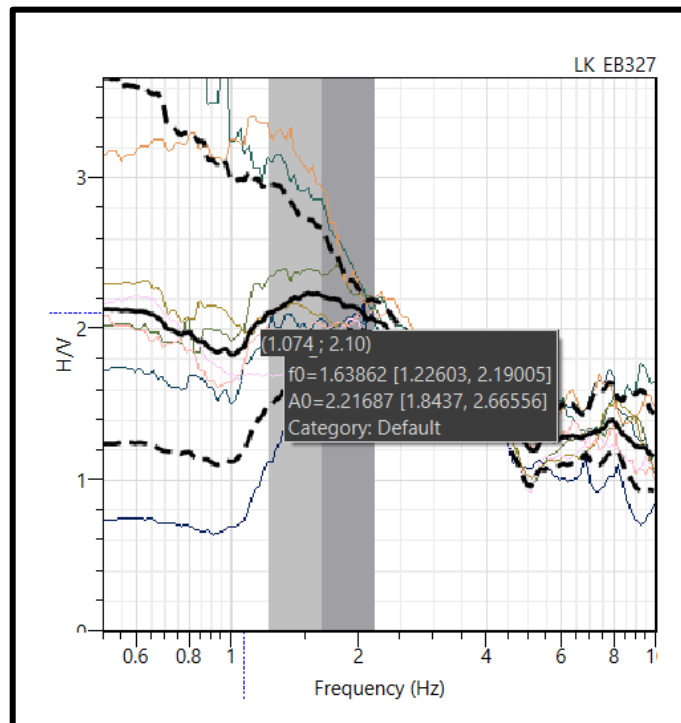
Gambar L-1. 9 Kurva HVSR Titik 10



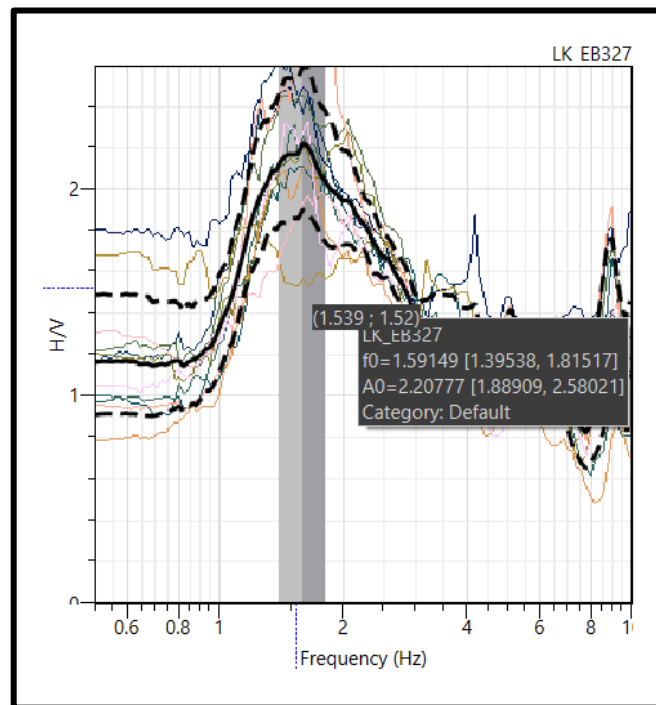
Gambar L-1. 10 Kurva HVSR Titik 11



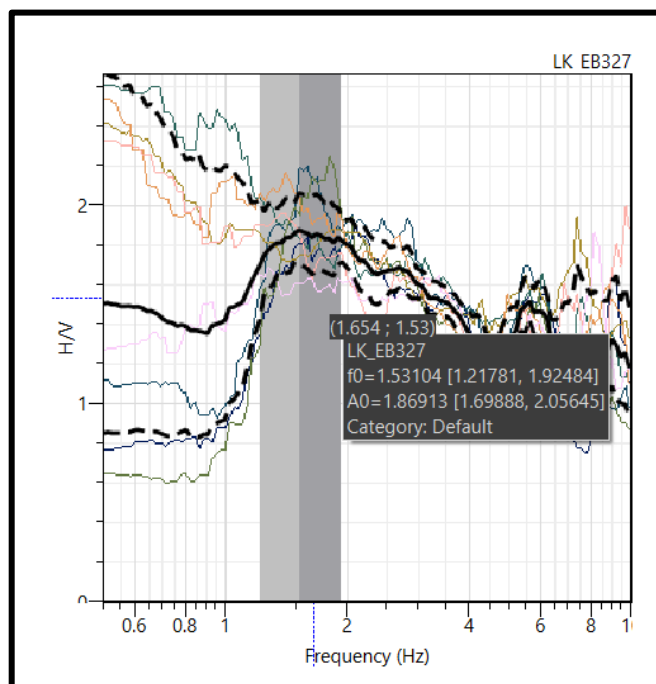
Gambar L-1. 11 Kurva HVSr Titik 13



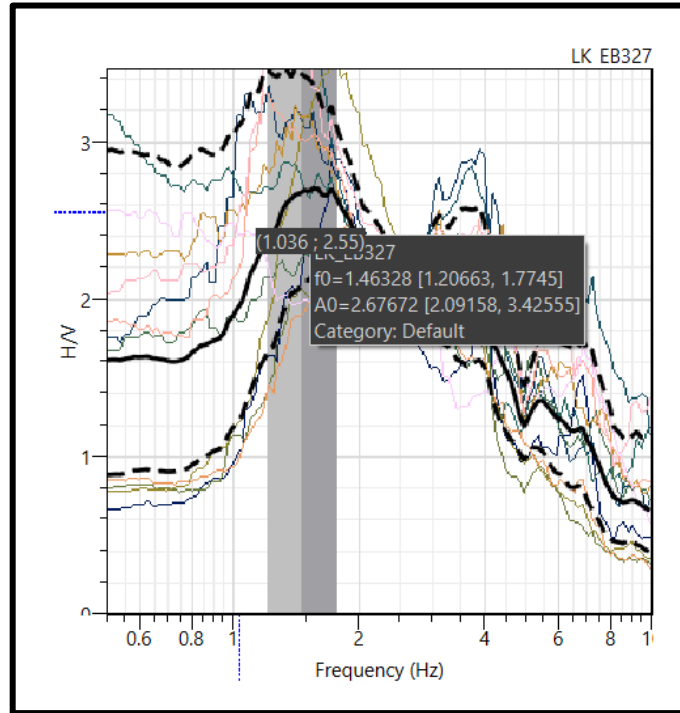
Gambar L-1. 12 Kurva HVSr Titik 14



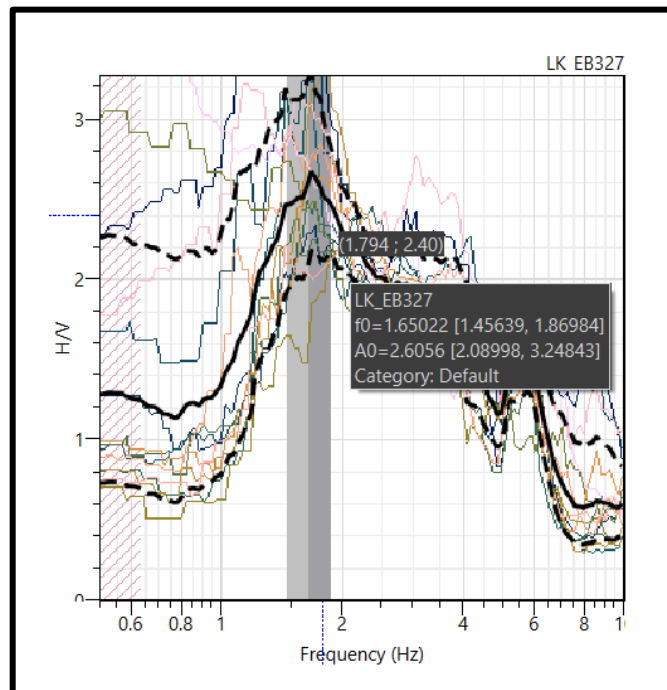
Gambar L-1. 13 Kurva HVSR Titik 15



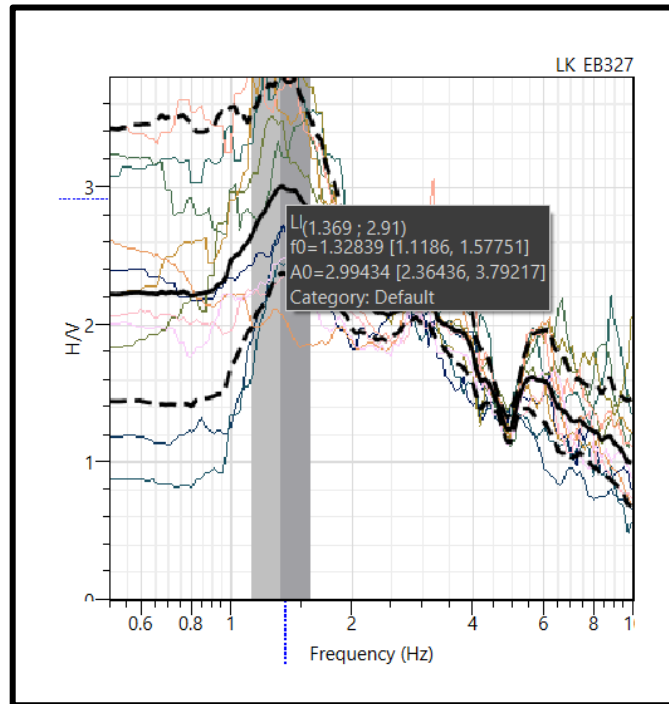
Gambar L-1. 14 Kurva HVSR Titik 16



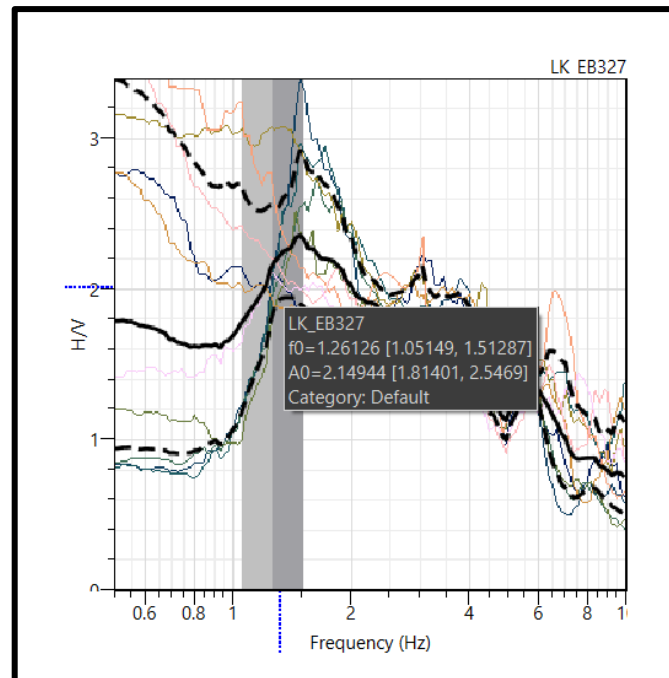
Gambar L-1. 15 Kurva HVSR Titik 17



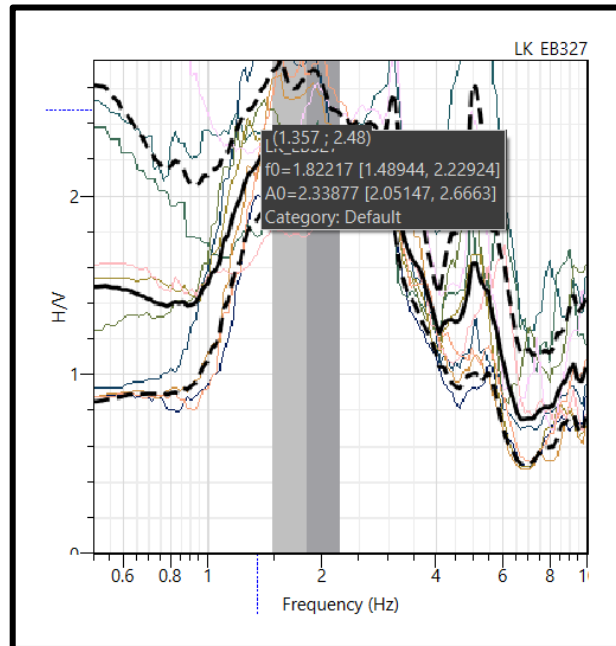
Gambar L-1. 16 Kurva HVSR Titik 18



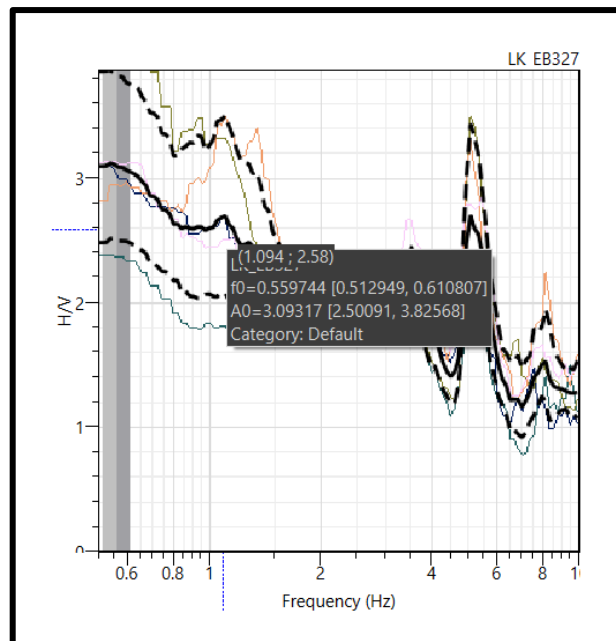
Gambar L-1. 17 Kurva HVSr Titik 19



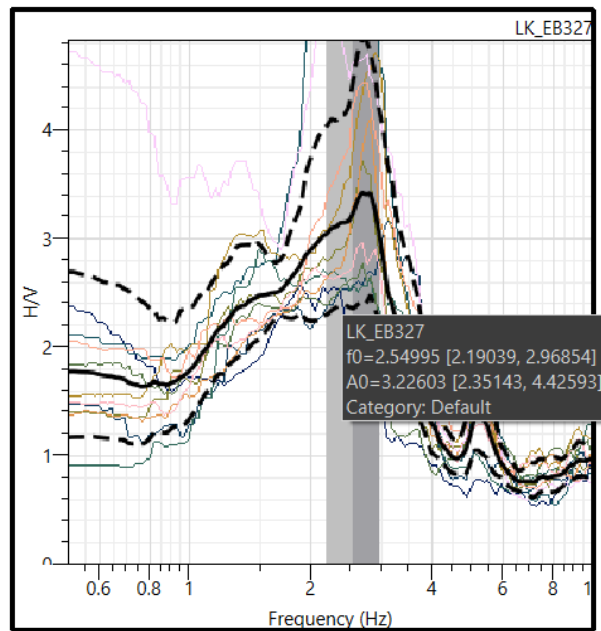
Gambar L-1. 18 Kurva HVSr Titik 20



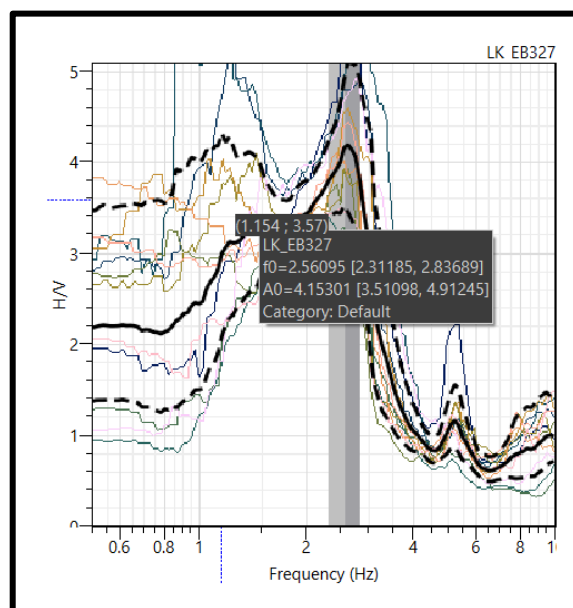
Gambar L-1. 19 Kurva HVSr Titik 21



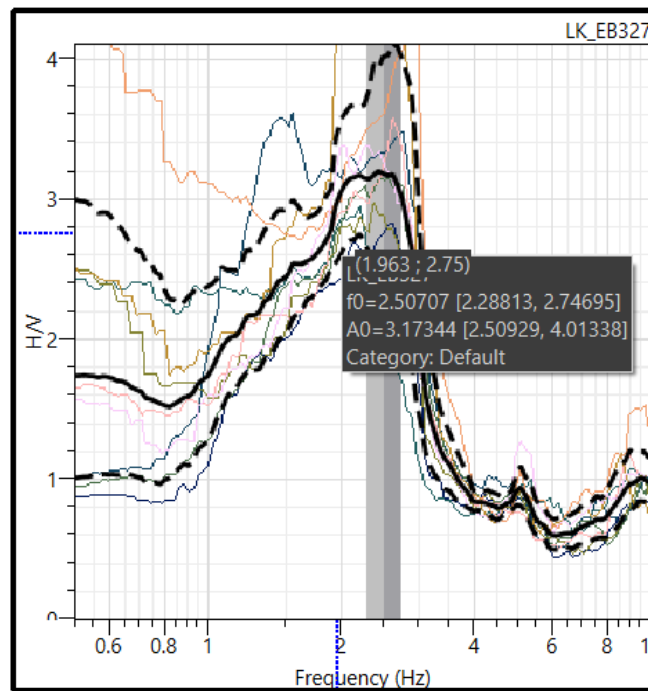
Gambar L-1. 20 Kurva HVSr Titik 22



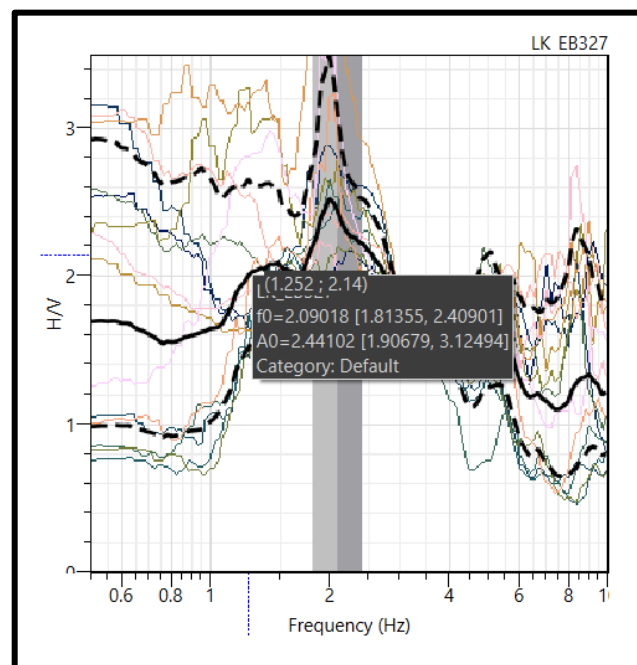
Gambar L-1. 21 Kurva HVSR Titik 24



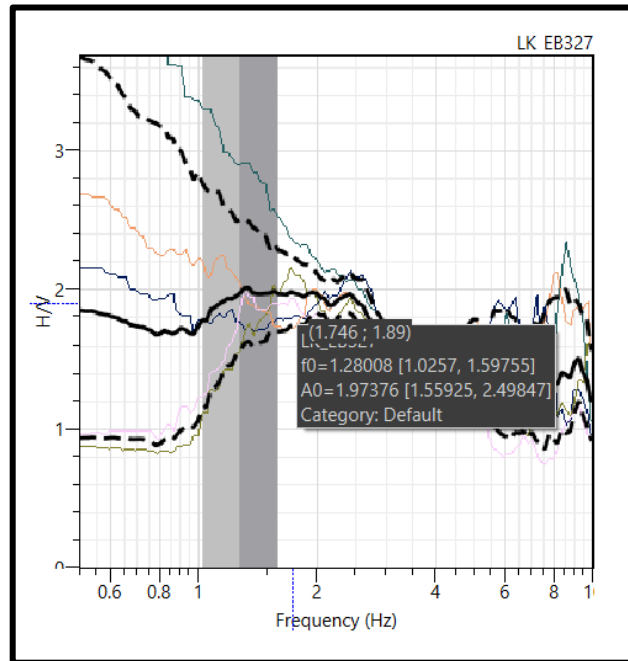
Gambar L-1. 22 Kurva HVSR Titik 25



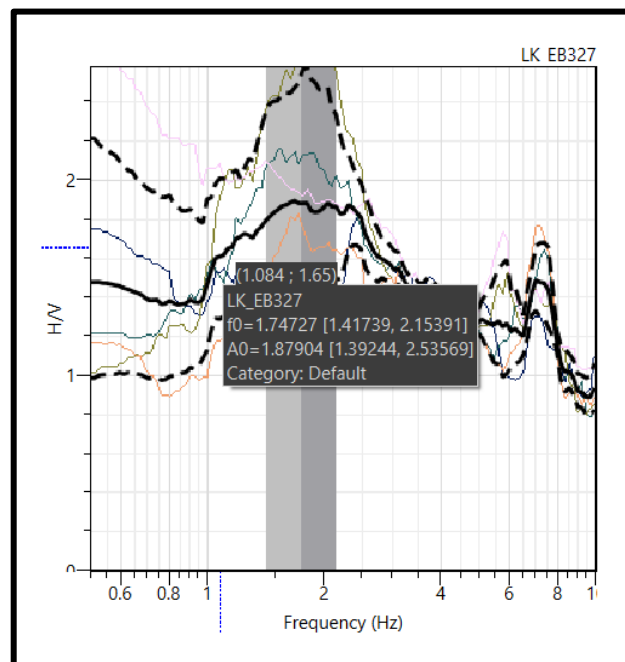
Gambar L-1. 23 Kurva HVSR Titik 26



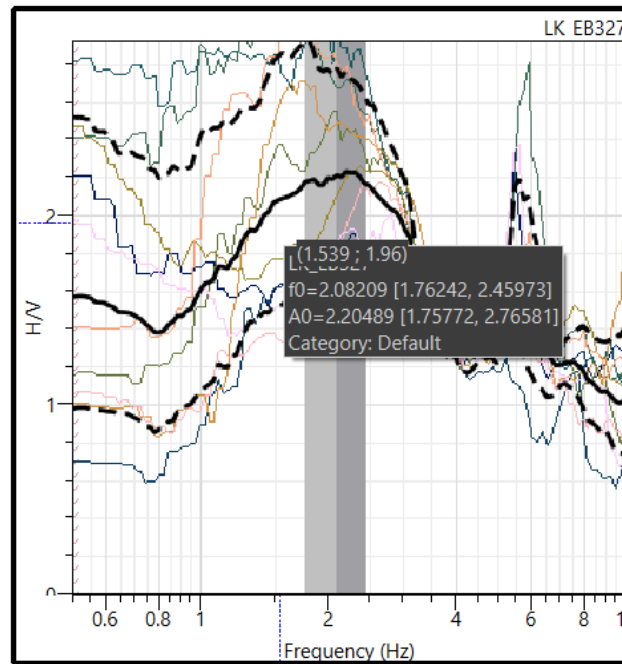
Gambar L-1. 24 Kurva HVSR Titik 27



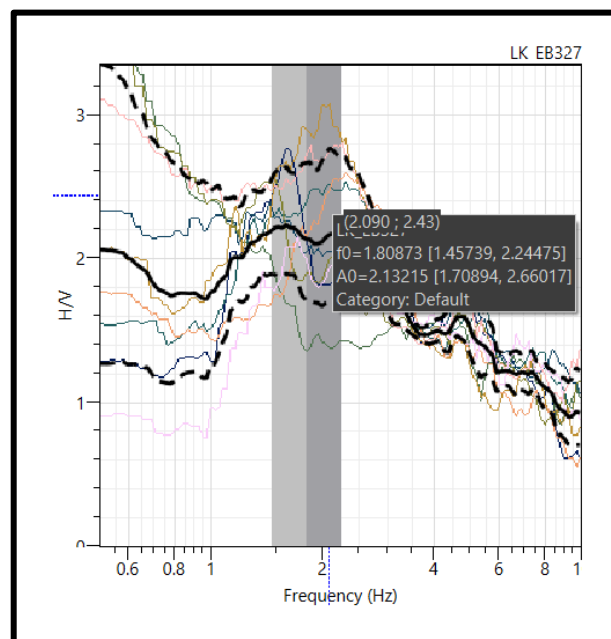
Gambar L-1. 25 Kurva HVSr Titik 28



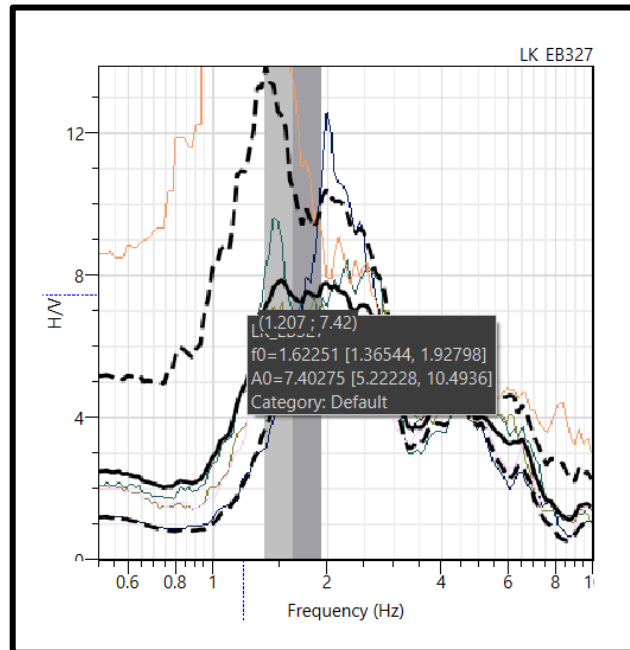
Gambar L-1. 26 Kurva HVSr Titik 30



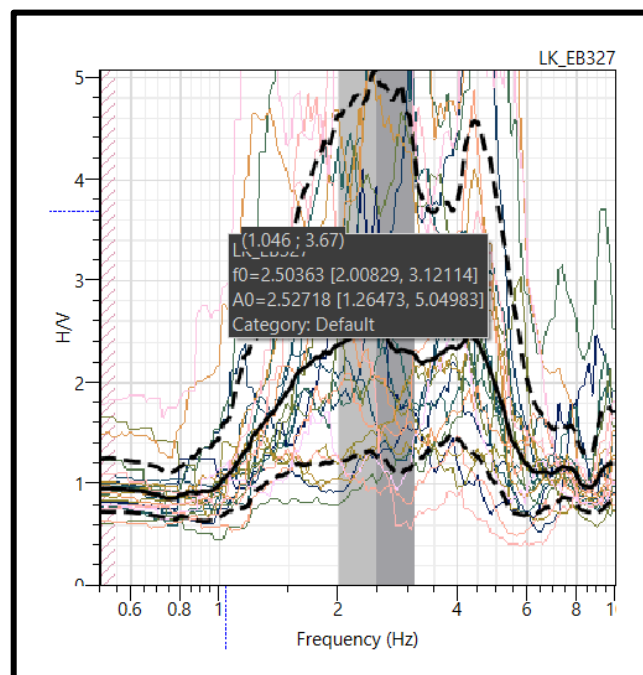
Gambar L-1. 27 Kurva HVSR Titik 31



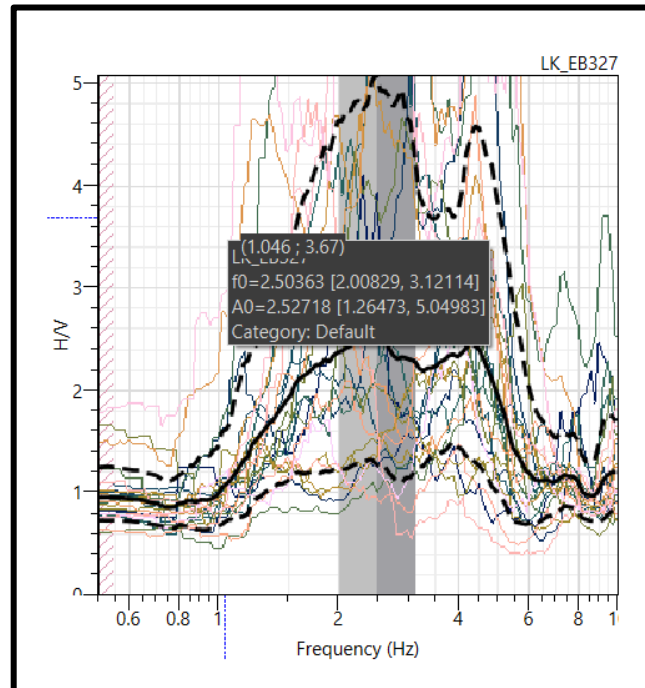
Gambar L-1. 28 Kurva HVSR Titik 32



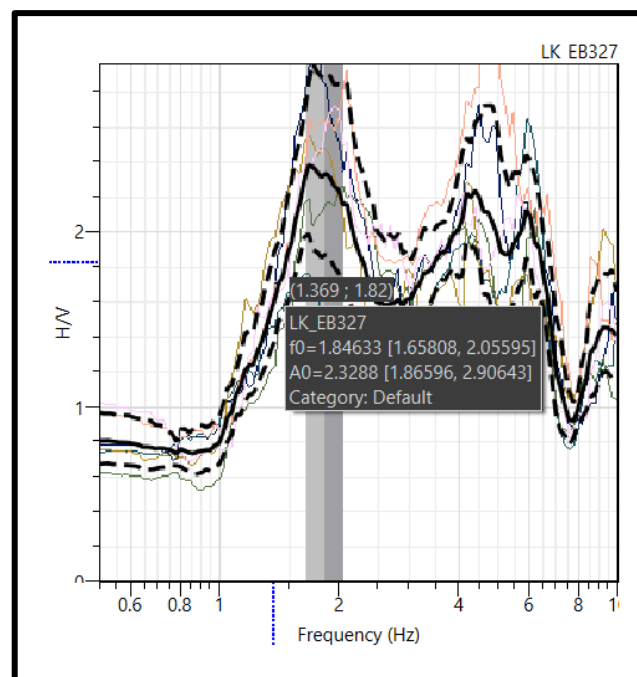
Gambar L-1. 29 Kurva HVSr Titik 34



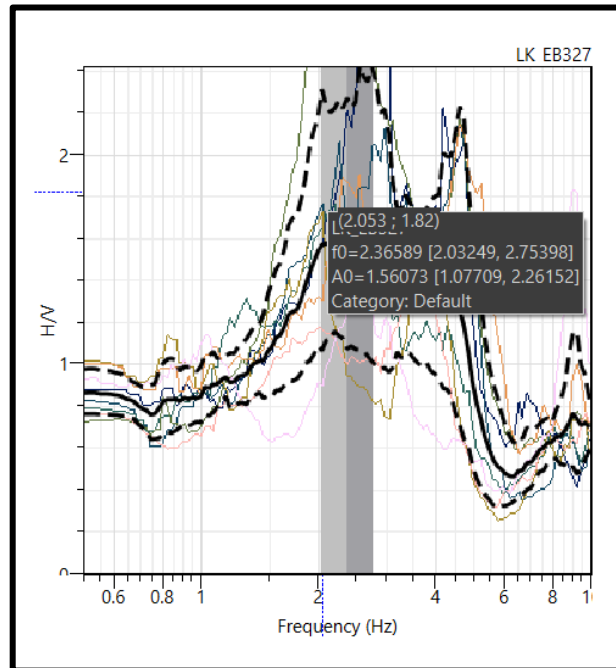
Gambar L-1. 30 Kurva HVSr Titik 34



Gambar L-1. 31 Kurva HVSr Titik 36



Gambar L-1. 32 Kurva HVSr Titik 37

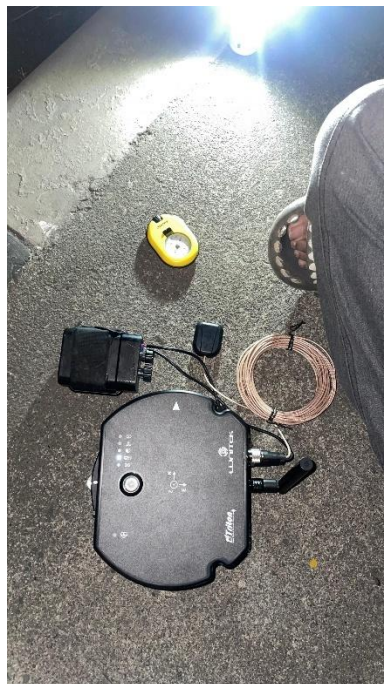


Gambar L-1. 33 Kurva HVSR Titik 38

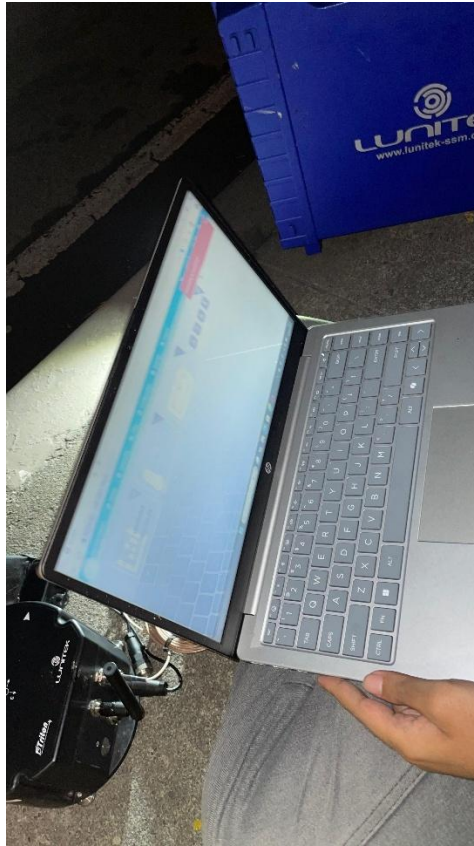
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-2. 1 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-2. 2 Dokumentasi Penelitian




Gambar L-2. 3 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 3 Surat Perizinan Penelitian Tugas Akhir di BBPJN Jawa Tengah – Daerah Istimewa Yogyakarta

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN</p>	<p>Geleang KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3200, 3201 F. (0274) 895330 E. deknat@pop.uii.ac.id M. pop.uii.ac.id</p>
<p>Nomor : 195/Sek. Prodi PSTS/20/TA/II/2025 Hal : Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir</p>		
<p>Kepada Yth: Kepala Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng - DIY Karangjati, Kec. Bergas, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah 50552</p>		
<p><i>Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,</i></p>		
<p>Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Prodi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksiplan. Dalam proses tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun Perusahaan Swasta/Proyek.</p>		
<p>Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan izin penelitian dan pengambilan data yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Prodi Teknik Sipil Program Sarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:</p>		
Nama	:	Ian Kurniawan
NIM	:	20511016
CP Mahasiswa	:	08813917379
Judul Tugas Akhir	:	Identifikasi Kelayakan Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor
<p>Adapun data yang diperlukan antara lain yaitu :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Spesifikasi material Jembatan Srandakan II 2. Gambar teknis/DED Jembatan Srandakan II 		
<p>Demikian permohonan dan pernyataan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.</p>		
<p><i>Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh.</i></p>		
 <p>Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana, Dina Anggraheni, S.T., M. Eng</p>	<p>Yogyakarta, 21 Februari 2025 Dosen Pembimbing Tugas Akhir,  Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.</p>	

Lampiran 4 Formulir Permohonan Informasi Publik BBPJN Jateng – D.I.Y



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA
BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL JAWA TENGAH-DI YOGYAKARTA
Jl. Soekarno-Hatta Km. 29 Karangati, Kab. Semarang, Telp.(0291) 6023333,Fax.(0291) 6023033, Email : bbpjn_jatengdy@pu.go.id

FORMULIR PERMOHONAN INFORMASI PUBLIK

Nomor Pendaftaran :
Tanggal : **27 Februari 2025**

Yang bertanda tangan di bawah ini, mengajukan permohonan informasi:
Cara Penyampaian Permintaan : 1. Langsung 2. E-PPID 3. Email 4. Via Pos

DATA PEMOHON INFORMASI

Nama : Ian Kurniawan
Nomor KTP (sesuai KTP) : 3404102110020004
Alamat Rumah : Bogem, RT.07/RW.03, Tamanmartani, Kalasan, Sleman, Yogyakarta.
Nomor Telepon : 08813917379
Email : Kurniawanian82@gmail.com
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat Kantor : Universitas Islam Indonesia

PENGJUAN PERMOHONAN INFORMASI

Rincian Informasi yang Dibutuhkan : Kebutuhan informasi/data mengenai Gambar Teknis/DED dan Spesifikasi material dari Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo.

Tujuan Penggunaan Informasi (Mohon diperinci) : Untuk olah data analisis struktur jembatan pada skripsi dengan judul "Identifikasi Kelayakan Jembatan Srandakan II Kabupaten Kulon Progo Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor"

Cara Memperoleh Informasi : 1. Melihat/membaca mendengarkan/mencatat
2. Mendapatkan salinan informasi (Hardcopy/Softcopy *)


Cara Mendapatkan Salinan Informasi 1. Diambil langsung
2. Email
3. Tidak dapat disalin

Informasi yang diperoleh tidak akan disalahgunakan dan hanya digunakan sebagaimana mestinya sesuai dengan tujuan permohonan tersebut diatas. Segala akibat hukum dari informasi ini setelah keluar dari Kantor Kementerian PUPR, menjadi tanggung jawab Pemohon/Pengguna informasi.

Petugas Pelayanan Informasi

(.....)

Pemohon Informasi


Ian Kurniawan

Keterangan :
1) Peryaratan :
Individu : KTP, KTM, ID Wargawan
Lembaga : ADI/ART
2) Dalam hal informasi publik yang diminta pemohon telah tersedia di situs Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, pemohon dapat mengunduh dan mencetak sendiri dari situs Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

*) Pelayanan informasi publik tidak dipungut biaya. Namun biaya penggandaan atau perekaman yang timbul ditanggung oleh Pemohon.

Informasi lebih lanjut hubungi petugas layanan informasi publik melalui Whatsapp: 0811-266-3464 atau email ppid.bbpgjatengdy@pu.go.id

TANDA TERIMA

Nomor Pendaftaran :
/PPID/BBPJN/JATENGDIY/ 2025

Tanggal :
Petugas :