

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KELAYAKAN JEMBATAN KRETEK I,
KABUPATEN BANTUL MENGGUNAKAN PENGUKURAN
MIKROTREMOR DENGAN *METODE HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSR)
(*FEASIBILITY ANALYSIS OF KRETEK I BRIDGE IN BANTUL
DISTRICT USING MICRO-TREMOR MEASUREMENT WITH
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)
METHOD*)**

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



RIDWAN IKRAR LEGAWA

20511230

**PROGAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2025

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KELAYAKAN JEMBATAN KRETEK I,
KABUPATEN BANTUL MENGGUNAKAN PENGUKURAN
MIKROTREMOR DENGAN *METODE HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr)*
(*FEASIBILITY ANALYSIS OF KRETEK I BRIDGE IN BANTUL
DISTRICT USING MICRO-TREMOR MEASUREMENT WITH
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr)
METHOD*)**

Disusun Oleh

**Ridwan Ikrar Legawa
20511230**


Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 13 Februari 2025

Oleh Dewan Penguji



Pembimbing

 18/2/2025

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

NIP : 185111304


Penguji 1

 18/2/2025

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

NIP : 095110101

Penguji 2

 19.02.25

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

NIP : 165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



 20/2/2025

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

NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan penelitian Tugas Akhir berikut yang saya susun sebagai syarat kelulusan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil penyusunan milik saya sendiri. Terdapat bagian – bagian tertentu dalam penulisan yang dikutip dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan aturan, kaidah, dan etika penulisan. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiasi pada laporan Tugas Akhir ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 13 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Ridwan Ikrar Legawa

(20511230)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbil'alaamiin*, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Kelayakan Jembatan Kretek I, Kabupaten Bantul Menggunakan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode *Horizontal to vertical Spectral Ratio (HVSR)*”**. 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.

Selawat dan salam tidak lupa penulis sampaikan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita menuju keterangan. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir, penulis menyadari adanya banyak rintangan yang dihadapi. Namun karena dukungan, kritik dan saran dari banyak pihak penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih untuk segala 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 dukungan dan juga doa,
4. Naufal Isa Haidar dan Muhamad Ridwan selaku partner saya dalam menyelesaikan Tugas akhir ini,
5. Teman – teman seperjuangan kuliah, yang selalu mendukung penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir,
6. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap Proposal Tugas Akhir ini dapat menjadi manfaat bagi penulis dan juga pembaca, dan juga dengan selesainya Proposal Tugas Akhir ini penulis berharap dapat menyelesaikan tahap – tahap selanjutnya sesuai dengan target.

Yogyakarta, 13 Februari 2025

Penulis,



Ridwan Ikrar Legawa

20511230

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>Abstract</i>	xvi
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 Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian terdahulu	5
2.1.1 Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor dengan <i>Metode Horizontal to Vertikal Spektral Ratio</i> (HVSR)	5
2.1.2 Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrometer	7
2.1.3 Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor	9
2.1.4 Analisis Frekuensi Resonansi Jembatan Bantar III Bantul Yogyakarta Terhadap Kejadian Gempabumi Yogyakarta	11

2.1.5	Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio dan Pergerakan Partikel	12
2.2	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan	14
BAB III LANDASAN TEORI		17
3.1	Jembatan	17
3.1.1	Definisi Jembatan	17
3.1.2	Jenis-Jenis Jembatan	18
3.1.3	Tipe-tipe Jembatan Rangka Baja	22
3.1.4	Material Baja	23
3.1.5	Material Beton	24
3.1.6	Pembebanan Jembatan	24
3.1.7	Material Jembatan	30
3.1.8	Penilaian Kondisi Jembatan	30
3.2	Mikrotremor	32
3.3	<i>Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)</i>	33
3.4	Frekuensi Natural Struktur (f_0)	34
3.5	Frekuensi Teoritis	34
3.6	Analisis Kelayakan Jembatan	35
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		36
4.1	Lokasi Penelitian	36
4.2	Data Yang Diperlukan	36
4.2.1	Data Dimensi dan Profil Jembatan	37
4.2.2	Material Jembatan	42
4.3	Peralatan	43
4.4	Teknik Pengumpulan Data	45
4.5	Pengolahan Data	47
4.5.1	Data Mikrotremor	47
4.5.2	Perhitungan Frekuensi Natural (F_0)	47
4.5.3	Perhitungan Frekuensi Teoritis	49
4.5.4	Peta Kerentanan Jembatan	50
4.6	Diagram Alur Penelitian	51

BAB V PEMBAHASAN	52
5.1 Analisis HVSR	52
5.1.1 Pengambilan Data di Lapangan	52
5.1.2 Analisis Data <i>Geopsy</i>	54
5.1.3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan	58
5.2 Analisis Frekuensi Teoritis Jembatan SAP2000	59
5.2.1 Analisis Pembebanan	59
5.2.2 Permodelan Struktur Jembatan	65
5.2.3 Hasil Analisis SAP2000	76
5.3 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan	76
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	83
6.1 Kesimpulan	83
6.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Frekuensi Natural Jembatan dan Gempabumi	12
Tabel 2. 2 Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio fekuensi	13
Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	15
Tabel 3.1 Sifat Mekanis Baja Struktural	23
Tabel 3.2 Berat isi untuk Beban Mati	25
Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	25
Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	26
Tabel 3.5 Karakteristik Struktur Baja Berdasarkan Tahun Pembangunan	30
Tabel 3. 6	30
Tabel 3. 6 Kuat Tekan Minimum Beton Berdasarkan Tahun Pembangunannya	30
Tabel 3.7 Penilaian Kondisi Jembatan	32
Tabel 4.1 Dimensi Profil Rangka	42
Tabel 5. 1 Nilai Frekuensi Natural JembatanKretek 1 Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta	58
Tabel 5. 2 Format File Data	77
Tabel 5. 3 Perhitungan Nilai Kerusakan Relatif	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil data lapangan	6
Gambar 2.2 Hasil picking lapangan	6
Gambar 2.3 Hasil frekuensi alami titik 1 arah barat	6
Gambar 2.4 Hasil frekuensi alami titik 1 arah timur	7
Gambar 2.5 Hasil data lapangan	8
Gambar 2.6 Hasil picking lapangan.	8
Gambar 2.7 Kurva HVSR ketika tidak dilewati kereta	8
Gambar 2.8 Kurva HVSR ketika dilewati kereta	9
Gambar 2.9 Nilai hasil frekuensi natural tanah pada titik 1	10
Gambar 2.10 Nilai hasil frekuensi natural jembatan pada titik 1	10
Gambar 2.11 Sinyal dan Spektrum Frekuensi Getaran Jembatan bentang 1	11
Gambar 2.12 Spektrum frekuensi gempa tanggal 13 mei 2009	11
Gambar 2. 13 Sebaran nilai frekuensi alamiah di atas jembatan	13
Gambar 2. 14 Sebaran nilai frekuensi alamiah di atas jembatan	14
Gambar 3.1 Penentu Tipe Jembatan	21
Gambar 3.2 Susunan Geometri Jembatan Rangka Baja	22
Gambar 3.3 Beban Lajur “D”	27
Gambar 3.4 Beban Truk “T”	27
Gambar 3.5 Faktor Beban Dinamis (FBD)	29
Gambar 3. 6 Hasil Perekaman Mikrotremor	32
Gambar 3.7 Kurva HVSR	33
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	36
Gambar 4. 2 Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Samping	38
Gambar 4. 3 Detail Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Samping	38
Gambar 4.4 Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Atas	39
Gambar 4.5 Detail Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Atas	39
Gambar 4.6 Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Bawah	40

Gambar 4.7 Detail Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Bawah	40
Gambar 4. 8 Visualisasi 3 Dimensi jembatan	41
Gambar 4. 9 Perangkat Keras (Hardware)	44
Gambar 4. 10 Titik Penelitian Pada Struktur Atas	46
Gambar 4. 11 Contoh Windowing Sinyal	48
Gambar 4. 12 Kurva H/V	48
Gambar 4. 13 Diagram Alur Penelitian	51
Gambar 5. 1 Persiapan Instrumen Alat Pengukuran Mikrometer	52
Gambar 5. 2 Instrumen Alat	53
Gambar 5. 3 Proes Perekaman Sinyal Mikrotremor	53
Gambar 5. 4 Peta Persebaran Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor	54
Gambar 5. 5 Grafik Pengolahan Data Sinyal Mikrotremor Titik 8 Menggunakan Software Geopsy	55
Gambar 5. 6 Filtering Option Untuk Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 8	56
Gambar 5. 7 Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 8	56
Gambar 5. 8 Grafik Kurva HVSR Titik 8	57
Gambar 5. 9 Nilai Puncak Grafik Kurva HVSR Titik 8	57
Gambar 5. 10 Output Berat Mati Sendiri	59
Gambar 5. 11 Beban Lapisan Aspal + Overlay	60
Gambar 5. 12 Beban Trotoar	61
Gambar 5. 13 Beban Pipa Railling	61
Gambar 5. 14 Beban Terbagi Merata (BTR)	62
Gambar 5. 15 Beban Garis Terpusat (BGT)	63
Gambar 5. 16 Beban Truk “T”	63
Gambar 5. 17 Pembebanan PB1 dan PB2	64
Gambar 5. 18 Beban Pejalan Kaki	65
Gambar 5. 19 Tempelate 2D Trusses	66
Gambar 5. 20 Penyesuaian Posisi Batang Rangka Utama	66
Gambar 5. 21 Material Property Data Baja	67
Gambar 5. 22 Material Property Data Beton	67
Gambar 5. 23 Input Frame Section properties	68

Gambar 5. 24 Input Frame Batang Bracing Atas (BA1)	68
Gambar 5. 25 Input Frame Batang Bracing Bawah (BB)	69
Gambar 5. 26 Input Frame Batang Tepi Atas (BTA)	69
Gambar 5. 27 Input Frame Batang Tepi Bawah (BTB)	70
Gambar 5. 28 Input Frame Batang Diagonal (D1)	70
Gambar 5. 29 Input Frame Batang Gelagar Melintang (GM)	71
Gambar 5. 30 Hasil Permodelan Struktur Rangka Jembatan	71
Gambar 5. 31 Define Area Section	72
Gambar 5. 32 Draw Area Section	72
Gambar 5. 33 Joint Offset Overwrites Pelat Lantai	73
Gambar 5. 34 Posisi Pelat Lantai Setelah Offset	73
Gambar 5. 35 Arah Sumbu Momen	74
Gambar 5. 36 Releases Partial Fixity	74
Gambar 5. 37 Load Assignment	75
Gambar 5. 38 Define Load Combination	75
Gambar 5. 39 Frekuensi Teoritis Jembatan	76
Gambar 5. 40 Tampilan Data Type	77
Gambar 5. 41 Tampilan Peta Kontur	78
Gambar 5. 42 Peta Kontur	79
Gambar 5. 43 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan Kretek I kabupaten Bantul	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR	88
Lampiran 2 Gambar Lokasi Penelitian Jembatan Kretek I Kabupaten Bantul	96
Lampiran 3 Gambar Titik Penelitian Jembatan Kretek I Kabupaten Bantul	97
Lampiran 4 Gambar Peta Persebaran Frekuensi Jembatan Kretek I Kabupaten Bantul	98
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian	99
Lampiran 6 Surat Perizinan Penelitian di BBPJN Jawa Tengah – D.I Yogyakarta	102
Lampiran 7 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari BBPJN Jawa Tengah – D.I Yogyakarta	103
Lampiran 8 Surat Perizinan Penelitian di Desa Donotirto	104
Lampiran 9 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari Desa Donotirto	105

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

HVSR	= Horizontal to Vertikal Spektral Rasio
MS	= Berat Sendiri
MA	= Beban Mati Tambahan
TD	= Beban Lajur “D”
BTR	= Beban Terbagi Merata
BGT	= Beban Garis Terpusat
q	= Beban Terbagi Rata (BTR) Dalam Arah Memanjang
L	= Panjang Total Bentang Jembatan
FBD	= Faktor Beban Dinamis
L_{av}	= Panjang Bentang Rata-Rata
L_{max}	= Panjang Bentang Maksimum
TB	= Gaya Rem
PB1	= Gaya Rem Titik Buhul Atas
PB2	= Gaya Rem Titik Buhul Bawah
TP	= Beban Pejalan Kaki
F0	= Frekuensi Natural
T_{SITE}	= Rasio Spektrum Mikrotremor
$SH_{North-South}$	= Sinyal Horizontal Arah Utara Dan Selatan
$SH_{East-West}$	= Sinyal Horizontal Arah Timur Dan Barat
S_{VS}	= Sinyal Vertikal
EW	= East-West
NS	= North-South
F’c	= Mutu Beton
Fu	= Tegangan Putus
Fy	= Tegangan Leleh

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian kelayakan Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul dengan meninjau nilai frekuensi natural jembatan menggunakan mikrotremor dan nilai frekuensi teoritis jembatan menggunakan permodelan SAP2000. Tujuan Penelitian ini adalah mengetahui nilai frekuensi natural jembatan, nilai frekuensi teoritis jembatan, Peta persebaran jembatan, dan mengetahui kerusakan relatif struktur atas jembatan. Pada penelitian ini jembatan Kretek I sebagai objek karena berada di atas Sungai Opak dan termasuk daerah rawan bencana gempa bumi dan termasuk kategori jembatan tua yang dibangun tahun 1989 dan rentan terhadap aktivitas seismik di Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mengukur frekuensi natural jembatan berdasarkan data mikrotremor, yang kemudian dibandingkan dengan frekuensi teoritis dari pemodelan *SAP2000*. Hasil penelitian mendapatkan nilai frekuensi natural rata-rata jembatan berdasarkan pengukuran mikrotremor sebesar 1,023 Hz, sedangkan hasil pemodelan *SAP2000* menunjukkan frekuensi teoritis sebesar 1,081 Hz, dan kerusakan relatif yang didapatkan sebesar 5,312%. Peta persebaran frekuensi menunjukkan nilai frekuensi lebih tinggi di tengah bentang jembatan dan lebih rendah di daerah tumpuan jembatan. Berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B, yang menyatakan bahwa kerusakan relatif antara 1% hingga 5% dikategorikan dalam keadaan utuh dan kondisi jembatan ini dapat dinilai dalam kategori baik namun mendekati kondisi cukup dengan jenis kerusakan (non struktural). Artinya, tetap dimungkinkan ada indikasi kerusakan yang kecil tetapi tidak memengaruhi elemen struktural utama jembatan. Meski demikian, kerusakan tersebut tidak bersifat kritis dan masih dalam batas aman untuk penggunaan dengan perawatan secara teratur.

Kata Kunci: Mikrotremor, HVSr, frekuensi natural, frekuensi teoritis, SAP2000

Abstract

A feasibility study of the Kretek I Bridge in Bantul Regency has been conducted by examining the natural frequency value of the bridge using microtremor and the theoretical frequency value of the bridge using SAP2000 modeling. The purpose of this study was to determine the natural frequency value of the bridge, the theoretical frequency value of the bridge, the bridge distribution map, and to determine the relative damage to the bridge's upper structure. In this study, the Kretek I Bridge was used as an object because it is located above the Opak River and is an earthquake-prone area and is included in the category of old bridges built in 1989 and is prone to seismic activity in Yogyakarta. This study uses the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method to measure the natural frequency of the bridge based on microtremor data which is then compared with the theoretical frequency of the SAP2000 modeling results. The results of the study obtained an average natural frequency value of the bridge based on microtremor measurements of 1.023 Hz, while the results of SAP2000 modeling showed a theoretical frequency of 1.081 Hz, and the relative damage obtained was 5.312%. The frequency distribution map shows a higher frequency value in the middle of the bridge span and lower in the bridge support area. Based on Construction and Building Guidelines Number: Pt T-05-2002-B which states that relative damage between 1% to 5% is categorized as intact and the condition of this bridge can be assessed in the good category but approaching sufficient condition with the type of damage (non-structural). This means that there is still a possibility of minor damage but does not affect the main structural elements of the bridge. However, the damage is not critical and is still within safe limits for use with routine maintenance.

Keywords: *Microtremor, HVSR, Natural Frequency, Theoretical Frequency, SAP2000*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Pasalnya, Indonesia terletak pada jalur gempa paling aktif di dunia yang terletak di Lingkaran Api Pasifik dengan pertemuan tiga lempeng benua. Di sebelah selatan terdapat Lempeng Indo-Australia, di sebelah utara terdapat Lempeng Eurasia, dan di sebelah timur yaitu Lempeng Pasifik.

Daerah Istimewa Yogyakarta terletak di antara dua lempeng, yaitu lempeng India-Australia yang bergerak ke utara dan lempeng Eurasia yang bergerak ke selatan. Akibat pergerakan lempeng tersebut, daerah ini selalu mengalami gempa bumi. Pada tanggal 27 Mei 2006, Jogjakarta mengalami gempa bumi besar yang disebabkan oleh aktivitas sesar opak berkekuatan 6,3 skala Richter dan menimbulkan berbagai kerusakan, salah satunya kerusakan infrastruktur seperti jembatan.

Kendaraan yang melewati jembatan menghasilkan getaran dengan amplitudo rendah yang disebut mikrotremor (Darko et al., 2020). Mikrotremor adalah getaran yang terjadi secara acak dan terus-menerus yang disebabkan oleh alam dan aktivitas manusia, seperti lalu lintas (Sitorus et al., 2017). Mikrovisbrasi dapat digunakan untuk melihat kondisi struktur jembatan, baik atau tidak. Dalam pengolahan data mikrotremor, metode rasio spektral *horizontal-vertikal* (HVSR) sudah banyak dikenal.

Metode HVSR merupakan salah satu metode pengumpulan data geofisika yang paling sederhana dan efektif (Helbary et al., 2019). Pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR dilakukan langsung dengan sumber getaran alami sehingga tidak diperlukan sumber getaran buatan. Metode HVSR dapat digunakan tanpa merusak bangunan. Parameter penting yang diperoleh dari metode HVSR adalah

frekuensi natural jembatan. Frekuensi Alami adalah frekuensi alami suatu struktur, yang cenderung berosilasi bila struktur tersebut terganggu.

Frekuensi jembatan mengacu pada respons dinamis struktur terhadap beban dan getaran, memiliki hubungan erat dengan nilai kelayakan jembatan. Frekuensi alami jembatan dapat digunakan untuk menilai kondisinya, di mana perubahan signifikan dalam frekuensi dapat mengindikasikan adanya kerusakan, kelelahan material, atau degradasi struktural. Jembatan yang masih layak pakai umumnya memiliki frekuensi alami yang stabil sesuai dengan perencanaan awal, sementara penurunan frekuensi dapat menunjukkan penurunan kekakuan akibat retak, korosi, atau perubahan beban. Oleh karena itu, pemantauan frekuensi jembatan menjadi metode penting dalam evaluasi kelayakan jembatan.

Berdasarkan kondisi geologi Jembatan Kretek I yang berada di atas Sungai Opak yang termasuk daerah rawan bencana gempa bumi dan termasuk kategori jembatan tua yang dibangun tahun 1989 di Yogyakarta, maka peneliti tertarik untuk menyelidiki nilai kelayakan pada Jembatan Kretek I Sungai Opak Yogyakarta. Dengan adanya nilai kelayakan pada Jembatan Kretek I diharapkan dapat menjadi referensi serta landasan yang tepat dalam rencana perawatan dan perbaikan jembatan untuk memastikan keamanan serta umur layanan jembatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapakah nilai frekuensi natural (f_0) Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang didapatkan dari pengukuran mikrotemor?
2. Berapakah nilai frekuensi teoritis Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang didapatkan dari permodelan *SAP2000*?
3. Bagaimana peta kerentanan Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang didapatkan dari permodelan *software surfer* ?
4. Bagaimana kelayakan Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang ditinjau dari perhitungan nilai frekuensi natural (f_0) dan frekuensi teoritis jembatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian yang didasarkan pada rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan nilai frekuensi natural (f_0) Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang didapatkan dari pengukuran mikrotremor.
2. Mendapatkan nilai frekuensi teoritis Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang didapatkan dari permodelan *SAP2000*.
3. Menghasilkan peta kerentanan di Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang didapatkan dari permodelan *software surfer?*
4. Mengidentifikasi hasil kelayakan Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul yang ditinjau dari perhitungan nilai frekuensi natural (f_0) dan frekuensi teoritis jembatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari adanya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi data mengenai tingkat kelayakan Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul berdasarkan analisis perhitungan nilai frekuensi natural jembatan (f_0) dari pengukuran mikrotremor dan frekuensi teoritis dari permodelan *SAP2000*.
2. Hasil penelitian dapat berfungsi sebagai pedoman dasar atau referensi teknis dalam rencana perawatan dan perbaikan jembatan secara optimal.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan bahan referensi ilmiah dan sumber literatur untuk mendukung serta mengembangkan penelitian berikutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di lokasi Jembatan Kretek I Kapanewon Kretek, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Pengambilan data dilakukan 14 titik yang terletak di struktur atas jembatan.
3. Analisis perhitungan struktur hanya dilakukan pada struktur atas jembatan.

4. Analisis pembebanan jembatan menggunakan peraturan SNI 1725:2016 yang mengatur tentang pembebanan jembatan dan hanya memasukan beban mati dan beban lalu lintas.
5. Informasi yang didapatkan pada penelitian ini berupa nilai frekuensi natural jembatan (f_0), frekuensi teoritis jembatan, peta kerentanan jembatan dan analisis perhitungan kelayakan struktur jembatan Kretek 1 di Kabupaten Bantul.
6. Pengukuran getaran mikrotremor menggunakan *digital seismograph* dengan merek Lunitek Triton 5s.
7. Pengukuran mikrotremor pada penelitian ini mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

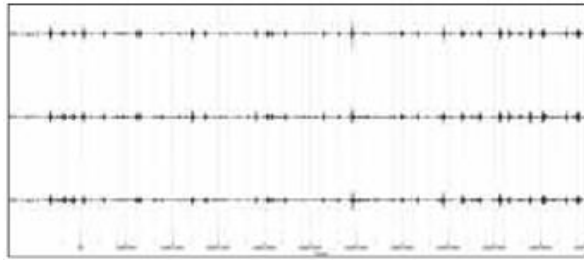
2.1 Penelitian terdahulu

Penelitian sebelumnya tentang kelayakan pada jembatan telah menyoroti pentingnya pemahaman mendalam tentang jembatan untuk mengidentifikasi potensi risiko dan merancang struktur yang lebih tahan terhadap getaran. Dengan demikian penelitian terdahulu dapat dimanfaatkan penulis sebagai referensi dalam melakukan penelitian yang serupa. Berikut ini penelitian terdahulu yang dirujuk dalam penelitian ini.

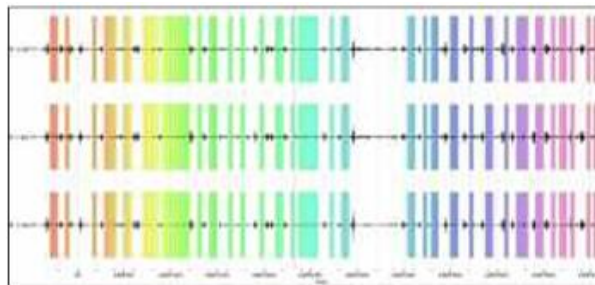
2.1.1 Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor dengan *Metode Horizontal to Vertikal Spektral Ratio (HVSR)*

Dwi Syaputra *et al* (2019) melakukan Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor dengan *Metode Horizontal to Vertikal Spektral Ratio (HVSR)*. Latar belakang penelitian ini adalah mengetahui nilai frekuensi alami jembatan menggunakan *Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)* serta mengetahui kerusakan relatif atas Jembatan. Untuk mendapatkan nilai frekuensi alami jembatan menggunakan sensor Mikrotremor yang langsung diletakan dijembatan dengan *software geopsy* untuk mengolah datanya serta menggunakan metode HVSR.

Penelitian ini dilakukan di kawasan Jembatan Batanghari II Kota Jambi, jalan Jembatan Batanghari II, Tj. Johor, Kecamatan Pelayangan, Kota Jambi, Jambi. Waktu penelitian ini dalam pengambilan data dilakukan selama 8 hari dari tanggal 3– 10 Mei 2018. Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu menentukan nilai frekuensi alami. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan data lapangan yang akan di tunjukan pada **Gambar 2.1** dan hasil *picking* lapangan akan di tunjukan pada **Gambar 2.2** berikut.

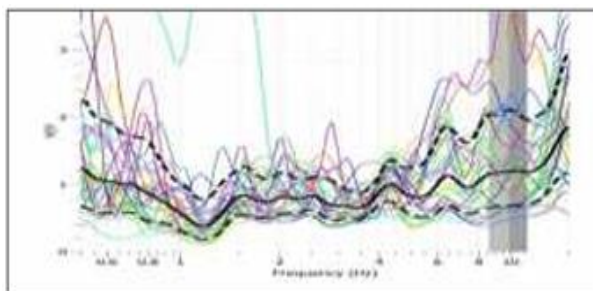


Gambar 2.1 Hasil data lapangan
(Dwi Syaputra et al., 2019)

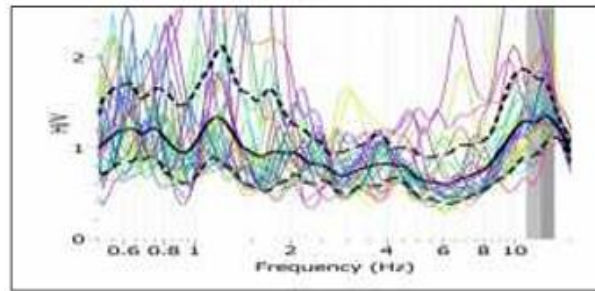


Gambar 2.2 Hasil picking lapangan
(Dwi Syaputra et al., 2019)

Berdasarkan hasil pengolahan data microtremor yang telah dilakukan dan telah melalui tahap *picking* dan *filtering* maka didapatkan grafik kurva H/V frekuensi alami yang dilakukan pada titik 1-6. Berikut grafik kurva H/V salah satu titik pada titik 1 arah barat yang akan di tunjukan pada **Gambar 2.3** dan grafik kurva H/V salah satu titik pada titik 1 arah timur yang akan di tunjukan pada **Gambar 2.4** berikut.



Gambar 2.3 Hasil frekuensi alami titik 1 arah barat
(Dwi Syaputra et al., 2019)



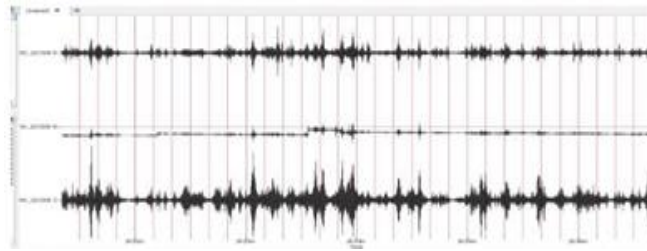
Gambar 2.4 Hasil frekuensi alami titik 1 arah timur
(Dwi Syaputra et al., 2019)

Selain itu hasil yang didapat dari penelitian ini adalah nilai frekuensi alami tanah di sekitar jembatan Batanghari II pada penyangga 1 adalah 12.7489 Hz dan penyangga 2 adalah 13.6343 Hz. Dapat dikatakan secara literatur pada Tabel 1 jenis tanah pada Jembatan Batanghari II termasuk ke dalam klasifikasi tanah jenis 1 yang kondisi tanahnya merupakan batuan tersier atau yang lebih tua terdiri dari batuan *hard sandy* dan *gravel*.

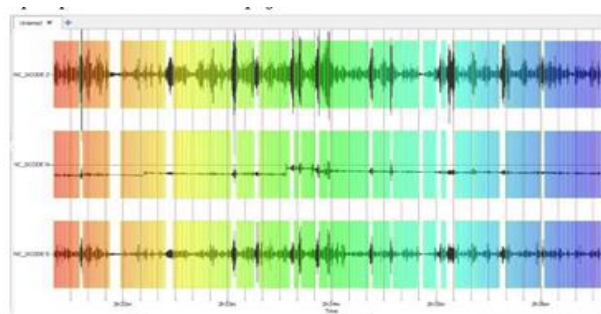
2.1.2 Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrometer

Maulana & Kusumawardani (2020) melakukan Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrometer. Penelitian ini membahas perilaku respons dinamik dari struktur jembatan. Dengan mencari nilai getaran, penelitian ini menggunakan sensor *accelerometer* dan alat *seismic monitoring* pada jembatan rangka batang. Sensor diletakkan pada setengah dan sepertiga bentang. Kemudian, hasil dari penelitian membandingkan respons jembatan ketika dilewati kereta api penumpang dengan kereta api barang.

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan pengukuran mikrotremor. Pengukuran dilakukan di 2 titik yang berada di tengah bentang dan di 1/3 bentang jembatan. Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu menentukan nilai frekuensi alami. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan data lapangan yang akan di tunjukan pada **Gambar 2.5** dan hasil *picking* lapangan akan di tunjukan pada **Gambar 2.6** berikut.

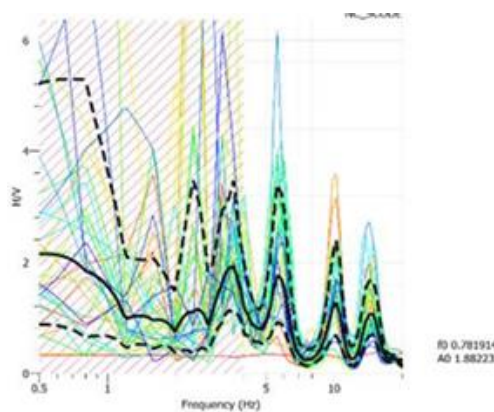


Gambar 2.5 Hasil data lapangan
(Maulana & Kusumawardani, 2020)

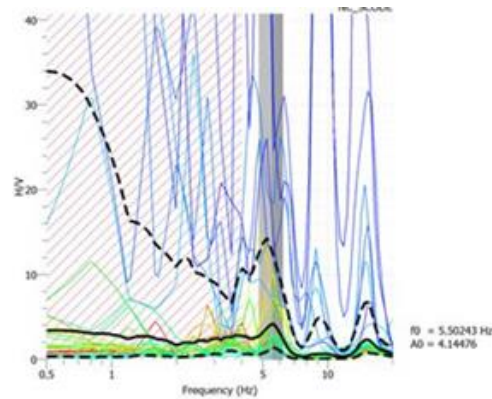


Gambar 2.6 Hasil picking lapangan.
(Maulana & Kusumawardani, 2020)

Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor yang telah dilakukan dan telah melalui tahap *picking* dan *filtering* maka didapatkan kurva HVSR ketika tidak dilewati kereta di tunjukan pada **Gambar 2.7** dan kurva HVSR ketika dilewati kereta di tunjukan pada **Gambar 2.8** berikut.



Gambar 2.7 Kurva HVSR ketika tidak dilewati kereta
(Maulana & Kusumawardani, 2020)



Gambar 2.8 Kurva HVSR ketika dilewati kereta
(Maulana & Kusumawardani, 2020)

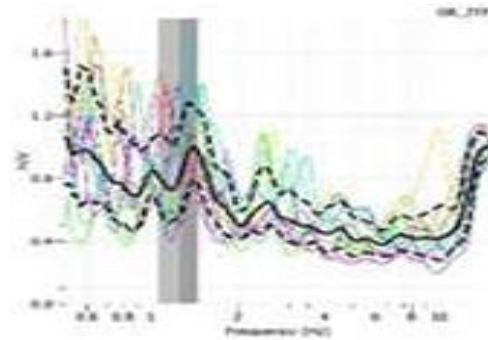
Dari pengolahan data menggunakan *software Geopsy* didapat nilai frekuensi natural struktur sebesar 0.78 Hz dan amplitudo 1.88. Sementara nilai frekuensi natural saat kereta melintas sebesar 1.03 Hz – 5.77 Hz dan amplitudo sebesar 1.70 – 4.14. Nilai frekuensi terbesar terjadi ketika kereta Argo Anggrek melintas dengan kecepatan 78.86 km/jam yang menghasilkan frekuensi natural 5.50 Hz dan amplitudo 4.14. Selain itu hasil yang didapat dari penelitian ini adalah data penelitian yang didapat dari alat *accelerometer*, percepatan getaran akibat beban kereta api sebesar 0.36 m/s² – 1.37 m/s² untuk arah x, 0.45 m/s² – 1.63 m/s² untuk arah y dan 1.05 m/s² – 1.31 m/s² untuk arah z.

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

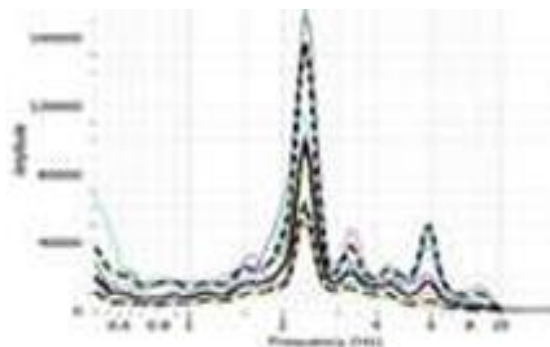
Mutaram *et al* (2022) melakukan Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrotremor. Latar belakang dilakukan penelitian ini untuk menetapkan nilai jembatan itu karakteristik dinamis serta kelayakan jembatan dan frekuensi alami dari uji dinamis digunakan untuk membandingkan fekuensi natural dengan frekuensi teoritis di mana pada pengujian ini menggunakan metode HVSR untuk analisis data di lapangan dan FSR untuk menganalisis data jembatan.

Pengukuran mikrotremor dilakukan di wilayah Kabupaten Aceh Utara yang meliputi dua jenis jembatan yaitu jembatan rangka baja dan jembatan beton bertulang . Data titik pengukuran mikrotremor pada jembatan diperoleh dengan

menggunakan seperangkat alat sensor *Geobit Instruments model S-20 Near Broad Band Seismik Sensor*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan nilai hasil frekuensi natural tanah salah satu titik pada titik 1 akan ditunjukkan pada **Gambar 2.9** dan nilai hasil frekuensi natural jembatan salah satu titik pada titik 1.1 EW akan ditunjukkan pada **Gambar 2.10** berikut.



Gambar 2.9 Nilai hasil frekuensi natural tanah pada titik 1
(Mutaram et al, 2022)

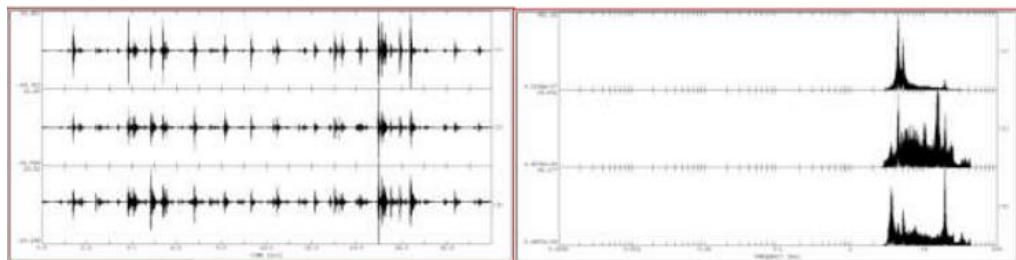


Gambar 2.10 Nilai hasil frekuensi natural jembatan pada titik 1
(Mutaram et al, 2022)

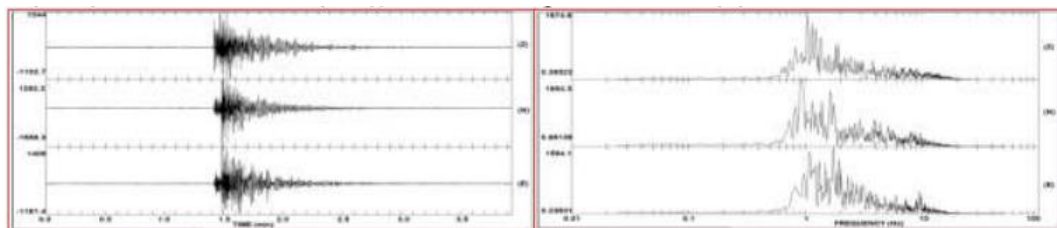
Selain itu hasil yang didapat dari penelitian ini adalah uji kelayakan jembatan mendapatkan nilai frekuensi dan periode getar alami bernilai positif artinya hasil pengukuran lebih besar dari teoritis maka dapat dikatakan bahwa baik uji dinamik memberikan kecenderungan yang sama yaitu struktur lebih kaku daripada hasil perhitungan secara teoritis dengan rata-rata 7,24%. Hal ini menunjukkan kekakuan aktual struktur jembatan lebih tinggi dibandingkan prediksi kekakuan teoritisnya, maka jembatan dikatakan mempunyai performa yang baik.

2.1.4 Analisis Frekuensi Resonansi Jembatan Bantar III Bantul Yogyakarta Terhadap Kejadian Gempabumi Yogyakarta

Demulawa *et al* (2022) melakukan Analisis Frekuensi Resonansi Jembatan Bantar III Bantul Yogyakarta Terhadap Kejadian Gempa bumi Yogyakarta. Peneliti tertarik melakukan penelitian getaran di jembatan Bantar III Kali Progo Yogyakarta dengan menggunakan alat perekam getaran (*Accelerometer*). Jembatan ini merupakan salah satu jembatan terpanjang dengan panjang bentang 224meter dan lebar 5 meter. Jembatan ini adalah jembatan Nasional yang setiap harinya dilalui oleh kendaraan berat maupun ringan yang berasal dari dalam dan luar Yogyakarta. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan data sinyal dan *spektrum* yang di tunjukan pada **Gambar 2.11** serta nilai Spektrum frekuensi gempa tanggal 13 mei 2009 yang di tunjukan pada **Gambar 2.12** berikut.



Gambar 2.11 Sinyal dan Spektrum Frekuensi Getaran Jembatan bentang 1
(Demulawa *et al.*, 2022)



Gambar 2.12 Spektrum frekuensi gempa tanggal 13 mei 2009
(Demulawa *et al.*, 2022)

Perbandingan antara frekuensi natural jembatan dengan gempa bumi terlihat adanya peluang terjadinya resonansi di jembatan tersebut sangat kecil. Hal ini dikarenakan frekuensi struktur jembatan masih lebih besar dari pada frekuensi gempa, yang berarti jembatan Bantar III Yogyakarta aman terhadap peristiwa gempa. Berikut Perbandingan Frekuensi Natural Jembatan dan Gempa bumi yang di tunjukan pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Frekuensi Natural Jembatan dan Gempabumi

Bentang Jembatan	Frekuensi (Hz)	
	Jembatan	Gempabumi
I	5	1 – 3,3
II	3,6	
III	3,5	
IV	3,5	
V	3,6	
VI	5	

2.1.5 Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio dan Pergerakan Partikel

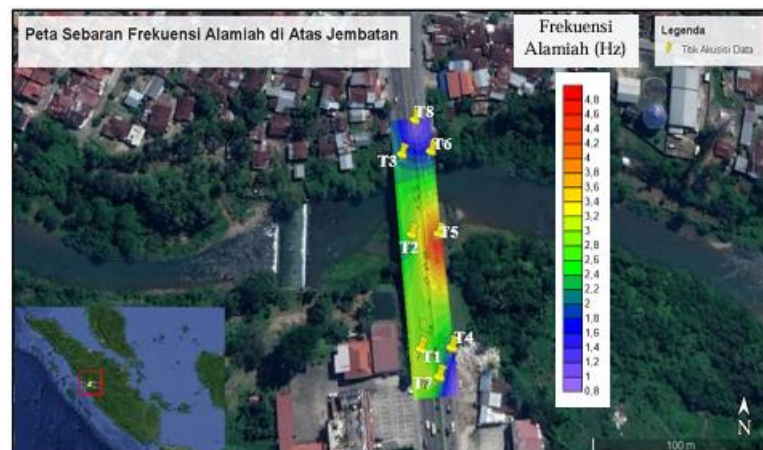
Annisa & Pohan (2023) melakukan Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan *Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio* dan Pergerakan Partikel. Evaluasi kondisi jembatan diperlukan untuk melihat keadaan jembatan sebagai tindakan pencegahan terjadi kerusakan yang lebih besar pada struktur jembatan.

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan pengukuran mikrotremor. Pengukuran dilakukan di 12 titik dengan durasi perekaman 90 menit dan dilakukan pada struktur atas dan bawah jembatan. Hasil pengukuran mikrotremor diolah menggunakan *Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dan pergerakan partikel (*particle motion*) menggunakan *Software Geopsy*. Untuk menentukan kondisi jembatan ditentukan nilai rasio frekuensi alamiah yang didapatkan dari pengolahan nilai frekuensi alamiah. Pada analisis kurva HVSR dihasilkan nilai frekuensi alamiah di mana nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio frekuensi di tunjukan pada **Tabel 2.2** berikut.

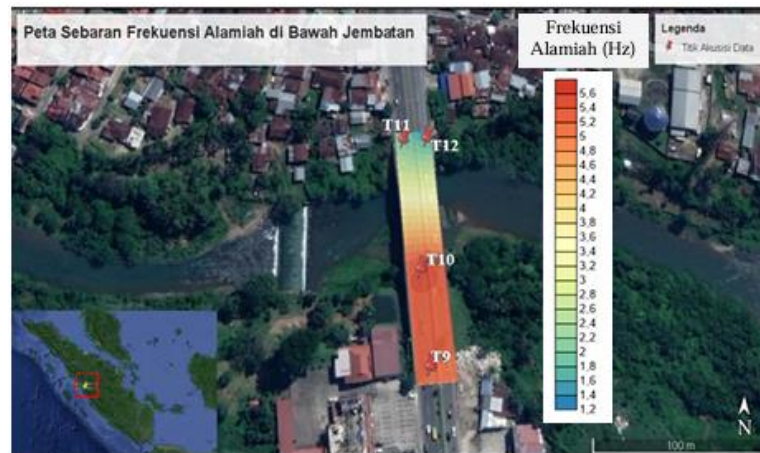
Tabel 2. 2 Nilai kondisi jembatan berdasarkan rasio fekuensi

No	Visual Keterangan Cacat	Pemeliharaan Program	Rasio frekuensi K (%)
1	Elemen-Elemen jembatan berada dalam kondisi baik dan tidak ditemukan adanya cacat memerlukan perawatan rutin	Tidak diperlukan perbaikan (hanya perawatan secara rutin)	$0 < K \leq 2,5$
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	$7,5 < K \leq 15,0$
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	$K > 27,5$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan nilai frekuensi alamiah di atas jembatan didominasi oleh nilai frekuensi alamiah dengan rentang 2,2 Hz – 3,2 Hz dan nilai frekuensi alamiah di atas jembatan didominasi oleh nilai frekuensi alamiah dengan rentang 4 Hz – 5,5 Hz. Berikut adalah peta sebaran nilai frekuensi alamiah di atas jembatan yang akan di tunjukan pada **Gambar 2.13** dan peta sebaran nilai frekuensi alamiah di bawah jembatan yang akan di tunjukan pada **Gambar 2.14** berikut.



Gambar 2. 13 Sebaran nilai frekuensi alamiah di atas jembatan
(Annisa & Pohan, 2023)



Gambar 2. 14 Sebaran nilai frekuensi alamiah di atas jembatan
(Annisa & Pohan, 2023)

Selain itu hasil yang didapat dari penelitian ini adalah Analisis pergerakan partikel digunakan untuk mengidentifikasi arah sumber getar yang disebabkan oleh aktivitas lalu lintas di setiap titik akuisisi pada jembatan. Pada pengolahan data pergerakan partikel, bagian atas jembatan dipisahkan dengan bagian bawah jembatan di mana hasil pengolahan data arah pergerakan partikel berbeda-beda di setiap titik akuisisi di atas dan bawah jembatan.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan yaitu terletak pada lokasi dan waktu. Adapun bila ditinjau dari geometri jembatan memiliki ukuran profil dan bentang yang berbeda, serta terdapat penentuan jumlah dan titik yang berbeda dari jembatan terdahulu dan penelitian yang datang. Dari penelitian yang sudah dibahas di atas dapat dirangkum menjadi sebuah tabel yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut.

Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Peneliti	Oky Dwi dkk	Adib Maulana dkk	Zaki Mutarama dkk	Meilan dkk	Nurul Annisa dkk	Ridwan Ikrar L
Tahun	2019	2020	2022	2022	2023	2025
Judul Penelitian	Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari III Kota Jambi Menggunakan Mikrometer Dengan Metode <i>Horizontal to Vertikal Spektral Ratio</i> (HVSR)	Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrometer	Kajian Respon Jembatan di Aceh Utara Terhadap Gempa Berdasarkan Data Mikrometer	Analisis Frekuensi Resonansi Jembatan Bantar III Bantul Yogyakarta Terhadap Kejadian Gempa bumi Yogyakarta	Evaluasi Kondisi Jembatan Kuranji dengan Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> dan Pergerakan Partikel	Analisis Kelayakan Jembatan Kretek I Menggunakan Pengukuran Mikrometer Dengan Metode <i>Horizontal to Vertikal Spektral Ratio</i> (HVSR)
Tujuan Penelitian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk mengetahui nilai frekuensi alamiah (f_0) pada jembatan 2. Untuk mengetahui nilai frekuensi alamiah (f_0) pada tanah sekitar jembatan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui nilai percepatan getaran akibat beban kereta api untuk arah x dan y 2. Mengetahui nilai frekuensi natural struktur jembatan dan <i>amplitude</i> jembatan saat ada beban kereta api dan tidak ada beban 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui nilai frekuensi natural tanah di sekitar jembatan rangka baja dan jembatan beton 2. Mengetahui nilai frekuensi natural jembatan rangka baja dan jembatan beton 3. Mengetahui nilai rasio redaman jembatan rangka dan jembatan beton 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui nilai frekuensi natural jembatan 2. Mengetahui spektrum frekuensi gempa Jogja 2009 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk mengetahui nilai frekuensi natural (f_0) pada jembatan dan membuat peta sebaran nilai frekuensi alamiah di atas dan bawah jembatan. 2. Untuk mengetahui arah pergerakan partikel jembatan dan membuat peta sebaran pergerakan partikel jembatan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui nilai frekuensi natural (f_0) Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul 2. Mengetahui nilai frekuensi teoritis jembatan yang diambil dari permodelan SAP2000 3. Mengetahui peta kerentanan jembatan Kretek 1 4. Mengetahui hasil kelayakan Jembatan Kretek I di Kabupaten Bantul

<p>Hasil Penelitian</p>	<p>1. Nilai frekuensi alami Jembatan Batanghari II adalah 7.40441 Hz. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi alami jembatan ini masih dalam batas yang aman dibandingkan dengan nilai standar frekuensi jembatan sebesar 7.675 Hz, sehingga jembatan dinyatakan masih utuh secara struktural .II Kota Jambi</p> <p>2. Nilai kerusakan relatif Jembatan Batanghari II adalah 3.53%.. Dengan nilai kerusakan relatif sebesar ini, dapat disimpulkan bahwa jembatan dalam kondisi baik dan tidak mengalami kerusakan signifikan.</p>	<p>1. Nilai percepatan getaran (Vs) akibat beban kereta api untuk arah x dan y sebesar 0.36 m/s² - 1.37 m/s² dan 0.45 m/s² - 1.63 m/s².</p> <p>2. Frekuensi alami jembatan dan <i>amplitude</i> saat ada beban kereta api 0,78 Hz dan 1,88 untuk aplitudo. saat tidak ada beban sebesar 5,50 Hz untuk frekuensi natural dan 2,03 amplitudonya.</p> <p>3. Frekuensi beban kereta api di atas frekuensi alami jembatan tanpa beban sehingga resonansinya kecil, sehingga jembatan dapat dianggap aman.</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural tanah (fo) di sekitar jembatan rangka baja sebesar 1,25 – 1,35 Hz dan jembatan beton 1,11-1,47 Hz.</p> <p>2. Nilai frekuensi natural (fo) jembatan rangka baja sebesar 0.81-3,29 Hz sedangkan jembatan beton bertulang sebesar 2,21-3,62.</p> <p>3. Rasio redaman jembatan rangka sebesar 2,02-4,97 % sedangkan untuk jembatan beton bertulang sebesar 2,05-4,81 %</p>	<p>1. Nilai frekuensi natural (fo) Jembatan Bantar III Yogyakarta bentang I dan bentang VI 5 Hz, bentang II dan V 3,6 Hz, bentang III dan bentang IV 3,5 Hz</p> <p>2. Frekuensi gempa Yogyakarta 2009 adalah 1,1 – 3,3 Hz, lebih rendah dibandingkan frekuensi natural jembatan yang 3,5 – 5 Hz.</p> <p>3. Peluang terjadinya resonansi antara frekuensi gempa dengan frekuensi natural jembatan sangat kecil. Sehingga tidak terjadi amplifikasi resonansi yang signifikan pada jembatan Bantar III Yogyakarta.</p>	<p>1. Nilai frekuensi alamiah (fo) untuk jembatan lama dengan rata-rata 3,420 Hz dan jembatan baru memiliki nilai rata-rata sebesar 2,031 Hz.</p> <p>2. Nilai rasio frekuensi alamiah jembatan lama memiliki rasio 2,611%, mengindikasikan adanya cacat kecil yang memerlukan perawatan rutin dan jembatan baru memiliki rasio 1,144%, menunjukkan bahwa jembatan tersebut dalam kondisi baik secara struktural.</p> <p>3. Ditemukan ketidakselarasan pergerakan struktur atas dan bawah jembatan lama yang dikhawatirkan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur jembatan.</p>	<p>1. Nilai frekuensi rata-rata struktur atas jembatan sebesar 1,023 Hz,</p> <p>2. Pemodelan dengan <i>software</i> SAP2000 menghasilkan frekuensi teoritis sebesar 1,081 Hz,</p> <p>3. Peta kerentanan jembatan Kretek I Kabupaten Bantul</p> <p>4. Diperoleh nilai kerusakan relatif sebesar 5,312%. Kerusakan relatif antara 1% hingga 5% dikategorikan dalam kondisi baik namun mendekati kondisi cukup (non struktural). Artinya, dimungkinkan ada kerusakan kecil dan tidak memengaruhi struktural utama jembatan. Meski demikian, kerusakan tersebut tidak kritis dan dalam batas aman untuk penggunaan dengan perawatan rutin.</p>
--------------------------------	---	--	--	--	---	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Jembatan

3.1.1 Definisi Jembatan

Jembatan merupakan struktur yang dibangun untuk menghubungkan area yang terpisah oleh sungai, lembah, jalur kereta api, atau jalan dengan perbedaan elevasi, sehingga mempermudah pergerakan pengguna jalan. Dalam proses perencanaan dan perancangan jembatan, berbagai faktor harus diperhitungkan, seperti fungsi transportasi, persyaratan teknis, dan aspek estetika arsitektur. Ini mencakup analisis lalu lintas, evaluasi teknis, serta penilaian estetika guna memastikan jembatan berfungsi dengan baik sekaligus memiliki daya tarik visual.

Jembatan memiliki peran penting dalam kelancaran transportasi dengan menyediakan konektivitas yang efisien antara wilayah yang terpisah. Secara teknis, jembatan memungkinkan pergerakan kendaraan dan manusia tanpa harus menempuh rute yang lebih panjang, sehingga mengurangi waktu tempuh, biaya operasional, serta meningkatkan efisiensi distribusi barang dan mobilitas penduduk. Dengan kemajuan teknologi dan pertumbuhan ekonomi, material yang digunakan untuk membangun jembatan telah mengalami perkembangan signifikan. Teknologi modern mendukung desain yang lebih efisien dan aman, sehingga jembatan mampu menahan beban lebih berat dan memiliki umur pakai yang lebih lama.

Jembatan tidak hanya berfungsi sebagai infrastruktur transportasi, tetapi juga sebagai elemen arsitektural yang memperindah lanskap suatu wilayah. Desain jembatan yang harmonis dengan lingkungan sekitarnya dapat meningkatkan nilai visual dan daya tarik suatu kota atau kawasan. Banyak jembatan terkenal di dunia menjadi destinasi wisata berkat desain arsitekturnya yang unik dan memikat. Oleh karena itu, jembatan tidak hanya memenuhi kebutuhan transportasi, tetapi juga memperkaya identitas dan daya tarik suatu wilayah. Dalam konteks urbanisasi dan pertumbuhan populasi, jembatan juga memainkan peran penting dalam mendukung transportasi yang berkelanjutan dan mengurangi kemacetan lalu lintas.

3.1.2 Jenis-Jenis Jembatan

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan infrastruktur, jembatan diklasifikasikan dalam beberapa kategori berdasarkan berbagai aspek teknis dan fungsional. Jembatan telah mengalami perkembangan yang menghasilkan berbagai tipe berbeda berdasarkan bentuk struktur, material yang digunakan, metode perencanaan, dan cara pelaksanaan. Tipe-tipe jembatan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, jenis material yang digunakan, kelas, dan jenis strukturnya. Berikut ini penjelasan mengenai masing-masing tipe jembatan.

1. Berdasarkan fungsinya

Berikut ini adalah klasifikasi tipe jembatan berdasarkan fungsinya (Agus Iqbal Manu, 1995) :

- a. Jembatan Jalan Raya
- b. Jembatan Penyeberangan atau Pejalan Kaki
- c. Jembatan Kereta Api
- d. Jembatan Jalan Air
- e. Jembatan Pipa

2. Berdasarkan materialnya

Berikut ini adalah klasifikasi tipe jembatan berdasarkan Material (Agus Iqbal Manu, 1995):

- a. Jembatan Kayu
- b. Jembatan Baja
- c. Jembatan Beton Bertulang
- d. Jembatan Beton Prategang
- e. Jembatan Komposit

3. Berdasarkan kelasnya

Berikut ini adalah klasifikasi tipe jembatan berdasarkan kelas (Agus Iqbal Manu, 1995):

a. Jembatan Permanen Kelas A

Jembatan permanen kelas A memiliki lebar total 9 meter, dengan badan jalan selebar 7 meter dan trotoar selebar 1 meter di kedua sisi. Jembatan ini dirancang untuk mendukung beban lalu lintas BM-100, memungkinkan

untuk menampung volume dan berat kendaraan besar seperti truk dan bus. Jembatan ini umumnya digunakan pada jalan utama atau arteri yang memerlukan kapasitas besar dan tingkat keamanan tinggi.

b. Jembatan Permanen Kelas B

Jembatan permanen kelas B memiliki lebar total 7 meter, dengan badan jalan selebar 6 meter dan trotoar selebar 0,5 meter di kedua sisi. Seperti kelas A, jembatan ini juga dirancang untuk beban lalu lintas BM-100. Namun, dengan lebar yang lebih kecil, jembatan kelas B lebih sesuai untuk jalan sekunder atau jalan dengan volume lalu lintas yang lebih rendah.

c. Jembatan Permanen Kelas C

Jembatan permanen kelas C memiliki lebar total 4,5 meter, terdiri dari badan jalan selebar 3,5 meter dan trotoar selebar 0,5 meter di kedua sisi. Jembatan ini dirancang untuk menahan beban lalu lintas BM-70, sehingga lebih cocok untuk jalan dengan volume lalu lintas yang lebih rendah atau kendaraan yang lebih ringan. Jembatan kelas C sering digunakan di daerah pedesaan atau sebagai jembatan penghubung antar desa.

4. Berdasarkan strukturnya

Berikut adalah jenis-jenis struktur jembatan berdasarkan strukturnya (Agus Iqbal Manu, 1995):

a. Jembatan Pelat (*Slab Bridge*)

Jembatan pelat merupakan jembatan yang menggunakan pelat beton sebagai elemen struktural utama. Pelat ini dapat berupa pelat satu arah atau dua arah, tergantung pada bentang dan lebar jembatan. Jembatan Girder

Jembatan girder menggunakan balok sebagai elemen struktural utama. Balok ini dapat terbuat dari beton atau baja, dan dapat dicor di tempat (*cast in-situ*), pracetak (*precast*), atau kombinasi keduanya. Jenis-jenisnya meliputi,

1) Balok T (*T-Beam Girder*)

Jembatan ini menggunakan balok berbentuk huruf "T" yang biasanya berfungsi sebagai tumpuan dari pelat di atasnya, dengan panjang bentang sekitar 10-18 meter.

2) Balok I (*I-Beam Girder*)

Jembatan ini menggunakan balok berbentuk huruf "I", sering kali dibuat secara pracetak dengan sistem tulangan prategang, dirancang untuk menahan beban berat dan bentang sekitar 25-40 meter.

3) Box Girder

Jembatan ini menggunakan balok berbentuk kotak atau trapesium, biasanya terbuat dari beton pracetak atau baja, cocok untuk bentang panjang sekitar 40-300 meter.

b. Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja adalah struktur jembatan yang dibangun dari sejumlah batang baja yang dihubungkan menggunakan sambungan buhul di setiap ujungnya, membentuk pola geometris yang umumnya berbentuk segitiga. Pola segitiga ini dikenal sebagai *truss*, yang berfungsi untuk memberikan kekuatan dan stabilitas yang tinggi pada jembatan. Mekanisme kerja *truss* ini melibatkan pendistribusian beban yang diterima melalui batang-batang baja, yang kemudian mengalirkan gaya *aksial* tarik dan tekan di sepanjang batang-batang tersebut. Dengan desain ini, jembatan rangka baja mampu menahan beban berat secara efisien, menjadikannya sangat efektif untuk digunakan pada bentang menengah hingga panjang, yakni antara 40-200 meter. *Truss* tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam menahan beban, tetapi juga memungkinkan distribusi tekanan yang merata, yang merupakan faktor penting dalam mempertahankan integritas struktural jembatan dalam jangka panjang. Kelebihan dan kekurangan jembatan rangka baja adalah:

c. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung menggunakan struktur lengkung sebagai elemen utama yang menahan beban. Bentuk lengkung ini menciptakan gaya tekan yang diteruskan ke *abutment* di kedua ujungnya, mendistribusikan beban secara merata sepanjang lengkungan. Jembatan ini cocok untuk bentang panjang (150-400 meter), menawarkan kekuatan struktural yang unggul dan nilai estetika tinggi.

d. Jembatan Kabel (*Cable-Stayed*)

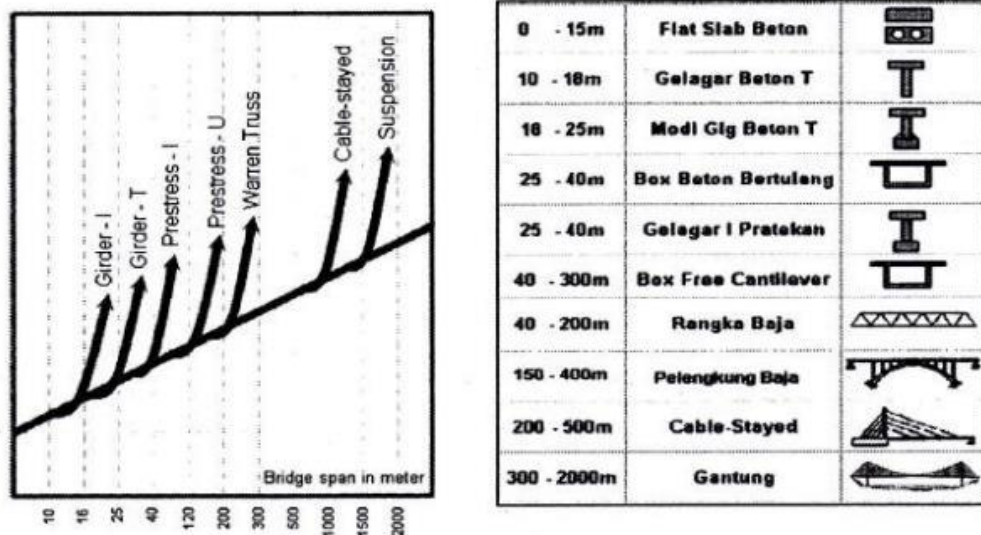
Jembatan kabel adalah jembatan di mana dek ditopang langsung oleh kabel-kabel yang dihubungkan ke satu atau lebih menara atau *pylon*. Kabel-kabel ini terbuat dari baja berkekuatan tinggi dan diatur dalam pola yang memancar dari menara ke dek, menahan beban melalui gaya tarik. Jembatan ini cocok untuk bentang panjang antara 200-500 meter.

Kelebihan dan kekurangan jembatan kabel adalah

e. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan gantung adalah jembatan di mana dek ditopang oleh kabel utama yang digantungkan di antara dua atau lebih menara tinggi. Kabel utama ini dihubungkan dengan kabel vertikal atau suspender yang menopang dek jembatan, memungkinkan jembatan ini menahan beban berat dan bentang sangat panjang (300-2000 meter).

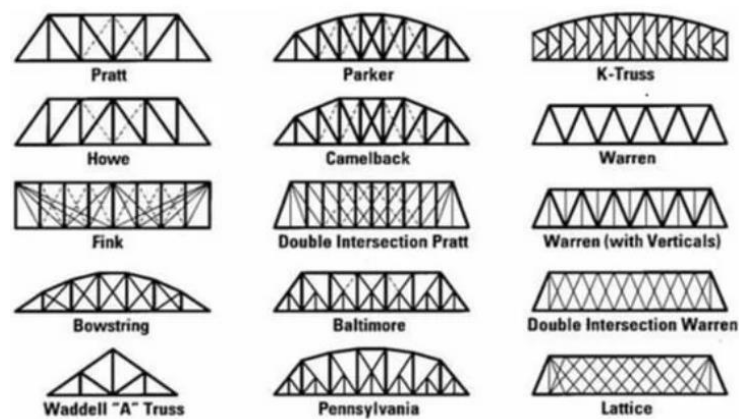
Berikut ini adalah penentu jembatan berdasarkan bentangan jembatan yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1 Penentu Tipe Jembatan
(Sumber: Perencanaan teknik jembatan, 2021)

3.1.3 Tipe-tipe Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja adalah jenis jembatan yang terdiri dari batang-batang baja yang dihubungkan satu sama lain dengan sambungan buhul di setiap ujungnya. Pada jembatan tipe ini, beban yang diterima disalurkan melalui batang-batang tersebut secara *aksial*, baik dalam bentuk gaya tarik maupun tekan. Jembatan rangka baja memiliki fleksibilitas penggunaan, di mana dapat diaplikasikan untuk lalu lintas di bagian atas maupun bawah jembatan. Adapun tipe-tipe jembatan rangka baja ini diklasifikasikan berdasarkan konfigurasi strukturnya, dengan ilustrasi konfigurasi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3.2 Susunan Geometri Jembatan Rangka Baja

(Sumber: Ressler, 2001)

1. *Pratt Truss*
2. *Parker Truss*
3. *K-Truss*
4. *Howe Truss*
5. *Camelback Truss*
6. *Warren Truss*
7. *Fink Truss*
8. *Bowstring Truss*
9. *Baltimore Truss*
10. *Pennsylvania Truss*
11. *Double Intersection Warren*
12. *Waddell A Truss*

3.1.4 Material Baja

Jembatan rangka umumnya terdiri dari material baja. Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai elemen paduan utama. Kandungan karbon dalam baja berperan penting dalam menentukan kekuatan material ini—semakin tinggi kandungan karbon, semakin kuat baja tersebut. Baja dikenal memiliki ketahanan yang tinggi terhadap gaya tarik, namun kurang efektif dalam menahan gaya tekan. Ketika baja menerima gaya tekan yang berlebihan, terdapat risiko terjadinya tekuk atau puntir pada struktur. Berdasarkan standar RSNI T-03-2005, baja struktural yang digunakan dalam perencanaan jembatan harus memenuhi persyaratan minimum tertentu terkait sifat-sifat mekaniknya. Spesifikasi sifat mekanik baja struktural yang diperlukan dapat dilihat pada **Tabel 3.1** berikut.

Tabel 3.1 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum F_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum F_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: RSNI T-03, 2005)

Sifat-sifat mekanis baja lainnya yang ditetapkan untuk perencanaan jembatan menurut RSNI T-03-2005 adalah sebagai berikut.

1. Modulus Elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$
2. Modulus Geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$
3. Angka Poison : $\mu = 0,3$
4. Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$

3.1.5 Material Beton

Beton adalah material yang terbentuk dari campuran semen *portland* atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya, yang menghasilkan massa padat (RSNI T-12-2005). Pada awalnya, campuran beton ini berada dalam kondisi plastis, tetapi seiring berjalannya waktu, beton mengalami proses pengerasan akibat reaksi kimia antara semen dan air, menghasilkan pasta semen yang kuat dan mengikat agregat-agregat menjadi satu kesatuan yang homogen.

Beton dikenal sebagai material yang sangat efektif dalam menahan gaya tekan. Kekuatan tekan beton cenderung meningkat seiring bertambahnya usia material tersebut. Meskipun begitu, beton memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik, dengan kemampuan menahan gaya tarik hanya sekitar 9-15% dari kekuatan tekannya. Karena sifat beton yang getas, diperlukan penambahan baja tulangan dalam konstruksi untuk meningkatkan sifat daktailnya, terutama untuk meningkatkan ketahanannya terhadap beban gempa. Dengan kombinasi beton dan baja tulangan, struktur yang dihasilkan lebih mampu menahan berbagai jenis beban, memberikan kekuatan dan stabilitas yang diperlukan dalam aplikasi konstruksi yang membutuhkan daya tahan tinggi.

3.1.6 Pembebanan Jembatan

Dalam analisis jembatan, sangat penting untuk mempertimbangkan dan merencanakan beban-beban yang diterima jembatan sesuai dengan peraturan standar yang berlaku. Hal ini berdampak langsung pada struktur jembatan. Di Indonesia, peraturan yang digunakan adalah SNI 1725:2016 yang mengatur tentang pembebanan jembatan.

1. Beban Permanen

Beban permanen pada struktur jembatan adalah beban tetap yang secara konstan diterapkan selama masa operasional jembatan. Beban permanen ini meliputi berat sendiri struktur dan beban mati tambahan.

1) Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri dalam konteks pembebanan struktur jembatan merujuk pada beban yang dihasilkan oleh massa semua komponen struktural dan elemen *nonstruktural* yang dianggap tetap. Perhitungan berat sendiri didasarkan pada kerapatan massa dan berat isi yang tercantum dalam **Tabel 3.2**, dengan faktor beban untuk berat sendiri yang tertera pada **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3.2 Berat isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber: SNI 1725:2016)

Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

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

(Sumber: SNI 1725:2016)

2) Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan pada struktur jembatan adalah beban tetap yang ditambahkan setelah konstruksi utama selesai, tetapi bukan bagian dari elemen *nonstruktural*. Contoh dari beban ini adalah penambahan lapisan aspal (*overlay*) pada permukaan jembatan. Faktor beban mati tambahan dapat dilihat pada **Tabel 3.4** berikut.

Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	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)

2. Beban Sementara

Beban sementara adalah beban yang bersifat sementara dan muncul akibat pembebanan berulang. Beban ini mencakup

1) Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Kedua jenis beban ini digabungkan dalam perhitungan beban lajur pada jembatan. Nilai BTR, dengan intensitas beban q kPa, dipengaruhi oleh panjang bentang jembatan yang akan dibangun. Penentuan besaran nilai q untuk BGT dan distribusi beban lajur ditunjukkan pada **Gambar 3.3** berikut.

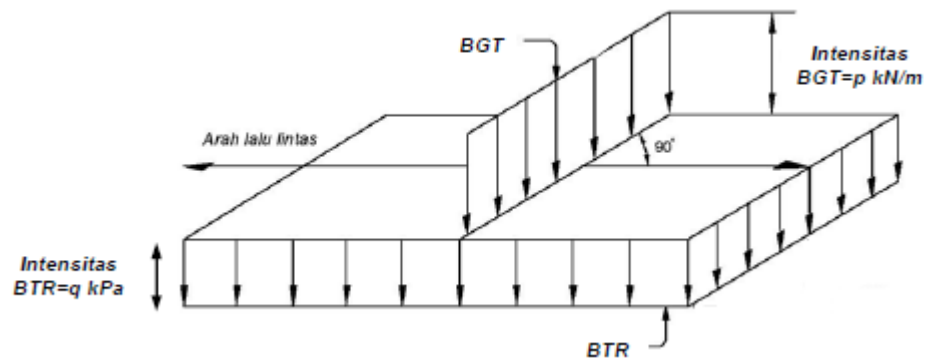
$$\text{Jika } L < 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (3.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3.2)$$

Dimana:

q = Intensitas beban terbagi rata (BGT) dalam arah memanjang dalam satuan kPa;

L = Panjang total bentang jembatan yang dibebani dalam meter

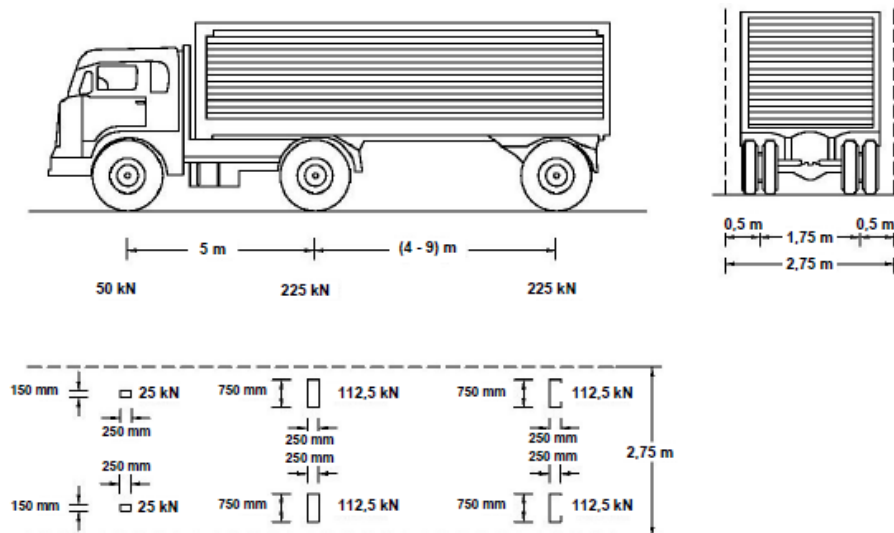


Gambar 3.3 Beban Lajur “D”
(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban “D” harus diletakkan secara melintang terhadap arah lalu lintas agar mendapatkan momen maksimum.

2) Beban Truk “T”

Beban truk "T" terdiri dari kendaraan semi-trailer dengan beberapa gandar yang memuat dua beban merata sebagai kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antar gandar dapat diubah dari 4,0 m hingga 9,0 m untuk memberikan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Persebaran beban ini ditunjukkan pada **Gambar 3.4** berikut.



Gambar 3.4 Beban Truk “T”
(Sumber: SNI 1725:2016)

3) Faktor Beban Dinamis

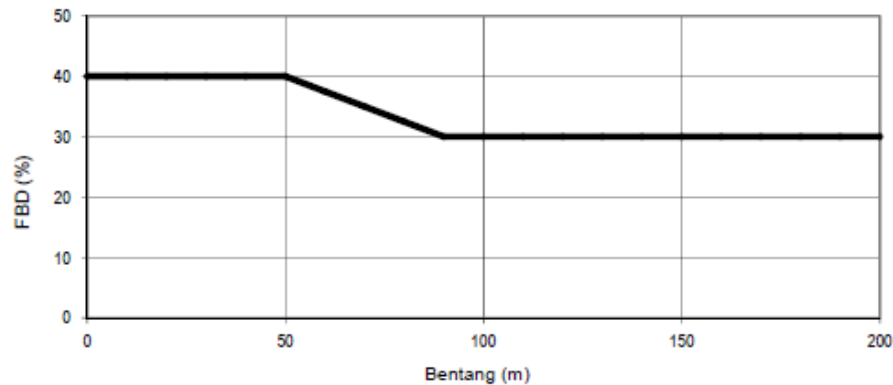
Faktor beban dinamis (FBD) digunakan dalam perencanaan pembebanan jembatan untuk mengakomodasi efek tambahan yang dihasilkan dari interaksi antara kendaraan yang bergerak dan struktur jembatan. FBD dapat dianggap sebagai beban statis ekuivalen dalam perencanaan. Besarnya FBD bervariasi tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan (biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat) dan frekuensi getaran lentur jembatan. Nilai BGT dari beban lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memastikan interaksi antara kendaraan bergerak dan jembatan dengan mengalikan FBD. Nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD diterapkan pada kondisi batas daya layan dan batas *ultimit*. BTR dalam pembebanan "D" tidak dikali FBD. Untuk pembebanan "D," FBD adalah fungsi dari panjang bentang ekuivalen yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**. Untuk bentang tunggal, panjang bentang ekuivalen sama dengan bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus, panjang bentang ekuivalen (L_e) digunakan rumusan khusus.

$$L_e = \sqrt{L_{av} \times L_{max}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

L_{av} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

L_{max} adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus



Gambar 3.5 Faktor Beban Dinamis (FBD)

(Sumber: SNI 1725:2016)

4) Gaya Rem (TB)

Gaya rem diterapkan pada semua jalur lalu lintas sesuai arah geraknya dan dianggap bekerja secara horizontal pada ketinggian 1800 mm di atas permukaan jalan. Nilai gaya rem harus diambil dari yang terbesar antara dua kondisi berikut

- a. 25% dari berat gandar truk desain, atau
- b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR).

5) Beban Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki terjadi pada trotoar jembatan dengan lebar lebih dari 600 mm, dengan intensitas 5 kPa, dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan di lajur lalu lintas. Jika ada kemungkinan trotoar diubah menjadi jalur kendaraan di masa depan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya.

3.1.7 Material Jembatan

Material jembatan yang digunakan berdasarkan Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan *Eksisting*. Pedoman ini dapat digunakan jika mutu material yang digunakan tidak diketahui. Pedoman ini memberikan informasi mengenai kriteria mutu struktur material jembatan berdasarkan tahun pembangunan seperti material beton, baja tulangan, dan baja struktur yang dapat dilihat pada **Tabel 3.5** untuk material baja struktur dan **Tabel 3.6** untuk material beton.

Tabel 3.5 Karakteristik Struktur Baja Berdasarkan Tahun Pembangunan

Tabel 3. 6

Tahun konstruksi	Tegangan leleh minimum, f_y MPa	Tegangan tarik ultimit, f_u MPa
sebelum tahun 1970	230	340
Setelah tahun 1970	250	360

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

Tabel 3. 7 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)

3.1.8 Penilaian Kondisi Jembatan

Penilaian kondisi jembatan adalah langkah penting untuk memastikan keamanan dan kelayakan struktur jembatan selama masa operasionalnya. Berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B, penilaian ini mencakup evaluasi menyeluruh terhadap berbagai aspek jembatan, termasuk komponen struktural dan non-struktural. Pedoman ini memberikan panduan lengkap mengenai metode inspeksi, kriteria penilaian, serta langkah-langkah perbaikan yang diperlukan.

Dalam penilaian kondisi jembatan, pemeriksaan visual menjadi tahap awal yang sangat penting. Inspeksi visual dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan yang terlihat seperti retakan, korosi, deformasi, dan kerusakan lainnya pada elemen jembatan. Selain itu, pedoman ini mengharuskan penggunaan peralatan inspeksi non-destruktif untuk mendapatkan data yang lebih akurat mengenai kondisi internal struktur. Pengujian mikrotremor dapat digunakan sebagai alternatif untuk menentukan kelayakan sebuah jembatan. Perhitungan struktur jembatan dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi teoritis jembatan. Analisis ini bertujuan untuk menentukan parameter dinamis ketika struktur menerima eksitasi getaran.

Dalam penilaian kondisi jembatan, analisis frekuensi merupakan salah satu aspek penting yang diatur dalam Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B. Analisis frekuensi ini bertujuan untuk memahami karakteristik dinamis dari jembatan, termasuk respons struktur terhadap beban getaran dan potensi resonansi yang dapat mempengaruhi integritas struktur. Nilai kerusakan struktur dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$D_{\text{relatif}} = \frac{(f_{\text{teoritis}} - f_{\text{aktual}})}{f_{\text{teoritis}}} \times 100\% \quad (3.10)$$

Di mana:

D_{relatif} = nilai kerusakan *structural relative*

F_{aktual} = frekuensi alami struktur (Hz)

F_{teoritis} = frekuensi alami teoritis (Hz)

Penilaian kondisi jembatan dilakukan berdasarkan beberapa kriteria utama untuk memastikan keamanan, fungsionalitas, dan kelayakan strukturalnya. Kriteria penilaian kondisi jembatan dapat dilihat pada **Tabel 3.13** berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B tentang penilaian kondisi jembatan.

Tabel 3.8 Penilaian Kondisi 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%

(Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B)

3.2 Mikrotremor

Analisis mikrotremor adalah teknik yang digunakan untuk memahami karakteristik bangunan tanpa merusak strukturnya (Herak, 2011). Mikrotremor, juga dikenal sebagai getaran lingkungan, merupakan getaran kecil di tanah atau permukaan struktur yang dihasilkan oleh berbagai sumber seperti angin, gelombang laut, pasang surut, mesin industri, kendaraan, dan aktivitas manusia (Sungkono et al., 2011). Data rekaman mikrotremor terdiri dari sinyal dalam domain waktu, yang meliputi komponen vertikal (Z), Utara-Selatan (N-S), dan Timur-Barat (E-W), seperti terlihat pada **Gambar 3.6** berikut.

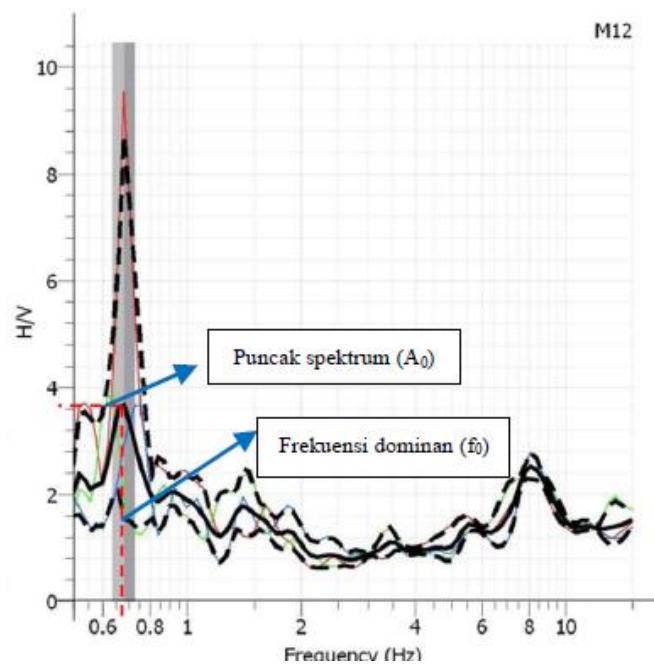


Gambar 3. 6 Hasil Perekaman Mikrotremor

(Adib et al., 2020)

3.3 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) adalah teknik geofisika yang sederhana dan efektif, memanfaatkan pengukuran mikrotremor secara langsung (Fat-helbary *et al.*, 2019). Metode ini bekerja dengan membandingkan komponen horizontal dan vertikal dari data mikrotremor yang direkam (Nakamura, 2000). HVSr menggunakan tiga komponen gelombang: satu komponen vertikal (*Up-Down*) dan dua komponen horizontal (*East-West* dan *North-South*), yang kemudian diolah untuk menghasilkan grafik hubungan antara H/V dan frekuensi. Analisis HVSr memberikan nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Kurva hasil analisis HVSr dapat dilihat pada **Gambar 3.7** berikut.



Gambar 3.7 Kurva HVSr
(Partono *et al.*, 2013)

Data mikrotremor yang digunakan dalam metode HVSr diperoleh melalui penelitian lapangan langsung menggunakan seismograf yang mencatat tiga komponen getaran: horizontal timur-barat (EW), horizontal utara-selatan (NS), dan vertikal (atas-bawah). Setelah data dikumpulkan, rasio spektral mikrotremor dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$HVS\!R = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(SH_{North-South})^2 + (SH_{East-West})^2}}{S_{VS}} \quad (3.1)$$

Dimana:

- T_{SITE} = Rasio spektrum mikrotremor
 $SH_{North-South}$ = Sinyal horizontal arah utara dan selatan
 $SH_{East-West}$ = Sinyal horizontal arah timur dan barat
 S_{VS} = Sinyal vertikal

3.4 Frekuensi Natural Struktur (f_0)

Menurut Herak (2008), frekuensi natural struktur adalah frekuensi di mana struktur tersebut bergetar sebagai respons terhadap gaya atau gangguan. Frekuensi natural bangunan digunakan untuk memperkirakan kerentanannya terhadap kerusakan akibat gempa dan untuk memahami efek lokal di sekitar bangunan (Gosar, 2010). Faktor-faktor yang mempengaruhi frekuensi natural meliputi material, geometri, jenis dukungan, dan distribusi massa serta kekakuan pada jembatan.

3.5 Frekuensi Teoritis

Frekuensi teoritis adalah frekuensi di mana struktur jembatan cenderung bergetar secara alami tanpa pengaruh luar. Setiap struktur memiliki frekuensi alami tertentu yang ditentukan oleh massa, kekakuan, dan distribusi massanya. Mengetahui nilai ini sangat penting untuk menghindari resonansi, kondisi ketika frekuensi beban eksternal mendekati atau sama dengan frekuensi alami struktur, yang dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan struktur. Nilai frekuensi teoritis dapat diperoleh dengan menghitung atau memodelkan struktur jembatan menggunakan perangkat lunak *SAP 2000*.

3.6 Analisis Kelayakan Jembatan

Setelah melakukan pengumpulan data dan analisis menggunakan *software Geopsy*, maka didapat nilai frekuensi natural yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Sedangkan, nilai teoritis jembatan didapatkan dari perhitungan struktur jembatan melalui permodelan SAP 2000. Nilai kelayakan jembatan didapatkan dari perbandingan nilai frekuensi natural dan nilai frekuensi teoritis dengan **Persamaan 3.10** dan nilai kondisi jembatan dapat dilihat pada **Tabel 3.13** di atas.

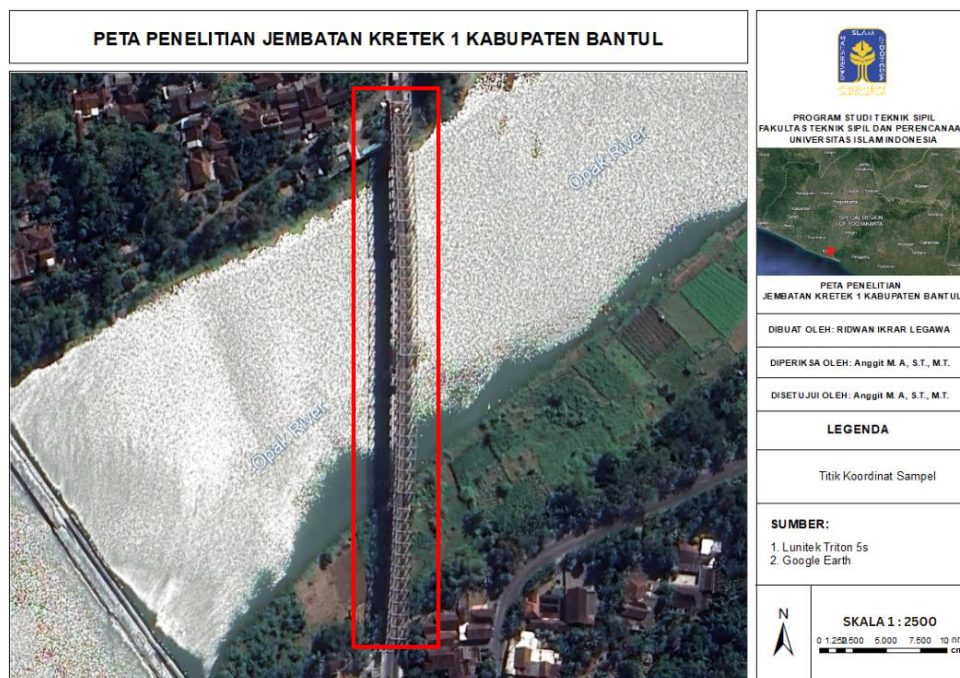
Setelah mendapatkan nilai kelayakan jembatan, maka kita dapat mencari peta persebaran frekuensi pada jembatan dari frekuensi natural. Peta persebaran tersebut dapat digunakan untuk mengetahui lokasi titik pada jembatan dengan frekuensi tertinggi, di mana hal tersebut dapat menjadi landasan untuk melakukan pemeliharaan jembatan secara efektif.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Jembatan Kretek yang terletak di Jl. Parangtritis, Gadingharjo, Donotirto, Kec. Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Berikut merupakan lokasi penelitian yang terlampir pada **Gambar 4.1** berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth, 2024)

4.2 Data Yang Diperlukan

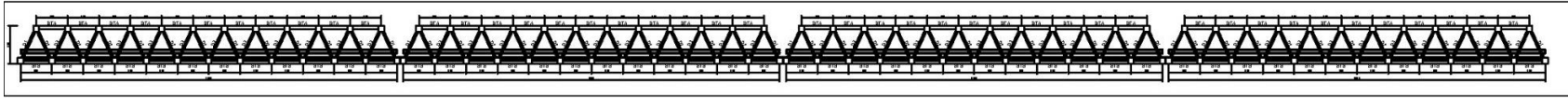
Metode penelitian merupakan aspek yang sangat penting dalam suatu penelitian, terutama dalam analisis struktur jembatan. Salah satu elemen kunci dalam penelitian ini adalah pengumpulan data yang diperlukan untuk menganalisis kondisi jembatan. Data yang dibutuhkan meliputi panjang, lebar, dan dimensi rangka, serta tipe struktur Jembatan Kretek 1. Pengumpulan data ini dilakukan melalui pengukuran langsung di lokasi jembatan untuk memastikan akurasi informasi yang digunakan dalam proses analisis selanjutnya.

4.2.1 Data Dimensi dan Profil Jembatan

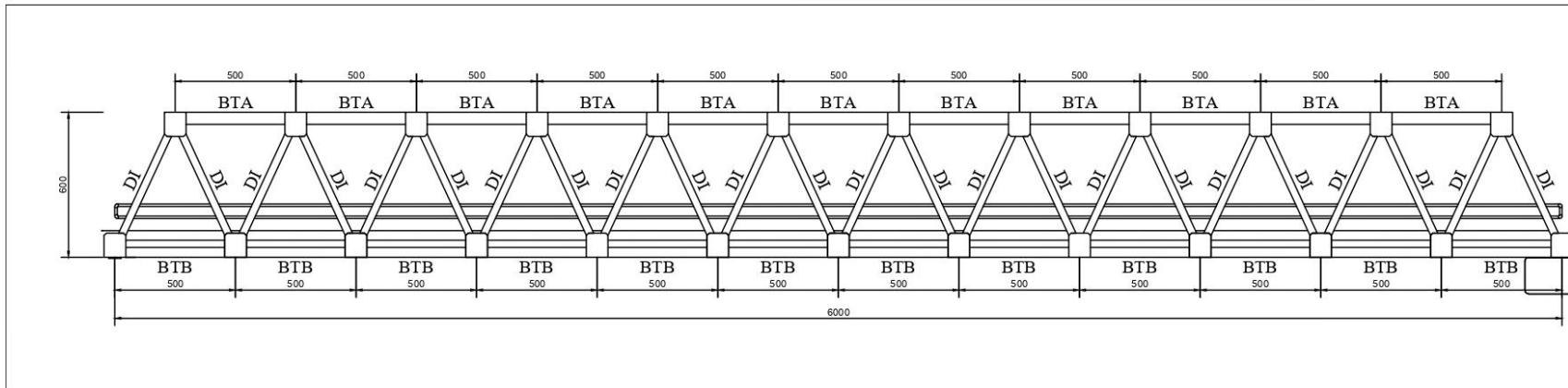
Data dimensi jembatan merupakan informasi penting yang digunakan untuk menganalisis kekuatan, stabilitas, dan fungsionalitas struktur jembatan. Profil jembatan mencakup informasi mengenai dimensi dan bentuk elemen-elemen utama seperti rangka serta jenis material yang digunakan dalam konstruksinya. Berikut merupakan data dimensi jembatan yang diperoleh dari pengukuran di lapangan.

Panjang Jembatan Rangka	= 240 m
Jumlah Lajur	= 2 lajur
Lebar Jalur Kendaraan	= 6 m
Lebar Jembatan	= 7,95 m
Tinggi Jembatan	= 6 m
Lebar Trotoar	= 0,5 m
Tinggi Trotoar	= 200 mm
Tebal Plat Lantai	= 270 mm

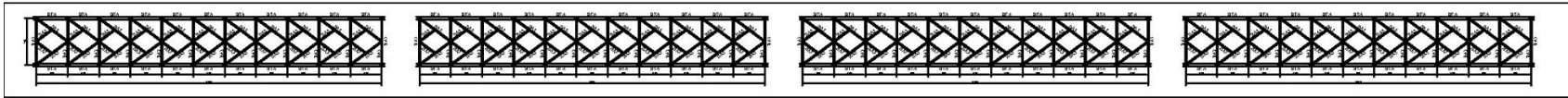
Data profil Jembatan Kretek 1 pada penelitian ini bersumber pada pengukuran langsung di lapangan. Berdasarkan data yang diperoleh Jembatan Kretek 1 menggunakan beberapa profil dalam komponen rangkanya, profil yang digunakan pada jembatan ini adalah profil WF, H, dan L. Kodefikasi rangka jembatan dan visualisasi 3D jembatan dapat dilihat pada **Gambar 4.2** sampai **Gambar 4.8** berikut.



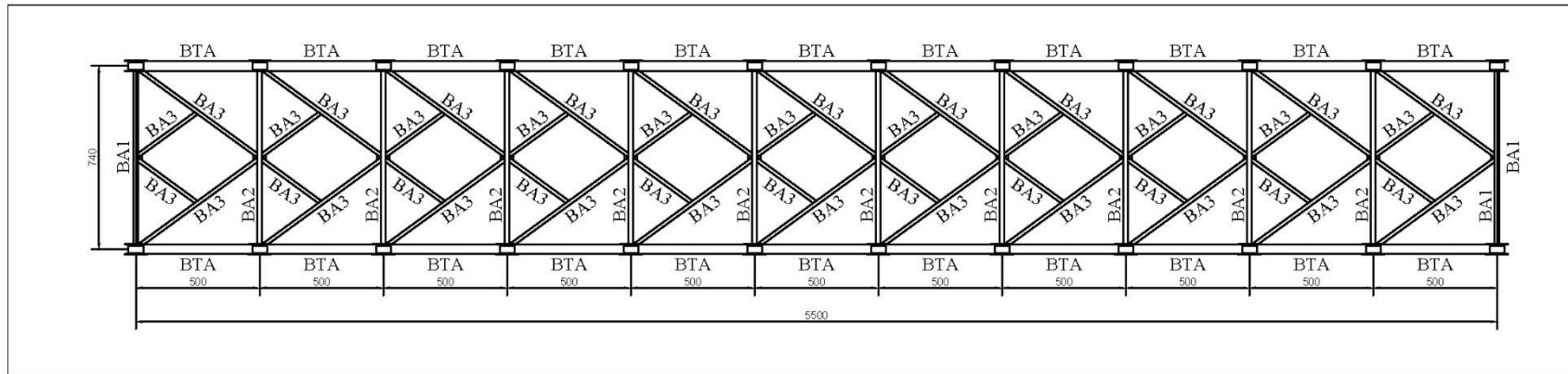
Gambar 4. 2 Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Samping



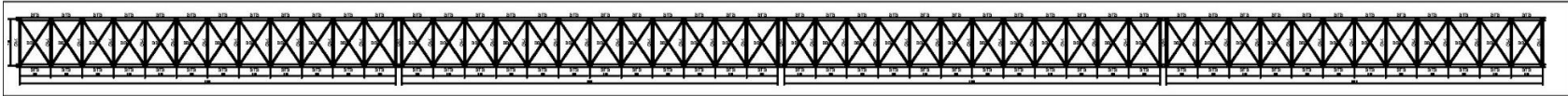
Gambar 4. 3 Detail Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Samping



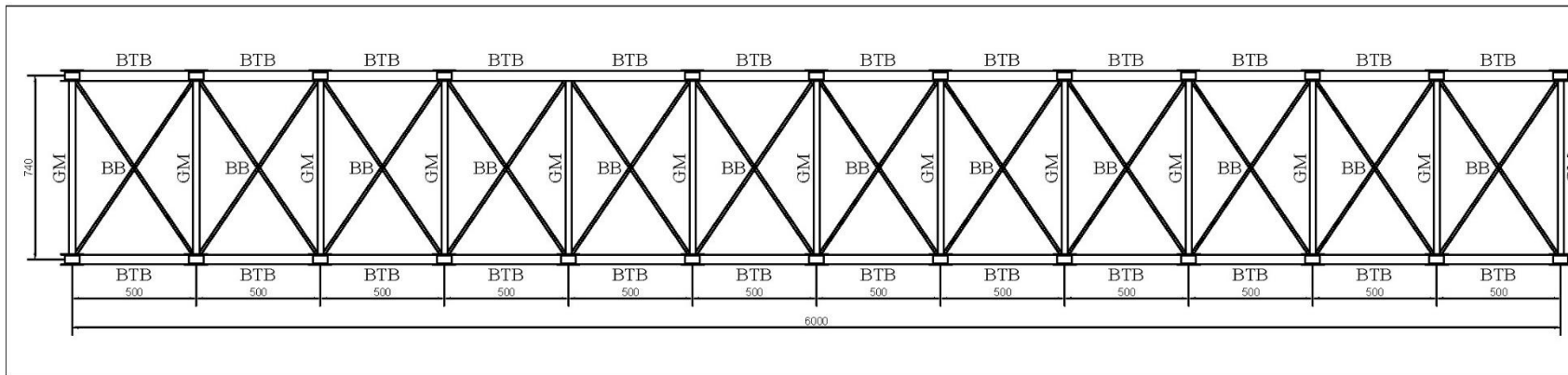
Gambar 4.4 Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Atas



Gambar 4.5 Detail Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Atas



Gambar 4.6 Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Bawah



Gambar 4.7 Detail Kodefikasi Rangka Jembatan Kretek 1 Tampak Bawah



Gambar 4. 8 Visualisasi 3 Dimensi jembatan

Berikut merupakan dimensi profil rangka baja Jembatan Kretek 1

Tabel 4.1 Dimensi Profil Rangka

Rekapitulasi Profil Baja		
Dimensi Profil		Kode
WF	500x300x12x13	BA1
WF	400x200x8x8	BA2
L	100x100x8	BA3
WF	500x400x12x13	BTA
H	400x400x12x13	BTB
WF	350x400x34x38	D1
WF	450x150x16x17	D2
WF	750x250x18x19	GM
L	100x100x9	BB

4.2.2 Material Jembatan

Pada Jembatan Kretek 1 menggunakan dua jenis material, yaitu beton dan baja. Dalam penelitian ini, reaksi komposit tidak dihitung, sehingga hanya diperhitungkan mutu material baja yang digunakan. Namun, untuk memodelkan pelat lantai jembatan, mutu beton tetap diperlukan. Oleh karena itu, penelitian ini merujuk pada Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting. Untuk jembatan yang dibangun setelah tahun 1970, kuat tekan beton bertulang pelat lantai ditetapkan sebesar 22 MPa. Penentuan mutu material baja didasarkan pada karakteristik struktur baja sesuai dengan tahun pembangunan jembatan, seperti yang di jelaskan dalam Tabel 7 Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk Jembatan Eksisting. Dengan demikian, mutu material baja yang digunakan adalah sebagai berikut:

Mutu Beton ($f'c$) = 22 MPa

Tegangan Leleh (f_y) = 250 MPa

Tegangan Putus (f_u) = 360 MPa

4.3 Peralatan

Peralatan atau instrument yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak (*Software*) dan perangkat keras (*Hardware*)

1. Perangkat Lunak (*Software*)

Adapun Perangkat lunak atau *software* yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. *Google Maps* berfungsi untuk menentukan titik lokasi penelitian dan penunjuk arah.
- b. *QGIS* berfungsi sebagai pembuatan peta persebaran frekuensi natural.
- c. *Microsoft Excel 365* berfungsi untuk konversi koordinat yang akan dipindahkan ke google maps.
- d. *Microsoft Word 365* berfungsi untuk menyusun laporan.
- e. Web Lunitek berfungsi untuk mengatur instrument.
- f. *Sesarry-Geopsy* berfungsi untuk menginversi dan menganalisis kurva H/V
- g. *AutoCAD 2019* berfungsi sebagai pembuatan desain 2D dari tampak struktur jembatan dan pembuatan desain letak penempatan titik-titik penelitian.
- h. *SAP2000* untuk melakukan analisis struktur pada jembatan.
- i. *Skechup* untuk melakukan permodelan gambar 3D struktur jembatan.

2. Perangkat Keras (*Hardware*)

Adapun perangkat keras atau *software* yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. *Digital Seismic Sensor Triton 5s* berfungsi untuk mengukur dan menyimpan getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- b. *Blue Suitcase* berfungsi untuk menyimpan dan mengamankan Digital seismic Sensor agar terhindar dari guncangan saat dibawa.
- c. *WIFI Antenna* atau *Ethernet Cable* berfungsi untuk koneksi antar instrument.
- d. USB berfungsi untuk menyimpan data penelitian.
- e. Adaptor + *power cable to AC*.
- f. *GPS Antenna* berfungsi untuk menentukan posisi titik penelitian.
- g. *Battery type 18650 34000 mAh 3,7V* berfungsi sebagai sumber daya alat pengukuran yang digunakan.

- h. Laptop yang berfungsi untuk sarana penghubung dan analisis data.
- i. Meteran roll yang berfungsi mengukur panjang jembatan saat survey.
- j. Jangka sorong yang berfungsi mengukur profil rangka jembatan.
- k. Mereran laser yang berfungsi mengukur tinggi jembatan dan jarak girder.

Untuk mengetahui Gambaran lengkap perangkat keras dapat dilihat pada **Gambar 4.9** berikut.



Gambar 4. 9 Perangkat Keras (*Hardware*)

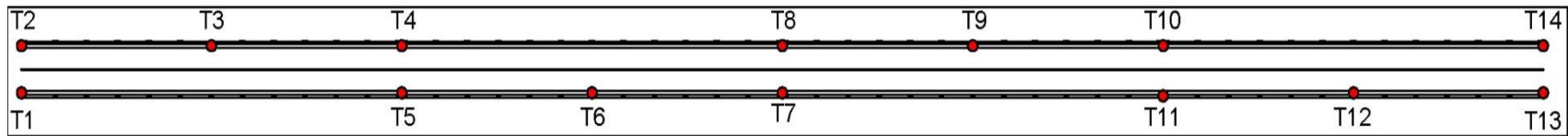
4.4 Teknik Pengumpulan Data

Langkah awal yang dilakukan sebelum penelitian adalah menentukan titik penelitian. Dalam melakukan pengukuran ini dibutuhkan waktu ± 30 menit untuk setiap titiknya dan pengukuran harus dilakukan sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan oleh SESAME European Research Project yang mencakup standar dan syarat pengukuran mikrotremor yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4.2 Syarat pengukuran mikrotremor (SESAME, 2004)

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
	f_g minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi Pencatatan	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
	<i>Coupling soil-sensor alami (in situ)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atur sensor langsung pada permukaan tanah atau bangunan 2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSr. 2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong. 	
Kondisi cuaca	<ol style="list-style-type: none"> 1. Angin : Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). 2. Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. 3. Suhu : Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumber monokromatik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

Langkah selanjutnya adalah proses pembuatan desain letak penempatan titik menggunakan bantuan *software AutoCAD*. Perencanaan lokasi penentuan titik ini pada bagian struktur atas jembatan pada tiap tumpuan dan tengah bentang pada trotoar jembatan. Titik penelitian tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.10** berikut



Gambar 4. 10 Titik Penelitian Pada Struktur Atas

4.5 Pengolahan Data

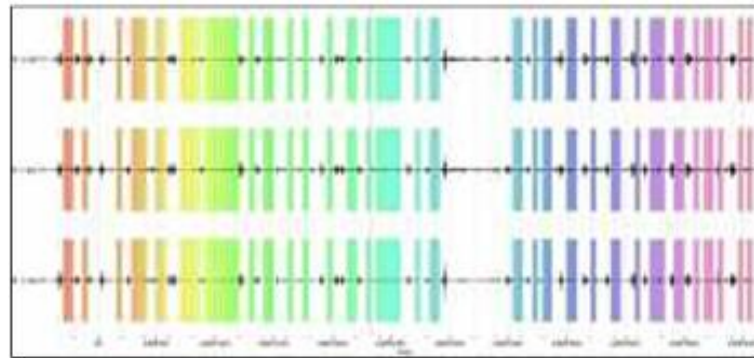
4.5.1 Data Mikrotremor

Data hasil dari penelitian lapangan diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Pengukuran menghasilkan tiga komponen getaran, yaitu gelombang horizontal EW (*east–west*), gelombang horizontal NS (*north–south*), dan gelombang vertikal (*up–down*), yang kemudian disimpan dalam format file.mseed. Selanjutnya, data mikrotremor diproses melalui tahapan *windowing* dan *cutting*. Tahapan ini bertujuan untuk membagi dan memilih sinyal yang bebas dari gangguan secara manual menggunakan perangkat lunak *Geopsy*, hingga diperoleh kurva H/V.

4.5.2 Perhitungan Frekuensi Natural (F0)

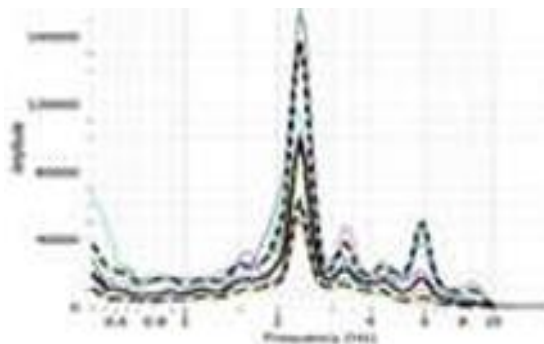
Data yang telah diproses menggunakan metode mikrotremor kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak *Geopsy* untuk menghasilkan kurva H/V. Dari kurva H/V tersebut, berbagai parameter penting dapat diperoleh, seperti nilai frekuensi natural (F0). Adapun tahapan pengolahan data dengan metode HVSr menggunakan *software Geopsy* adalah sebagai berikut.

1. Open *software geopsy*, pilih file dan *import signal* lalu atur *seed stream* dengan IP Instrument 19.168.0.100 (Wi – Fi) atau 192.168.1.100 (*Ethernet*).
2. Connect dan pilih format SHE, SHN, SHZ.
3. Filtering signal dengan band pass 0,5 Hz – 10 Hz yang merupakan sinyal frekuensi rendah sesuai dengan karakteristik mikrotremor.
4. Pada *windows seed link signal loader geopsy*, pilih start. Setelah itu tekan tombol pada *toolbar*. Secara otomatis *software* akan menyeleksi dan mengolah waktu sinyal. Berikut merupakan contoh sinyal yang diolah dapat dilihat pada **Gambar 4.11** berikut.



Gambar 4. 11 Contoh Windowing Sinyal
(Dwi Syaputra et al., 2019)

5. Pilih *time window* yang meliputi panjang (*length*), *range* waktu yaitu waktu pada saat mulai dan waktu maksimum *window*. Klik kanan pada tiga komponen data, pilih HV, lalu klik *exactly* pada kolom *length*, kemudian *checklist* bagian anti *triggers on raw signal*, dan pada kolom *select* pilih auto lalu start.
6. Proses pengolahan data disesuaikan dengan *windows* untuk memilah parameter yang diperlukan secara otomatis, klik start agar *software* mulai melakukan perhitungan HVSR.
7. Simpan *output* kurva H/V hasil perhitungan yang sudah diolah dengan format *extension.HV*, dan berikut hasil kurva H/V dapat dilihat pada **Gambar 4.12** berikut.



Gambar 4. 12 Kurva H/V
(Mutaram et al, 2022)

4.5.3 Perhitungan Frekuensi Teoritis

Data yang didapatkan kemudian dimodelkan untuk mendapatkan nilai frekuensi teoritis. Berikut Langkah-langkah mendapatkan nilai frekuensi menggunakan software SAP 2000.

1. Persiapan Data dan Pemilihan Satuan
 - a) Mengumpulkan data geometris, material, dan beban yang diperlukan untuk analisis. Data ini harus sesuai dengan standar pembebanan yang berlaku.
 - b) Membuka *SAP2000* dan pilih satuan yang sesuai (meter, kilonewton, dll.) untuk pemodelan.
2. Pemodelan Struktur Jembatan
 - c) Buat model struktur berdasarkan data geometris.
 - d) Mendefinisikan material yang akan digunakan, seperti beton atau baja. Ini bisa dilakukan melalui *Define > Materials*.
 - c) Mendefinisikan *property* penampang untuk elemen-elemen struktural seperti balok, kolom, dan elemen lain yang relevan melalui *Define > Section Properties*.
3. Penerapan Beban dan *Boundary Conditions*
 - a) Mendefinisikan beban yang relevan pada model, seperti beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Pastikan semua beban sesuai dengan standar yang berlaku seperti SNI 1725:2016 untuk standar pembebanan jembatan di Indonesia. Ini dapat dilakukan melalui *Define > Load Patterns*.
 - b) Menerapkan beban-beban tersebut pada elemen-elemen struktur melalui *Assign > Loads*.
 - c) Mendefinisikan kondisi perbatasan (*boundary conditions*) yang mencakup penentuan titik-titik tumpuan dan sambungan pada elemen-elemen jembatan

4. Analisis frekuensi
 - a) Untuk mendapatkan frekuensi alami (*natural frequencies*) dan mode *shapes* struktur, perlu menjalankan analisis modal. Ini dapat dilakukan melalui *Define > Analysis Cases > Modal*.
 - b) Menentukan jumlah mode yang ingin dianalisis.
 - c) Menjalankan analisis dengan memilih *Analyze > Run Analysis*.
 - d) Setelah selesai analisis, frekuensi struktur dan mode *shapes* dari struktur akan terlihat.
5. Memvisualisasikan mode *shapes*
 - a) Untuk memvisualisasikan mode *shape* dengan memilih *Display > Show Deformed Shape*.

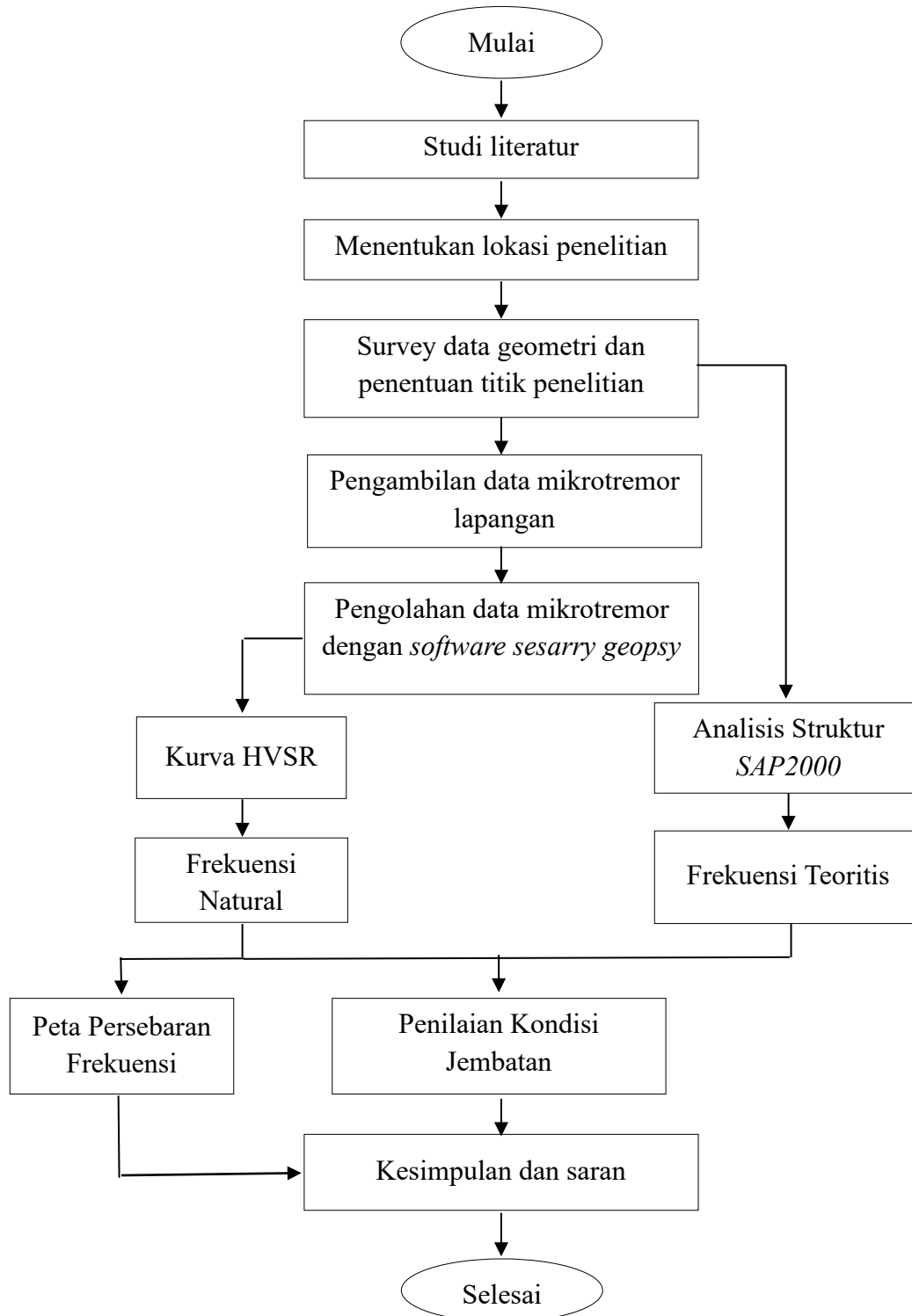
4.5.4 Peta Kerentanan Jembatan

Peta persebaran frekuensi jembatan yang diperoleh melalui pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Surfer* memberikan representasi visual mengenai distribusi frekuensi natural di sepanjang struktur atas jembatan. Peta ini membantu dalam memahami variasi karakteristik dinamis jembatan, mengidentifikasi area dengan frekuensi rendah atau tinggi, serta mengevaluasi potensi kerusakan atau perubahan struktural akibat beban dan faktor lingkungan. Berikut Langkah-langkah untuk mendapatkan peta persebaran struktur jembatan

1. Mempersiapkan data berupa koordinat titik penelitian dan frekuensi dalam file excel.
2. Membuka aplikasi *Surfer* dan *import* data frekuensi yang telah dibuat dalam format .csv.
3. Didalam aplikasi surfer tentukan metode *gridding* (*Kriging, Natural Neighbor, dll*)
4. Memilih opsi “*Contour*” untuk membuka peta persebaran jembatan.
5. Terapkan *colourmap* untuk memunculkan warna dan tambahkan label frekuensi.
6. Simpan file peta dalam format .srf dan ekspor ke .jpeg.
7. Analisis peta untuk mengidentifikasi area frekuensi rendah maupun tinggi pada struktur atas jembatan.

4.6 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.13** berikut.



Gambar 4. 13 Diagram Alur Penelitian

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis HVSR

5.1.1 Pengambilan Data di Lapangan

Pengambilan data mikrotremor dilakukan di lapangan berdasarkan titik koordinat yang telah ditentukan sebelumnya. Data diperoleh dengan merekam getaran tanah menggunakan alat mikrotremor *Lunitek Digital Seismic Sensor Triton 5s*. Proses perekaman dilakukan sesuai dengan panduan SESAME. Tahap awal pengambilan data dimulai dengan menuju lokasi titik pengukuran menggunakan bantuan *Google Earth*. Setelah tiba di lokasi yang sesuai, langkah berikutnya adalah mempersiapkan instrumen alat. Proses persiapan instrumen dapat dilihat pada **Gambar 5.1** berikut.



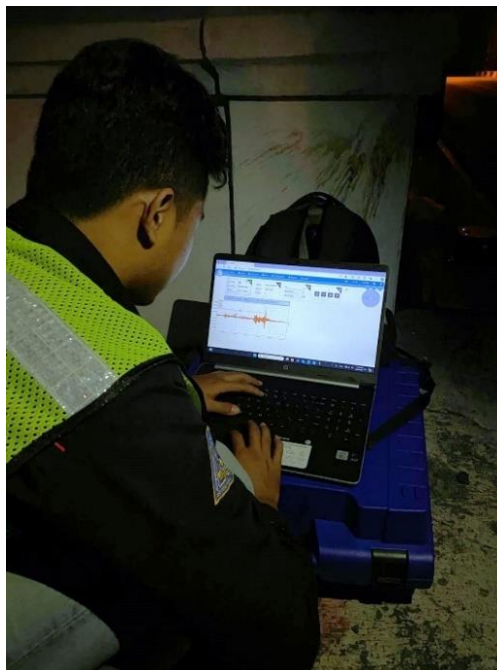
Gambar 5. 1 Persiapan Instrumen Alat Pengukuran Mikrometer

Tahap berikutnya adalah meletakkan alat di permukaan tanah yang datar, memastikan posisi alat sejajar dengan arah mata angin utara, dan mengatur *nivo* atau gelembung agar berada di tengah dengan menyesuaikan kaki-kaki pada alat Triton 5s. Setelah itu, pasang kabel GPS, kabel ethernet, antena Wi-Fi, serta baterai. Instrumen alat yang sudah siap untuk merekam getaran tanah dapat dilihat pada **Gambar 5.2** berikut.



Gambar 5. 2 Instrumen Alat

Setelah alat dinyalakan, langkah berikutnya adalah menghubungkannya dengan perangkat lunak Lunitek untuk memulai proses perekaman. Perekaman dilakukan selama kurang lebih 30 menit. Proses perekaman tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.3** berikut.

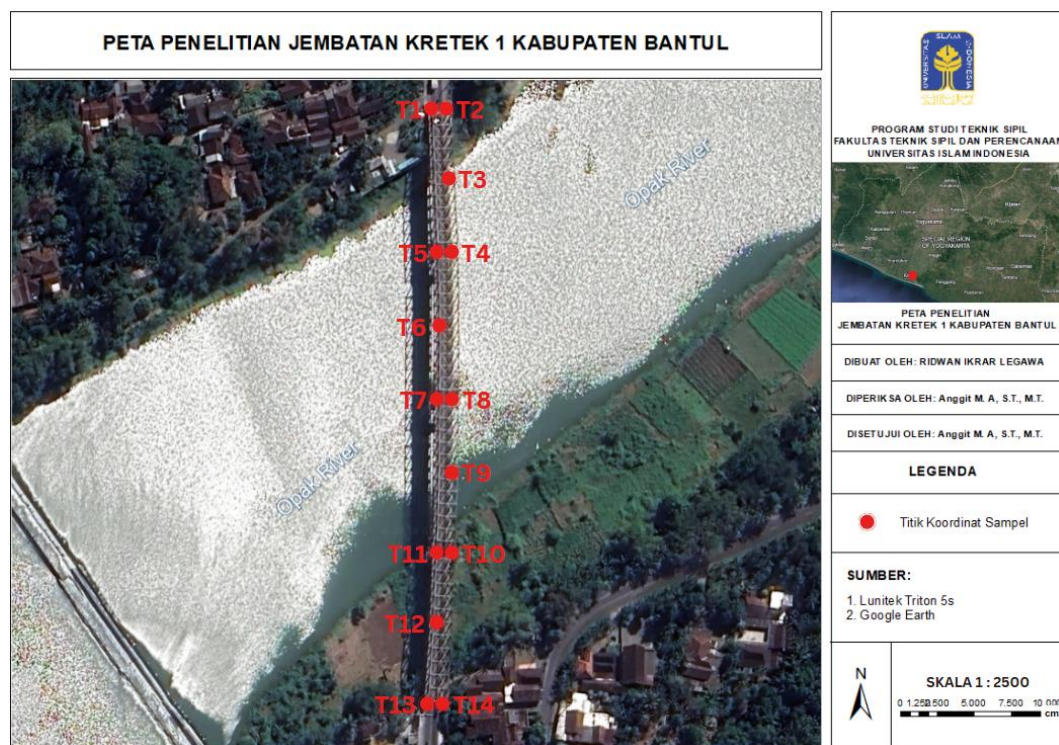


Gambar 5. 3 Proes Perekaman Sinyal Mikrotremor

Hasil yang diperoleh dari pembacaan alat mikrotremor adalah data mentah yang terdiri dari 3 jenis komponen gelombang seismik dengan format SHZ.mseed, SHN.mseed, SHE.mseed.

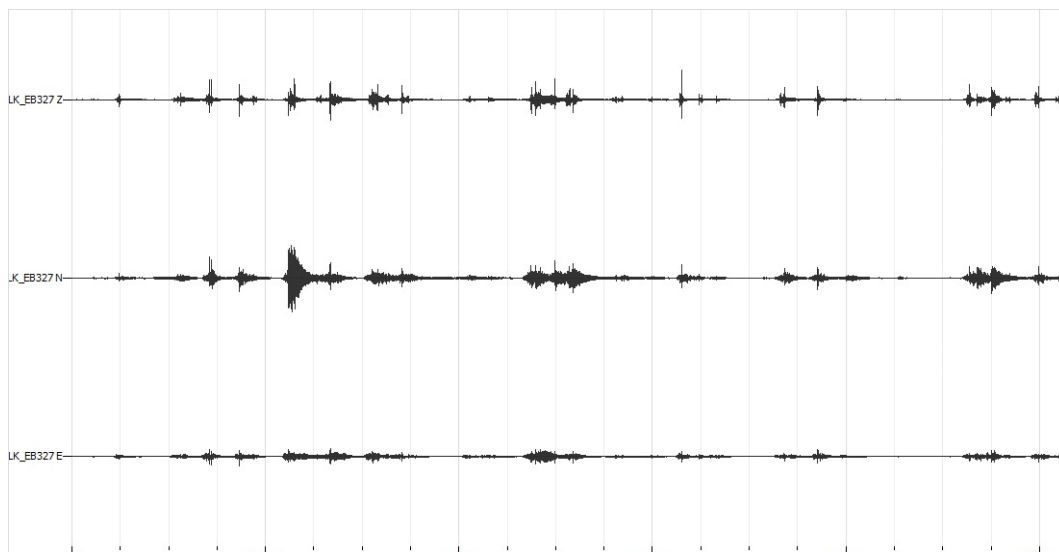
5.1.2 Analisis Data Geopsy

Penelitian yang dilakukan di Jembatan kretek 1 Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta mendapatkan nilai akhir berupa nilai frekuensi natural (F_0). Nilai tersebut didapatkan dari pengolahan data pada aplikasi *Geopsy*. Penelitian tersebut dilakukan pada 14 titik struktur atas pengukuran mikrotremor, yang lokasinya dapat dilihat pada **Gambar 5.4** berikut.



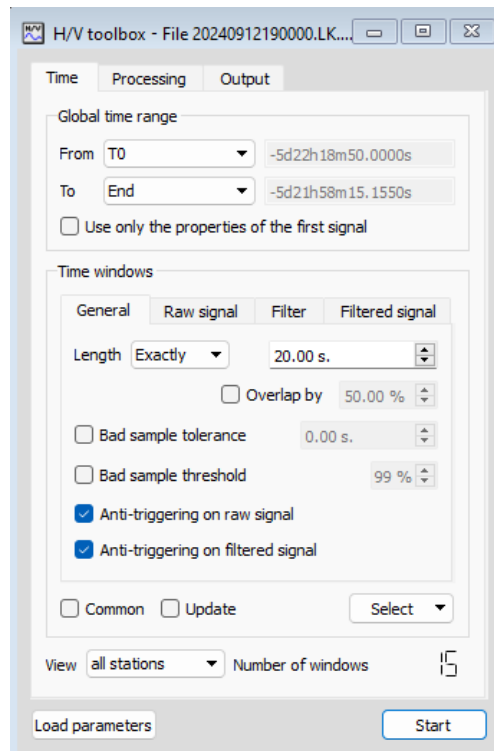
Gambar 5. 4 Peta Persebaran Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor

Dari hasil pengukuran menggunakan alat Triton 5s, diperoleh data sinyal gelombang seismik dalam tiga format file: SHZ.mseed, SHN.mseed, dan SHE.mseed. Data tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy, yang menghasilkan tiga grafik komponen gelombang, yaitu vertikal, horizontal north-south, dan horizontal east-west. Output sinyal yang diolah menggunakan Geopsy dapat dilihat pada **Gambar 5.5** berikut.

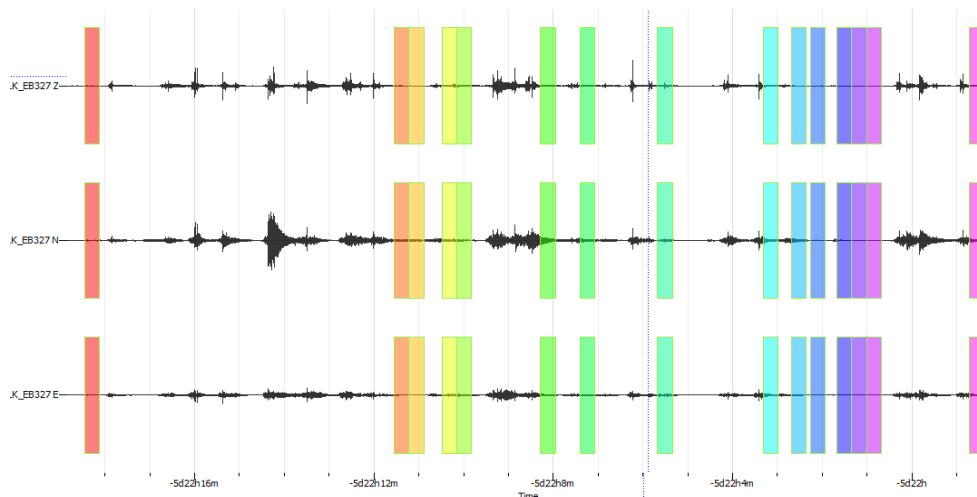


**Gambar 5. 5 Grafik Pengolahan Data Sinyal Mikrotremor Titik 8
Menggunakan *Software Geopsy***

Setelah memasukkan ketiga komponen data, dilakukan proses *filtering option* dan *windowing* untuk memilih gelombang sinyal yang bebas dari noise. Pemilihan gelombang sinyal ini penting karena selama pengambilan data di lapangan terdapat getaran yang tidak berasal dari dalam tanah, melainkan dari aktivitas di sekitar, seperti aktivitas manusia atau getaran benda lainnya. *Windowing* dilakukan secara otomatis dengan panjang grafik 20 detik, kemudian dilanjutkan dengan *filtering* manual untuk menghilangkan *noise*. Contoh proses *filtering* dan *windowing* pada Titik 7 dapat dilihat pada **Gambar 5.6** dan **Gambar 5.7** berikut.

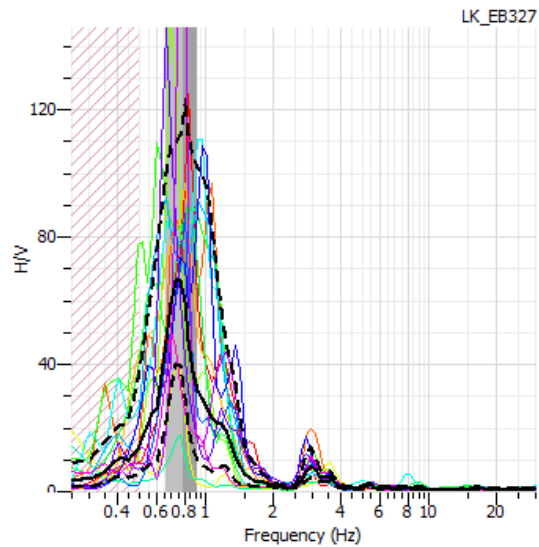


Gambar 5. 6 Filtering Option Untuk Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 8



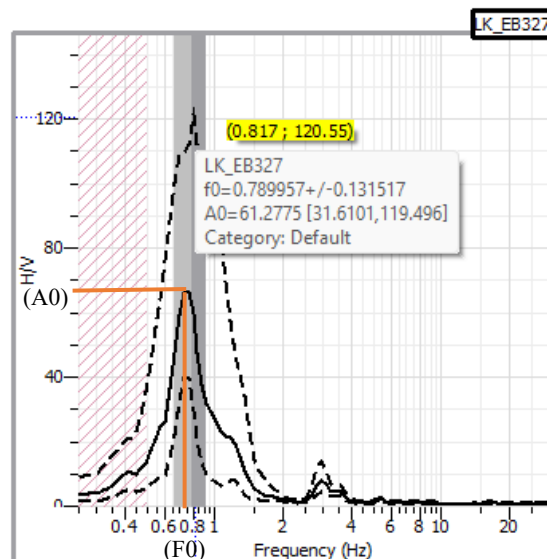
Gambar 5. 7 Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 8

Setelah itu dilanjutkan dengan analisis H/V untuk mendapatkan kurva HVSR seperti **Gambar 5.8** berikut.



Gambar 5. 8 Grafik Kurva HVSR Titik 8

Kurva HVSR di atas merupakan hasil dari proses *filtering* dan *windowing* data sinyal mikrotremor pada Titik 7. Pengolahan kurva HVSR ini menghasilkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, yang diperoleh dengan membaca nilai pada puncak grafik HVSR. Hasil tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.9** berikut.



Gambar 5. 9 Nilai Puncak Grafik Kurva HVSR Titik 8

5.1.3 Nilai Frekuensi Natural Jembatan

Nilai frekuensi natural jembatan adalah besaran yang menentukan bagaimana jembatan bergetar secara alami saat menerima gangguan tanpa adanya gaya luar yang terus-menerus. Nilai ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk massa, kekakuan, panjang bentang, serta jenis material yang digunakan dalam konstruksi. Berikut nilai frekuensi natural pada jembatan di Jembatan Ketek 1 Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada **Tabel 5.1** berikut.

Tabel 5. 1 Nilai Frekuensi Natural JembatanKretek 1 Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Titik	Posisi	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)
T1	Struktur Atas jembatan	0,486
T2		0,817
T3		1,203
T4		0,868
T5		0,846
T6		2,250
T7		0,733
T8		0,790
T9		2,368
T10		0,719
T11		0,999
T12		1,180
T13		0,329
T14		0,742

5.2 Analisis Frekuensi Teoritis Jembatan SAP2000

5.2.1 Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan dilakukan untuk menentukan respons dinamis struktur jembatan. Pembebanan pada jembatan mengacu pada pedoman SNI 1725:2016, yang mencakup beban mati, beban hidup, serta beban dinamis seperti beban kendaraan. Analisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 bertujuan untuk memperoleh frekuensi teoritis struktur jembatan. Berikut adalah pembebanan jembatan yang sesuai dengan pedoman tersebut.

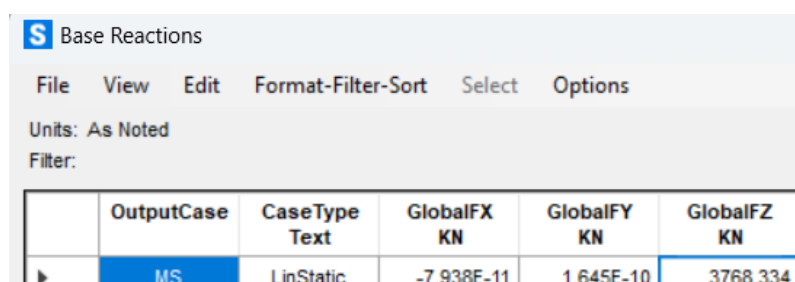
1. Beban Permanen

Beban permanen adalah elemen yang ada pada struktur jembatan sejak berdirinya jembatan.

Untuk berat permanen dapat dilihat di bawah ini:

1) Berat mati sendiri (Ms)

Berat mati sendiri merupakan berat dari elemen dan bahan penyusun struktur jembatan. Beban ini mencakup berat seluruh rangka baja serta pelat lantai kendaraan. Penentuan berat mati sendiri pada jembatan dilakukan dengan bantuan program CSI: SAP2000. Dari hasil pemodelan dari *software* SAP2000, diperoleh nilai berat mati sendiri struktur sebesar 3768,334 kN dapat dilihat pada **Gambar 5.10** berikut.



OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN
MS	LinStatic	-7.938E-11	1.645E-10	3768.334

Gambar 5. 10 Output Berat Mati Sendiri

2) Beban mati tambahan

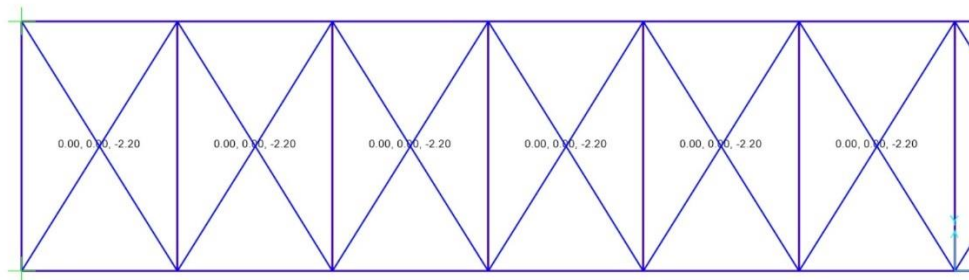
Beban mati tambahan merupakan semua beban dari elemen *nonstruktural*. Untuk perhitungan dari beban mati tambahan di antaranya sebagai berikut.

a. Lapisan Aspal + *Overlay*

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

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Aspal} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Beban Akibat Aspal} &= 0,1 \times 22 \\ &= 2,2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka pada pelat lantai diberi beban aspal + *overlay* sebesar $2,2 \text{ kN/m}^2$. Besaran dan penempatan beban lapisan aspal + *overlay* dapat dilihat pada **Gambar 5.11** berikut.



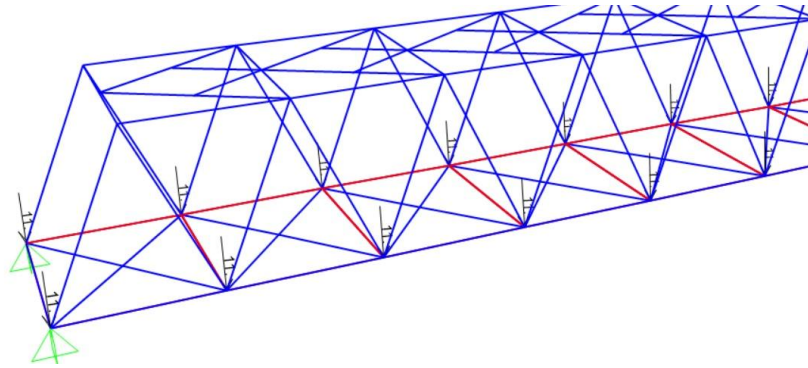
Gambar 5. 11 Beban Lapisan Aspal + Overlay

b. Trotoar

Besar beban trotoar dihitung tiap 5 m yang akan dibebankan pada setiap titik buhul menjadi beban titik.

$$\begin{aligned} \text{Tebal trotoar} &= 0,2 \text{ m} \\ \text{Panjang tinjauan} &= 5 \text{ m} \\ \text{Lebar trotoar} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Berat jenis beton} &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Beban akibat trotoar} &= 0,2 \times 5 \times 0,5 \times 22 \\ &= 11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui besar nilai beban titik akibat trotoar di tiap buhul sebesar 11 kN. Besaran dan penempatan beban trotoar dapat dilihat pada **Gambar 5.12** berikut.



Gambar 5. 12 Beban Trotoar

c. Pipa *Railing*

Jembatan memiliki dua baris pipa *railing* yang panjangnya dihitung berdasarkan segmen jembatan, kemudian dibagi ke setiap titik buhul.

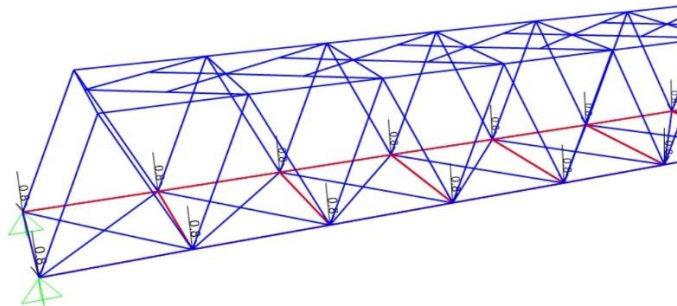
Panjang pipa *railing* = 60 m

Jumlah titik buhul = 13

Berat jenis pipa *railing* = 0,087 kN/m

Beban akibat pipa *railing* = $\frac{2 \times 60 \times 0,087}{13}$
= 0,803 kN

Hal ini dapat diketahui bahwa besar nilai beban akibat pipa *railing* sebesar 0,803 kN. Besaran dan penempatan beban pipa railing dapat dilihat pada **Gambar 5.13** berikut.



Gambar 5. 13 Beban Pipa Railing

2. Beban Lalu Lintas

Penentuan pembebanan lalu lintas mengacu pada SNI 1725:2016 mengenai pembebanan jembatan yang mencakup kombinasi beban lajur, gaya rem, serta beban akibat pejalan kaki.

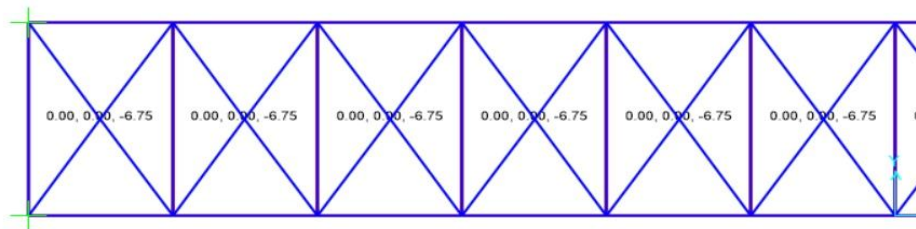
1) Beban Lajur "D" (TD)

a. Beban Terbagi Merata (BTR)

Panjang bentang jembatan 60 m, $L \geq 30$ m, maka beban terbagi merata (BTR)

$$\begin{aligned} q &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \\ &= 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{60}\right) \\ &= 6,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Besaran dan penempatan beban BTR dapat dilihat pada **Gambar 5.14** berikut.



Gambar 5. 14 Beban Terbagi Merata (BTR)

b. Beban Garis Terpusat (BGT)

$$P = 38 \text{ kN/m}^3$$

Penentuan faktor beban dinamis (FBD) pada jembatan dengan panjang 60meter diperoleh dari grafik sesuai ketentuan SNI 1725:2016. Maka,

$$\begin{aligned} \text{BGT} &= FBD \times p \\ &= 140\% \times 38 \\ &= 53,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Besaran dan penempatan beban BGT dapat dilihat pada **Gambar 5.15** berikut.

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

$$\begin{aligned} \text{TB2} &= 5\% \times (TT + (BTR \times L \times B)) \\ &= 5\% \times (500 + (6,75 \times 60 \times 6)) \\ &= 146,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu TB2 = 146,4 kN

Titik tangkap rem (dari profil bawah)

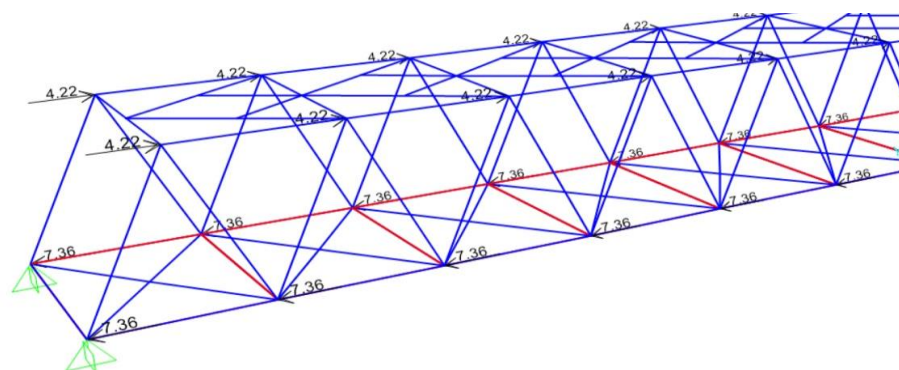
$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{2} \times H_{profil} \times t_{plat} \times t_{aspal} + 1,8 \\ &= \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,25 \times 0,1 + 1,8 \\ &= 2,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya rem untuk titik buhul

$$\begin{aligned} \text{PB1 (atas)} &= \frac{TB \times y}{H} \times \frac{1}{n \text{ atas}} \\ &= \frac{146,5 \times 2,2}{6,35} \times \frac{1}{12} \\ &= 4,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PB2 (bawah)} &= \frac{TB \times (H - y)}{H} \times \frac{1}{n \text{ bawah}} \\ &= \frac{146,5 \times (6,35 - 2,265)}{6,35} \times \frac{1}{13} \\ &= 7,364 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besaran dan penempatan beban PB1 dan PB2 dapat dilihat pada **Gambar 5.17** berikut.



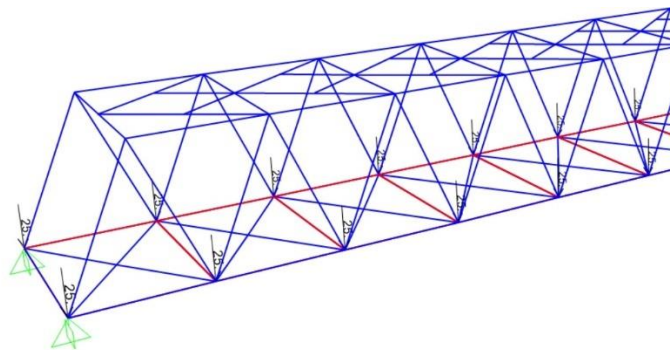
Gambar 5. 17 Pembebanan PB1 dan PB2

4) Beban Pejalan Kaki (Tp)

Dalam SNI 1725:2016 mengenai pembebanan jembatan, semua komponen trotoar yang memiliki lebar lebih dari 60 mm harus dirancang untuk menanggung beban pejalan kaki dengan intensitas sebesar 5 kPa, dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban dari kendaraan. Berikut adalah perhitungan terkait beban pejalan kaki.

$$\begin{aligned} \text{Lebar trotoar} &= 0,5 \text{ m} \\ q &= 5 \text{ kPa} \\ \text{Panjang segmen} &= 5 \text{ m} \\ \text{Beban pejalan kaki} &= 0,5 \times 5 \times 5 \\ &= 25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai beban pejalan kaki sebesar 25 kN yang akan dibebankan pada tiap titik buhul. Besaran dan penempatan beban PB1 dan PB2 dapat dilihat pada **Gambar 5.18** berikut.



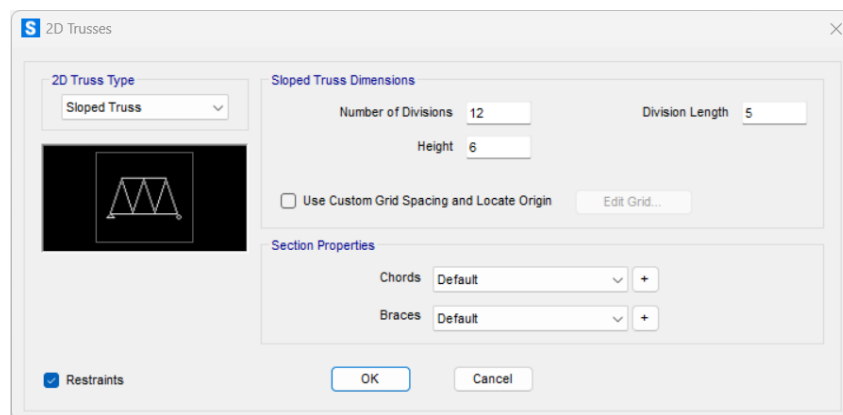
Gambar 5. 18 Beban Pejalan Kaki

5.2.2 Permodelan Struktur Jembatan

Pemodelan struktur jembatan menggunakan SAP2000 adalah proses yang melibatkan pembuatan model digital dari jembatan untuk menganalisis kekuatan, stabilitas, dan respons struktural terhadap berbagai jenis beban. Berdasarkan data elemen struktur atas Jembatan Kretek I yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, serta asumsi yang didasarkan pada penentuan *bridge load rating*, dilakukan pemodelan struktur atas Jembatan Kretek 1 dengan menggunakan program CSI: SAP2000.

1. Template Model 2D Trusses

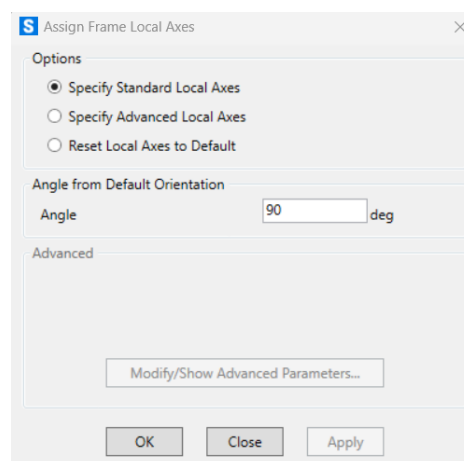
Template model 2D trusses pada program SAP2000 digunakan untuk mempermudah proses pemodelan struktur rangka utama jembatan. Input data template pada SAP2000 dapat dilihat pada **Gambar 5.19** berikut.



Gambar 5. 19 Template 2D Trusses

2. Penyesuaian Posisi Elemen Batang Rangka Jembatan

Secara default SAP2000, perletakan batang-batangnya terpasang tegak pada sumbu kuatnya tetapi masih mengarah ke melintang jembatan, agar pemodelan sama dengan kondisi *eksisting* di mana pada tiap batang tepi dan diagonal rangka jembatan dipasang dengan arah lendutan ke bawah ditumpu oleh sumbu lemahnya. Maka sumbu lokal seluruh batang struktur utamanya dirotasi sebesar 90° dengan bantuan *assign frame local axes*, dapat dilihat pada **Gambar 5.20** berikut.



Gambar 5. 20 Penyesuaian Posisi Batang Rangka Utama

3 Material *Properties* Baja dan Beton

Material yang digunakan pada pemodelan ini mengacu pada Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* untuk jembatan *eksisting* (03/SE/M/2016). Berikut ini adalah input material property data baja dan beton dapat dilihat pada **Gambar 5.21** dan **Gambar 5.22** berikut.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a steel material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (BAJAA572Gr50), 'Material Type' (Steel), and 'Material Grade' (Grade 50). The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (76.9729) 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' (76903069). The 'Other Properties For Steel Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, Fy' (250000), 'Minimum Tensile Stress, Fu' (360000), 'Expected Yield Stress, Fye' (250000), and 'Expected Tensile Stress, Fue' (360000). The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

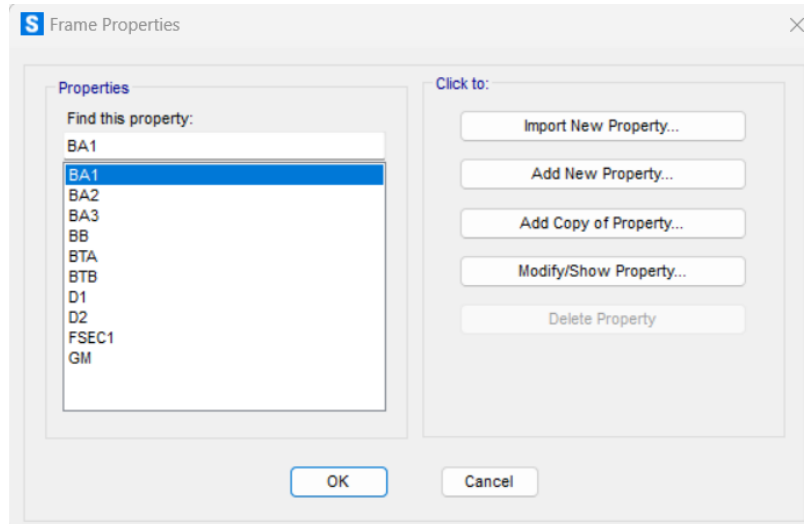
Gambar 5. 21 Material *Property* Data Baja

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a concrete material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (BETON-22MPa), 'Material Type' (Concrete), and 'Material Grade' (Fc 22MPa). The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (24) and 'Mass per Unit Volume' (2.447). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (22044954), 'Poisson, U' (0.2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (1.000E-05), and 'Shear Modulus, G' (9185398). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, Fc' (22000), 'Expected Concrete Compressive Strength' (22000), and a 'Lightweight Concrete' checkbox (unchecked) with a 'Shear Strength Reduction Factor' field. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

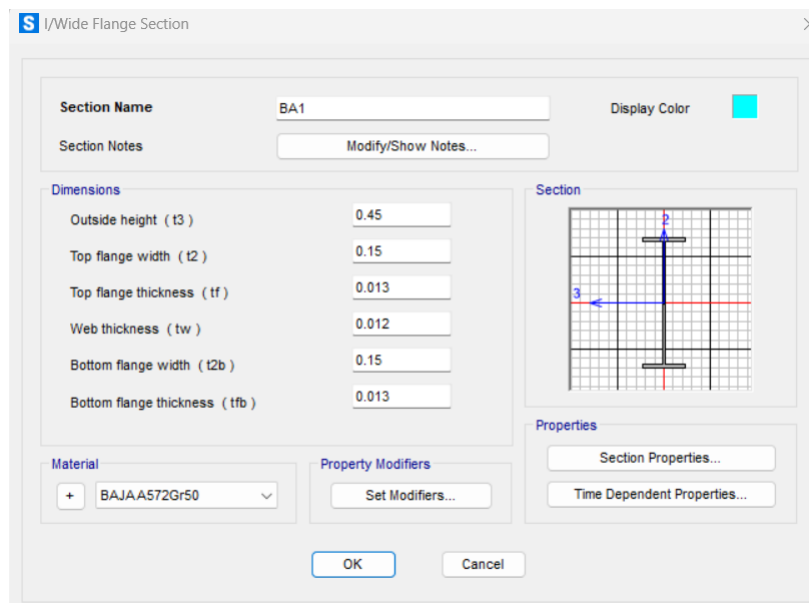
Gambar 5. 22 Material *Property* Data Beton

4. *Define Frame Sections Properties*

Seluruh profil yang membentuk rangka jembatan dimodelkan di SAP2000 berdasarkan data detail profil yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan jangka sorong. Beberapa input profil baja pada jembatan dapat dilihat pada **Gambar 5.23** hingga **Gambar 5.29** berikut.



Gambar 5. 23 *Input Frame Section properties*



Gambar 5. 24 *Input Frame Batang Bracing Atas (BA1)*

S Angle Section

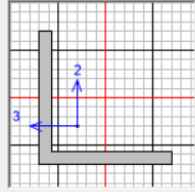
Section Name: Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside vertical leg (t3)	<input type="text" value="0.1"/>
Outside horizontal leg (t2)	<input type="text" value="0.1"/>
Horizontal leg thickness (tf)	<input type="text" value="9.000E-03"/>
Vertical leg thickness (tw)	<input type="text" value="9.000E-03"/>

Section



Material

Property Modifiers

Properties

Gambar 5. 25 Input Frame Batang Bracing Bawah (BB)

S Wide Flange Section

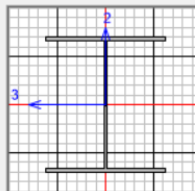
Section Name: Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside height (t3)	<input type="text" value="0.45"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0.4"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0.013"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0.012"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0.4"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0.013"/>

Section



Material

Property Modifiers

Properties

Gambar 5. 26 Input Frame Batang Tepi Atas (BTA)

S I/Wide Flange Section

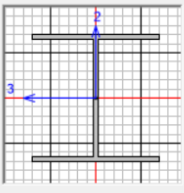
Section Name: BTB Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside height (t3)	0.4
Top flange width (t2)	0.4
Top flange thickness (tf)	0.013
Web thickness (tw)	0.012
Bottom flange width (t2b)	0.4
Bottom flange thickness (tfb)	0.013

Section



Material: BAJAA572Gr50

Property Modifiers:

Properties:

Gambar 5. 27 Input Frame Batang Tepi Bawah (BTB)

S I/Wide Flange Section

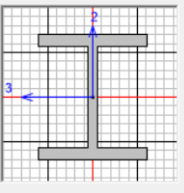
Section Name: D1 Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside height (t3)	0.4
Top flange width (t2)	0.35
Top flange thickness (tf)	0.038
Web thickness (tw)	0.034
Bottom flange width (t2b)	0.35
Bottom flange thickness (tfb)	0.038

Section

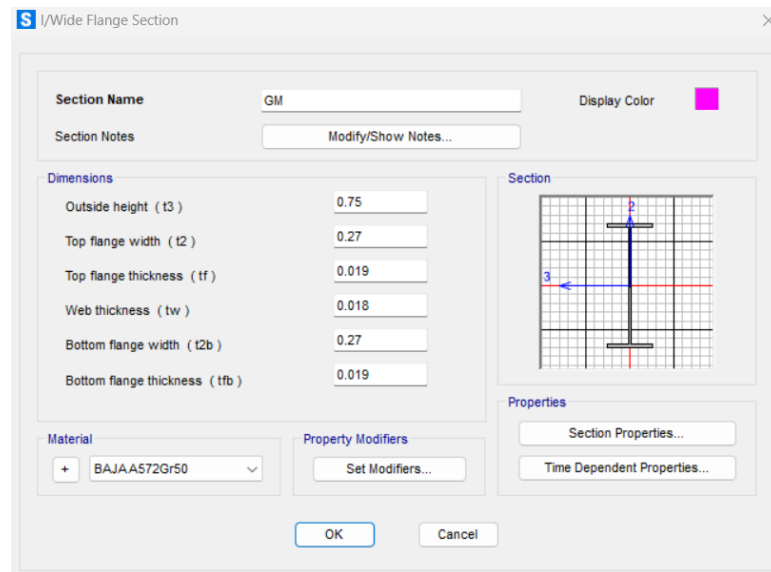


Material: BAJAA572Gr50

Property Modifiers:

Properties:

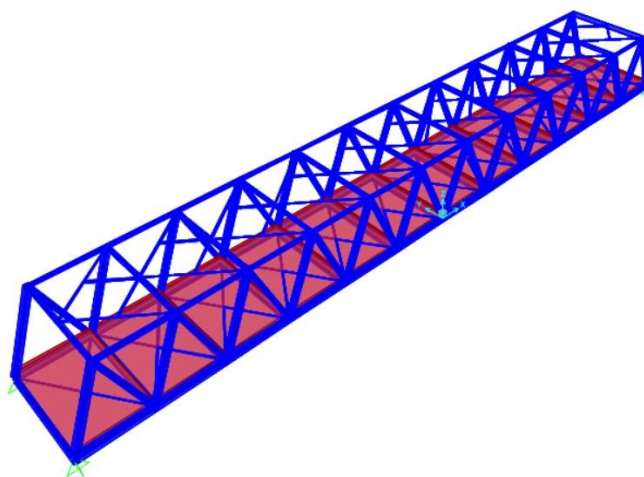
Gambar 5. 28 Input Frame Batang Diagonal (D1)



Gambar 5. 29 Input Frame Batang Gelagar Melintang (GM)

5. *Replicated and Drawing Frame*

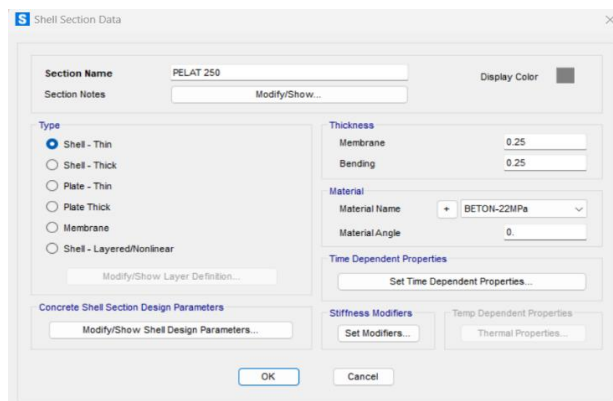
Setelah sumbu lokal pada setiap elemen rangka utama diputar sebesar 90° dan profil berhasil didefinisikan, langkah berikutnya adalah menggendakan rangka ke arah sumbu y sesuai dengan lebar aktual jembatan, yaitu 7,5 meter. Kemudian, rangka tersebut dihubungkan menggunakan *girder* melintang dan *bracing* melalui fitur *draw frame/cable* hingga membentuk struktur seperti yang ditampilkan pada **Gambar 5.30** berikut.



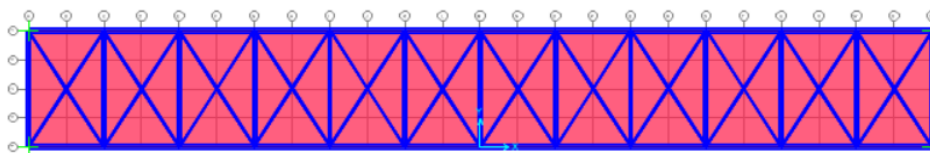
Gambar 5. 30 Hasil Permodelan Struktur Rangka Jembatan

6. *Define and Drawing Area Section*

Fitur *Define Area Section* digunakan untuk mendefinisikan pelat beton bertulang yang bertumpu pada girder melintang, menggunakan material beton dengan kekuatan tekan $F'c$ 22 MPa, sesuai dengan Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk jembatan *eksisting*. Pelat ini memiliki ketebalan 250 mm berdasarkan hasil pengukuran. Setelah definisi selesai, area pelat digambar pada elevasi $z = 0$ m menggunakan fitur *Draw Rectangular*, di mana setiap panel pelat dibatasi oleh gelagar melintang. Detail proses *Define Area Section* dan *Draw Area Section* dapat dilihat pada **Gambar 5.31** dan **Gambar 5.32** berikut.



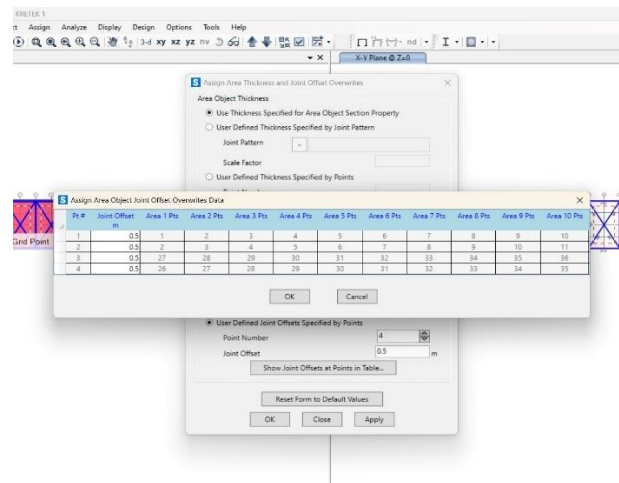
Gambar 5. 31 Define Area Section



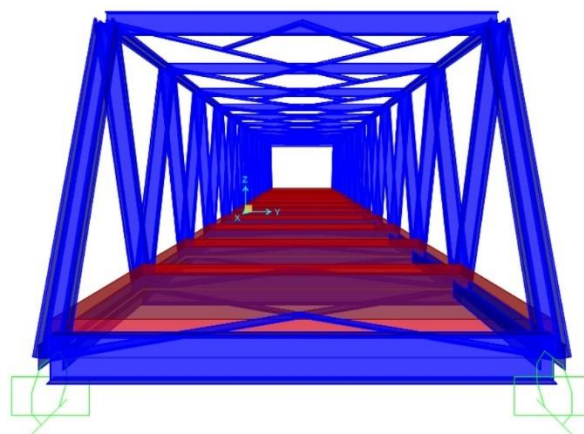
Gambar 5. 32 Draw Area Section

7. *Joint Offset Overwrites Pelat Lantai*

Secara default, area pelat lantai yang tergambar berada pada posisi $z = 0$, yaitu di tengah gelagar melintang. Namun, dalam kondisi sebenarnya, pelat lantai jembatan bertumpu di atas gelagar melintang. Oleh karena itu, setiap panel pelat lantai yang dimodelkan harus di-*offset* sebesar setengah dari tinggi gelagar melintang ditambah setengah dari tebal pelat lantai. Langkah-langkah untuk melakukan *joint offset overwrites* pada pelat lantai dapat dilihat pada **Gambar 5.33** dan **Gambar 5.34** berikut.



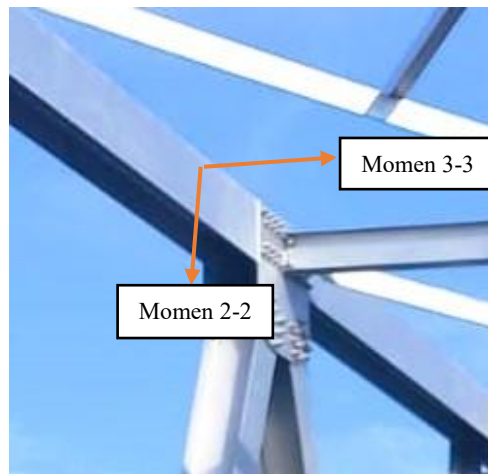
Gambar 5. 33 Joint Offset Overrides Pelat Lantai



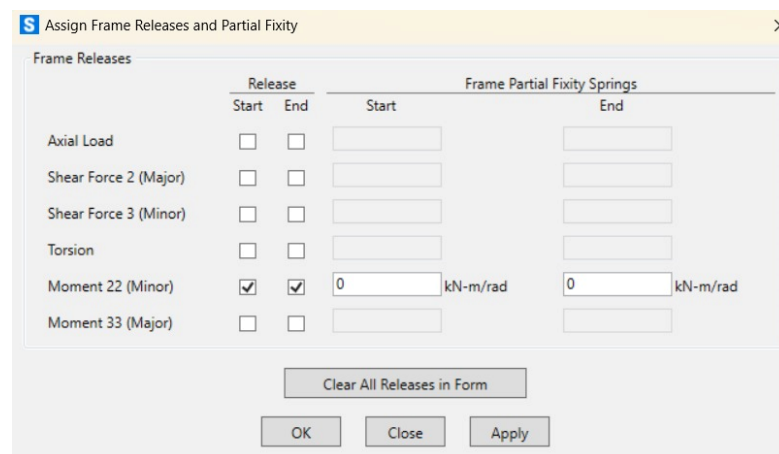
Gambar 5. 34 Posisi Pelat Lantai Setelah Offset

8. *Release Partial Fixity*

Fitur *Releases Partial Fixity* digunakan untuk memodelkan kondisi di mana setiap ujung rangka utama jembatan tidak mampu menahan momen. Hal ini sesuai dengan kondisi sebenarnya, di mana ujung-ujung rangka utama dihubungkan menggunakan *gusset plate* dan baut, sehingga berperilaku seperti sendi (tidak menghasilkan momen). Proses ini dilakukan dengan memilih semua elemen rangka utama, termasuk batang tepi atas, batang tepi bawah, dan batang diagonal, kemudian menerapkan *Assign Frame Releases/Partial Fixity*. Karena profil rangka utama dipasang pada sumbu lemahnya, momen yang dilepaskan adalah *Momen 22/Minor*. Arah sumbu momen dan langkah-langkah penerapan *Releases Partial Fixity* dapat dilihat pada **Gambar 5.35** dan **Gambar 5.36** berikut.



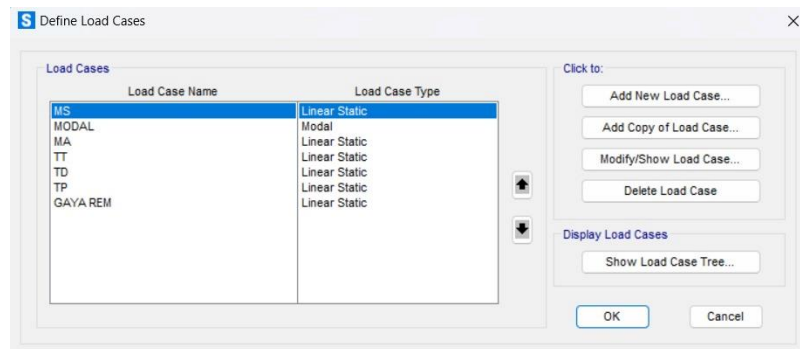
Gambar 5. 35 Arah Sumbu Momen



Gambar 5. 36 Releases Partial Fixity

9. *Define Load Cases*

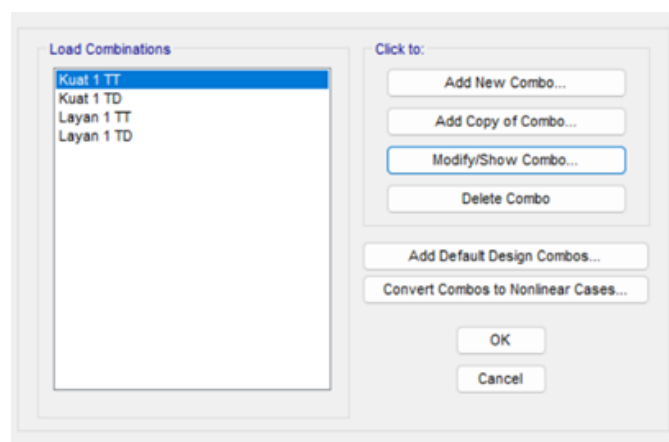
Define Load Cases mengacu pada Pedoman Penentuan Bridge Load Rating untuk jembatan eksisting, dengan evaluasi awal yang berfokus pada penilaian beban desain berdasarkan kondisi batas kekuatan I. Pada kondisi ini, hanya beban gravitasi yang diperhitungkan, yang mencakup beban mati dan beban hidup kendaraan. Beban-beban ini digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi pada setiap elemen struktur rangka. Proses *load assignment* pada struktur jembatan dapat dilihat pada **Gambar 5.37** berikut.



Gambar 5. 37 Load Assignment

10. *Define Load Combination*

Kombinasi beban (define load combination) adalah serangkaian beban yang diterapkan pada jembatan sesuai dengan SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan. Kombinasi Kuat 1 merupakan kombinasi pembebanan yang mempertimbangkan gaya-gaya yang terjadi pada jembatan dalam kondisi normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada kondisi ini, semua gaya nominal yang muncul dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Sementara itu, kombinasi Layan 1 berkaitan dengan operasional jembatan, di mana semua beban digunakan dalam nilai nominalnya. Pemilihan kombinasi beban ini sangat penting karena Kuat 1 memastikan jembatan memiliki ketahanan yang cukup terhadap beban maksimum, sedangkan Layan 1 memastikan bahwa defleksi dan tegangan tetap berada dalam batas aman selama penggunaan normal. Rincian lebih lanjut mengenai kombinasi beban ini dapat dilihat pada **Gambar 5.38**.



Gambar 5. 38 Define Load Combination

5.2.3 Hasil Analisis SAP2000

Pada subbab ini akan dipaparkan hasil frekuensi teoritis jembatan dari analisis struktur yang terjadi akibat beban desain. Dalam *running analysis* SAP2000 mendapatkan nilai frekuensi teoritis jembatan 1,081 Hz yang dapat dilihat pada **Gambar 5.39** berikut.

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	0.924418	1.08176191...	6.79691058...	46.1979935...
	MODAL	Mode	2	0.345153	2.89726536...	18.2040551...	331.387624...
	MODAL	Mode	3	0.264469	3.78116605...	23.7577669...	564.431491...
	MODAL	Mode	4	0.259046	3.86031430...	24.2550701...	588.308426...
	MODAL	Mode	5	0.177211	5.64299183...	35.4559633...	1257.12534...
	MODAL	Mode	6	0.16413	6.09274598...	38.2818520...	1465.50019...
	MODAL	Mode	7	0.160011	6.24958830...	39.2673213...	1541.92252...
	MODAL	Mode	8	0.15442	6.47586181...	40.6890397...	1655.59795...
	MODAL	Mode	9	0.149133	6.70542181...	42.1314078...	1775.05552...
	MODAL	Mode	10	0.148166	6.74918490...	42.4063794...	1798.30101...
	MODAL	Mode	11	0.146742	6.81468384...	42.8179214...	1833.37439...
	MODAL	Mode	12	0.14145	7.06964943...	44.4199174...	1973.12906...

Gambar 5. 39 Frekuensi Teoritis Jembatan

5.3 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan

Peta persebaran frekuensi struktur atas jembatan merupakan representasi visual yang sangat penting dalam analisis dinamis struktur, terutama untuk menilai distribusi frekuensi pada berbagai titik pengukuran di jembatan. Dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer*, data hasil pengukuran mikrotremor diolah menjadi peta kontur yang menunjukkan variasi frekuensi di permukaan jembatan. Peta ini memberikan informasi yang jelas mengenai area dengan respons frekuensi tinggi atau rendah, yang dapat mengindikasikan potensi kerentanan terhadap beban dinamis, seperti beban kendaraan. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan peta persebaran frekuensi struktur atas jembatan menggunakan *Surfer*.

1. Persiapan Data

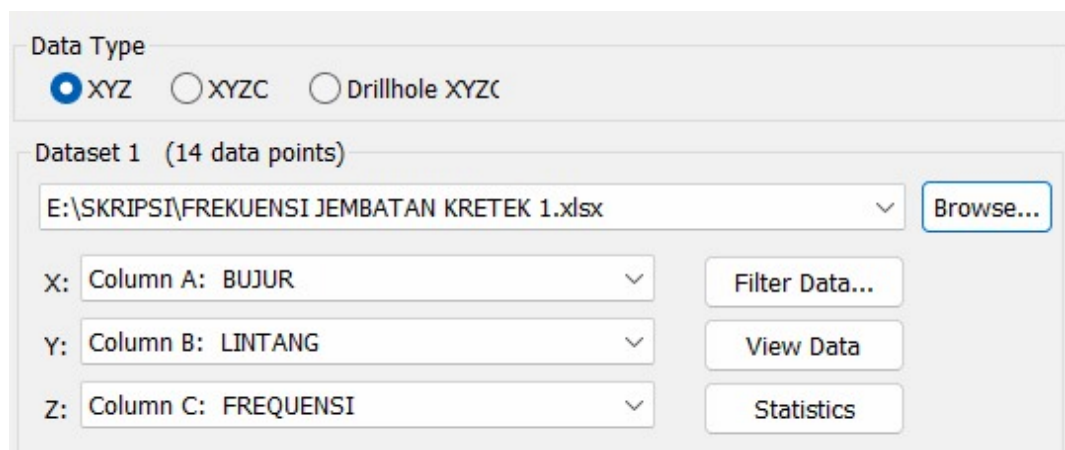
Persiapkan data mulai dari koordinat lokasi yang mencakup koordinat bujur dan lintang dan juga data frekuensi hasil pengukuran mikrotermor. Kemudian data disimpan dalam format *Excel* dengan kolom X (bujur), Y (lintang), dan Z (Frekuensi) yang dapat dilihat pada **Tabel 5.2** berikut.

Tabel 5. 2 Format File Data

TITIK	BUJUR	LINTANG	FREQUENSI
1	110.315462	-7.988286	0,486
2	110.315455	-7.988289	0,817
3	110.315434	-7.988533	1,203
4	110.31544	-7.988853	0,868
5	110.315414	-7.988852	0,846
6	110.315365	-7.989162	2,250
7	110.315361	-7.989408	0,733
8	110.315444	-7.989415	0,790
9	110.315411	-7.989639	2,368
10	110.315411	-7.989973	0,719
11	110.315387	-7.989948	0,999
12	110.315391	-7.99025	1,180
13	110.315393	-7.990509	0,329
14	110.315447	-7.990504	0,742

2. Import Data ke *Surfer*

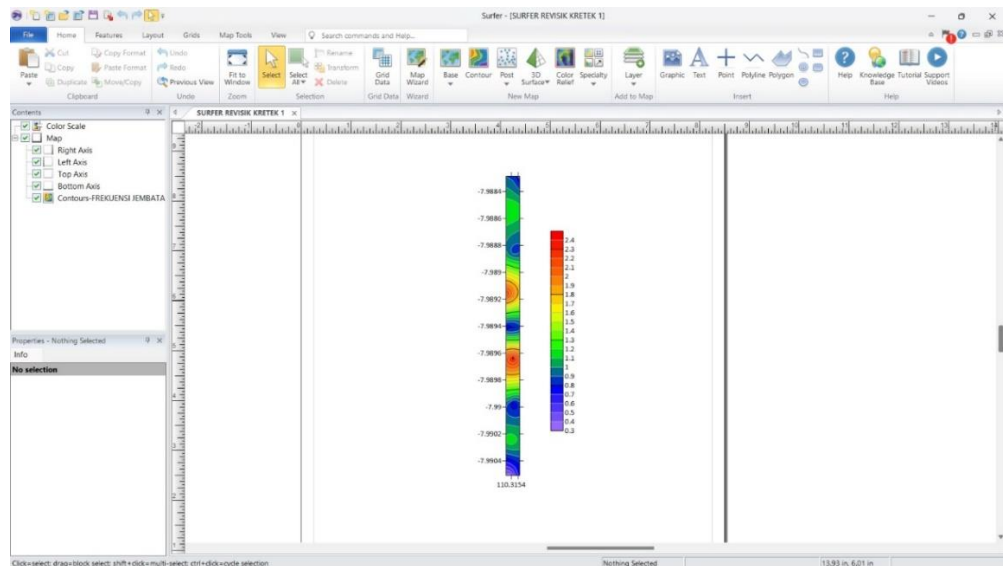
Setelah data excel tersimpan kemudian data di *import* ke dalam *surfer* dengan memilih menu *Grid > Grid Data > Browse*. Jika sudah terimport maka akan muncul tampilan seperti pada **Gambar 5.40** berikut dan pastikan kolom X, Y dan Z sesuai.



Gambar 5. 40 Tampilan Data Type

3. Membuat Peta Kontur

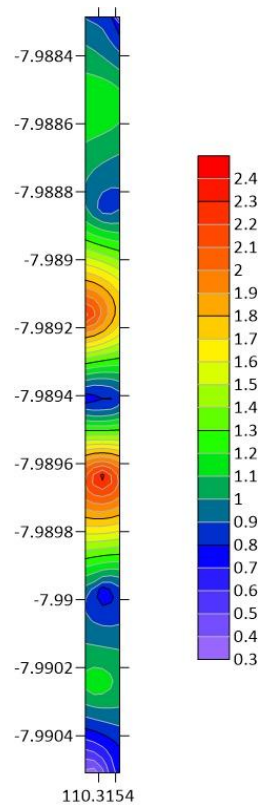
Kemudian untuk memunculkan peta kontur dengan memilih pada menu *Home* > *New Map* > *Contour Map*. *Surfer* akan otomatis menampilkan peta kontur berdasarkan data grid kita seperti pada **Gambar 5.41** berikut.



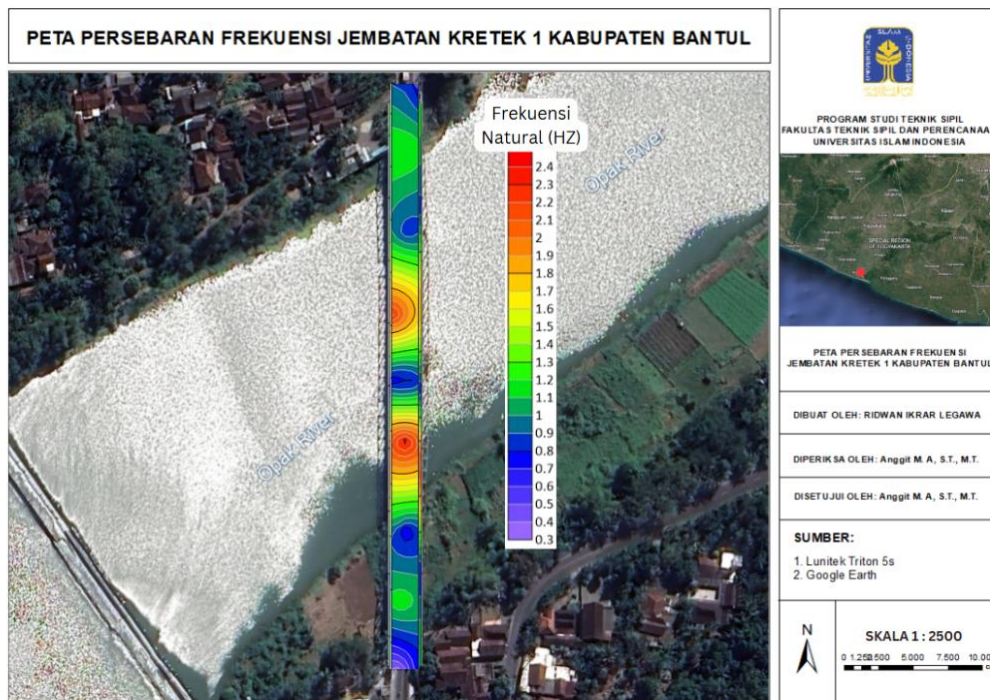
Gambar 5. 41 Tampilan Peta Kontur

4. Ekspor Peta

Setelah selesai, simpan peta dalam format gambar (misalnya PNG/JPG) dengan memilih *File* > *Export*. Hasil setelah di export dapat dilihat pada **Gambar 5.42** dan peta persebaran frekuensi jembatan pada **Gambar 5.43** Berikut.



Gambar 5. 42 Peta Kontur



Gambar 5. 43 Peta Persebaran Frekuensi Jembatan Kretek I kabupaten Bantul

5.4 Analisis Kelayakan Jembatan

Dari hasil analisis data dan pembahasan maka diketahui bahwa parameter – parameter pada indeks kerentanan jembatan yaitu nilai frekuensi natural (f_0) dan nilai frekuensi teoritis. Setelah mendapatkan kedua nilai tersebut maka dapat dilakukan perhitungan analisis kelayakan jembatan untuk mengetahui kerusakan relatif jembatan.

Dalam penilaian kondisi jembatan, analisis frekuensi memegang peranan penting sebagaimana diatur dalam Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B. Berikut perhitungan dari kerusakan relatif.

$$\begin{aligned} F_{0\text{rata-rata}} &= \frac{\Sigma f_{\text{aktual}}}{\text{Jumlah titik uji}} \\ &= \frac{14,330}{14} \\ &= 1,023 \text{ hz} \end{aligned}$$

$$F_{\text{teoritis}} = 1,081 \text{ hz (dari SAP2000)}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{relatif}} &= \left| \frac{(f_{\text{teoritis}} - f_{\text{aktual}})}{f_{\text{teoritis}}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{(1,081 - 1,023)}{1,081} \right| \times 100\% \\ &= 5,312\% \end{aligned}$$

Berikut perhitungan nilai kerusakan relatif yang dapat dilihat pada **Tabel 5.3** berikut.

Tabel 5. 3 Perhitungan Nilai Kerusakan Relatif

Titik	Posisi	Frekuensi Alami Jembatan (Hz)	Frekuensi rata-rata Jembatan (Hz)	Frekuensi teoritis (Hz)	Kerusakan relatif (%)
T1	Struktur Atas jembatan	0.486	1.023571429	1.081	5.312541298
T2		0.817			
T3		1.203			
T4		0.868			
T5		0.846			
T6		2.250			
T7		0.733			
T8		0.790			
T9		2.368			
T10		0.719			
T11		0.999			
T12		1.180			
T13		0.329			
T14		0.742			

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan frekuensi natural rata-rata struktur atas jembatan didapatkan hasil pengukuran tercatat sebesar 1,023 Hz. sementara itu, frekuensi teoritis yang dihitung melalui pemodelan menggunakan *software* SAP2000 1,081 Hz. Frekuensi alami jembatan di tengah bentang cenderung memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan di dekat tumpuan karena perbedaan karakteristik kekakuan dan respons dinamis struktur. Di dekat tumpuan, jembatan lebih kaku karena terikat secara langsung oleh struktur pendukungnya, sehingga memungkinkan getaran dengan frekuensi yang lebih rendah

Setelah dilakukan analisis menggunakan rumus kerusakan relatif, dengan melakukan perhitungan kerusakan relatif diperoleh nilai sebesar 5,312%. Nilai tersebut merupakan tingkat degradasi atau penurunan kinerja suatu struktur yang dibandingkan dengan kondisi awal atau standar yang telah ditentukan. Dalam konteks jembatan, kerusakan relatif dapat diukur berdasarkan perubahan sifat mekanis, seperti penurunan kekuatan material, peningkatan lendutan, retak pada elemen struktural, atau korosi pada komponen baja. Persentase kerusakan relatif yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa jembatan masih berada dalam kondisi

yang baik, meskipun terdapat tanda-tanda awal degradasi yang memerlukan perhatian guna mencegah kerusakan lebih serius di masa mendatang guna memastikan keamanan dan umur layanan jembatan tetap optimal.

Mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B, nilai kerusakan relatif tersebut menempatkan jembatan dalam kategori kondisi baik antara 1 - 5% dengan jenis kerusakan utuh. Dengan nilai kerusakan relatif yang diperoleh sebesar 5,312%, nilai tersebut sudah mendekati penilaian kondisi cukup dengan jenis kerusakan ringan (non struktural) yaitu antara 6 - 10%. Artinya, meskipun jembatan dalam kondisi baik namun tetap dimungkinkan ada indikasi kerusakan yang kecil tetapi tidak memengaruhi elemen struktural utama jembatan. Meski demikian, pemantauan secara rutin dan perawatan berkala tetap perlu dilakukan untuk menjaga keandalan serta keselamatan jembatan dalam jangka panjang.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan pembahasan penelitian analisis frekuensi Jembatan Kretek I Kabupaten Bantul dengan pengukuran mikrotremor di lapangan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil pengukuran mikrotremor lapangan menunjukkan frekuensi rata-rata struktur atas jembatan sebesar 1,023 Hz.
2. Pemodelan menggunakan software SAP2000 menghasilkan frekuensi teoritis sebesar 1,081 Hz.
3. Peta kerentanan pada jembatan Kretek I Kabupaten Bantul menunjukan persebaran frekuensi yang lebih tinggi di tengah bentang dan frekuensi yang lebih rendah pada daerah tumpuan jembatan. Dengan adanya frekuensi yang relatif tinggi yang terjadi pada tengah bentang jembatan, maka diperlukan *maintenance* yang lebih optimal.
4. Berdasarkan hasil analisis frekuensi rata-rata jembatan yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor sebesar 1,023 Hz dan frekuensi teoritis dari model SAP2000 sebesar 1,081 Hz, sehingga diperoleh kerusakan relatif sebesar 5,312%. Mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B, yang menyatakan bahwa kerusakan relatif antara 1% hingga 5% dikategorikan dalam keadaan utuh dan kondisi jembatan ini dapat dinilai dalam kategori baik namun mendekati kondisi cukup dengan jenis kerusakan (non struktural). Artinya, tetap dimungkinkan ada indikasi kerusakan yang kecil tetapi tidak memengaruhi elemen struktural utama jembatan. Meski demikian, kerusakan tersebut tidak bersifat kritis dan masih dalam batas aman untuk penggunaan dengan perawatan rutin.

6.2 Saran

Setelah menyelesaikan seluruh rangkaian proses penelitian ini, maka diperoleh beberapa hal yang dapat menjadi saran untuk penelitian yang akan dilakukan lebih lanjut, berikut saran – saran tersebut antara lain.

1. Saat melakukan pengujian mikrotremor di lapangan, sebaiknya pengujian dilakukan ketika lalu lintas dalam kondisi paling sepi. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan gangguan dari getaran eksternal yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas, sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan mencerminkan karakteristik alami struktur tanpa adanya interferensi tambahan.
2. Dalam pelaksanaan pengujian di lapangan, kesehatan dan keselamatan harus menjadi prioritas utama, terutama karena lokasi pengujian berada di area dengan lalu lintas yang melintas dengan kecepatan tinggi dan ruang kerja yang terbatas.
3. Untuk meningkatkan kualitas hasil analisis yang baik, pengukuran mikrotremor sebaiknya dilakukan dengan durasi perekaman yang lebih lama. Perekaman yang lebih panjang memungkinkan perolehan data yang lebih stabil dan representatif, sehingga dapat meminimalkan gangguan dari faktor eksternal, seperti lalu lintas atau aktivitas manusia di sekitar area pengukuran.
4. Untuk memastikan bahwa penelitian kelayakan jembatan memberikan hasil yang komprehensif dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004)

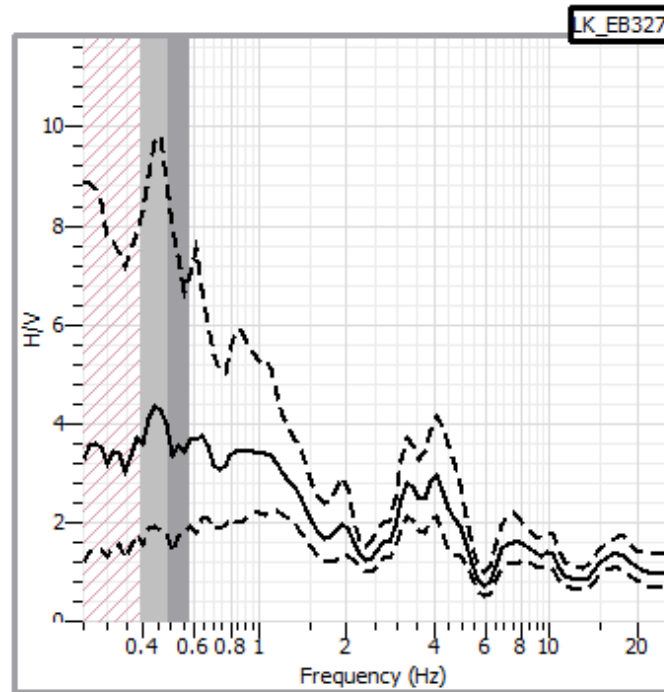
DAFTAR PUSTAKA

- Al Faqih, J. 2022, Analisis Struktur Atas Jembatan Tulung Menggunakan Metode *Rating Factor*. Tugas Akhir. DSpace UII. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- 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 Standardisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, RSNl-T-03-2005*. BSN: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 1725:2016*, BSN: Jakarta.
- Demulawa, M., Gede, D., Setiawan, E., Yunus, M., & Rifai, R. R. (n.d.). Analisis Frekuensi Resonansi Jembatan Bantar III Bantul Yogyakarta Terhadap Kejadian Gempabumi Yogyakarta Program Studi S1 Fisika Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo 4 Program Studi S1 Pendidikan Fisika STKIP Kie Raha Ternate. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, Desember, 2022(24), 727–734. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7686712>
- Dwi Syaputra, O., Farid, F., & Handayani, L. (n.d.). Identifikasi Kelayakan Jembatan Batanghari II Kota Jambi Menggunakan Mikrotremor Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr). <http://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI>
- Fat-helbary, R. E., El-faragawy, K. O., & Hamed, A. (2019). *US*.
- Gosar, A. (2010). Site effects and soil-structure resonance study in the Kobarid basin (NW Slovenia) using microtremors. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(4), 761–772. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-761-2010>
- Herak, M. (2011). Overview of recent ambient noise measurements in croatia in free-field and in buildings. *Geofizika*, 28(1), 21–40.

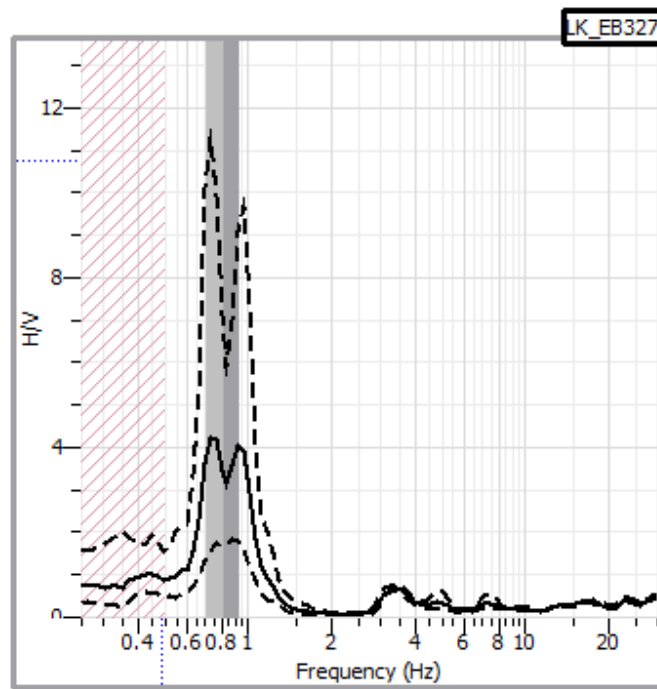
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. 2016. *Penentuan Bridge Load Rating untuk Jembatan Eksisting, No.03/SE/M/2016*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. 2021. *Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, No.02/M/BM/2021*. Jakarta.
- Kimpraswil, 2002, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor: Pt T-05-2002-B tentang Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas Dengan Cara Uji Getar*, Jakarta
- Manu, Agus Iqbal. (1995). *Dasar – Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. Penerbit PT. Mediatama Sapta Karya, Jakarta
- Maulana, A., & Kusumawardani, R. (n.d.). Uji Durabilitas Jembatan Kereta Api Dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor *Durability Test Of Railway Bridge By Using Microtremor Analysis*.
- 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. *Spectrum*, 2656.
- Partono, W., Irsyam, M., Prabandiyani, S., & Maarif, S. (2013). Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, 19(2), 125–134.
- 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.
- Sungkono, Warnana, D. D., Triwulan, & Utama, W. (2011). Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 11(05), 93–99.
- S. Ressler., 2001, *Learning Activity 1-5 of Brifge Design Tutor*, Engineering Ecounter's Bridge Design Contest.

LAMPIRAN

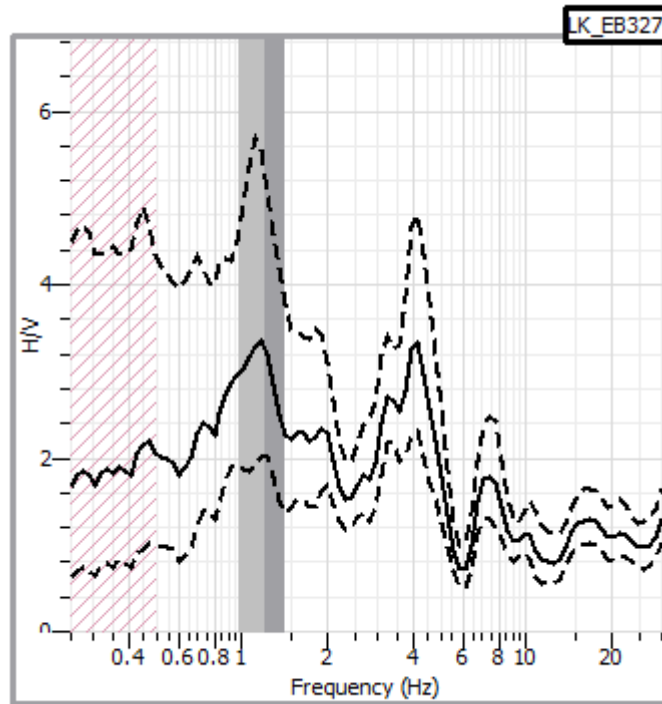
Lampiran 1 Gambar Kurva HVSR



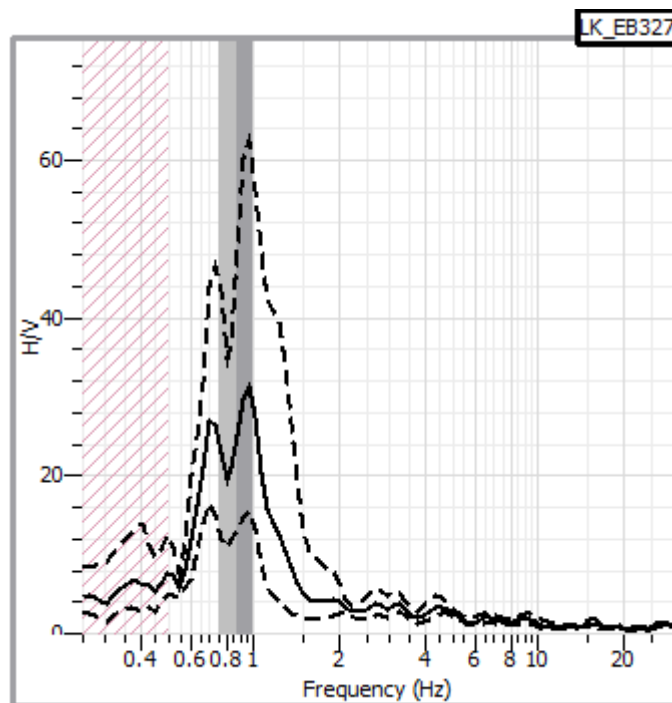
Gambar L-1.1 Kurva HVSR Titik 1



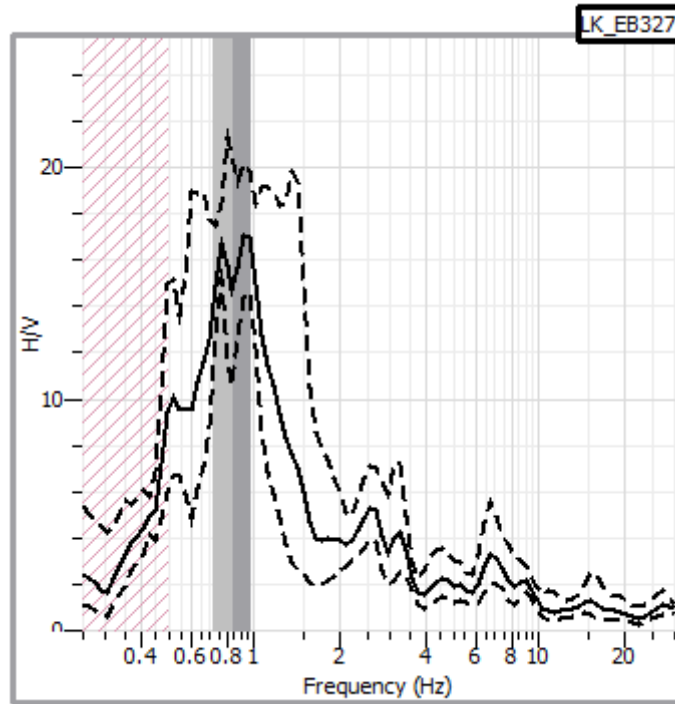
Gambar L-1.2 Kurva HVSR Titik 2



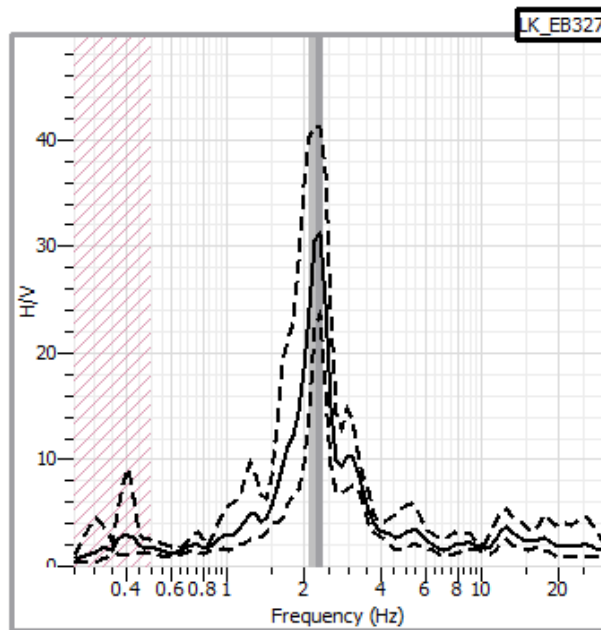
Gambar L-1.3 Kurva HVSr Titik 3



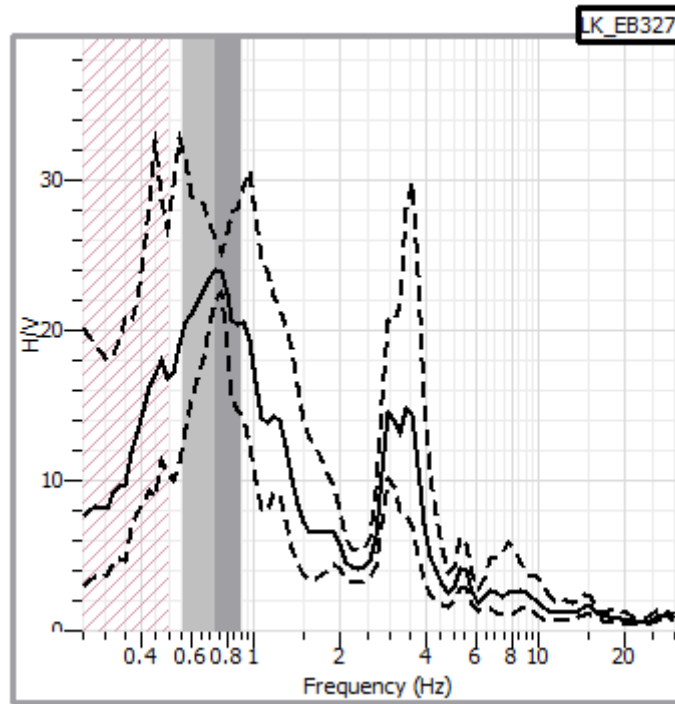
Gambar L-1.4 Kurva HVSr Titik 4



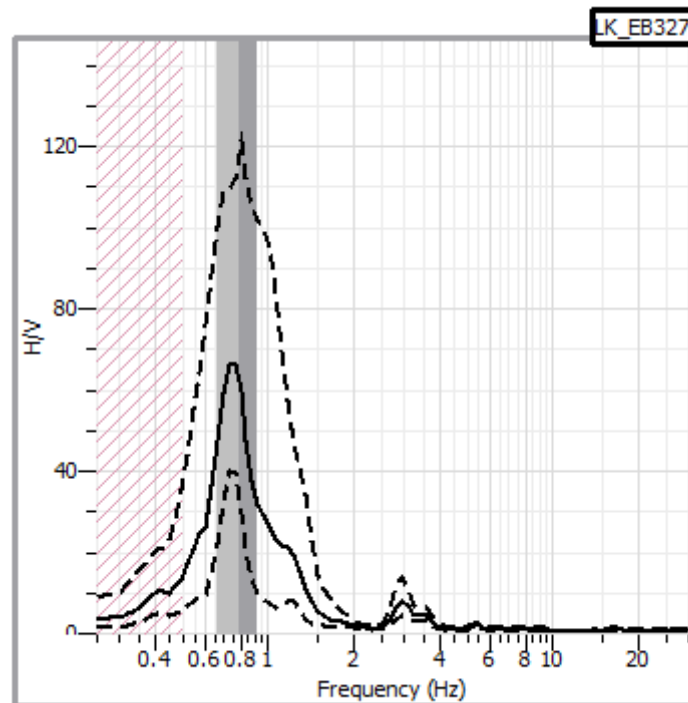
Gambar L-1.5 Kurva HVSr Titik 5



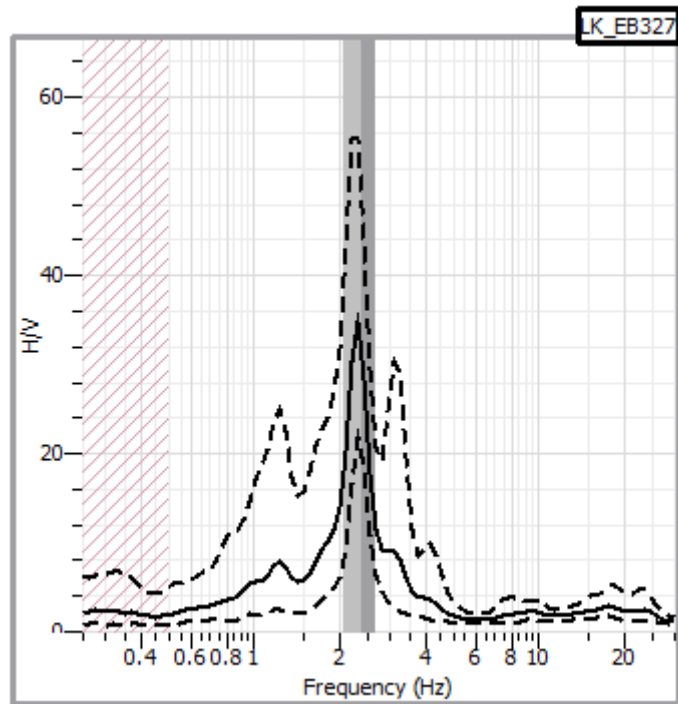
Gambar L-1.6 Kurva HVSr Titik 6



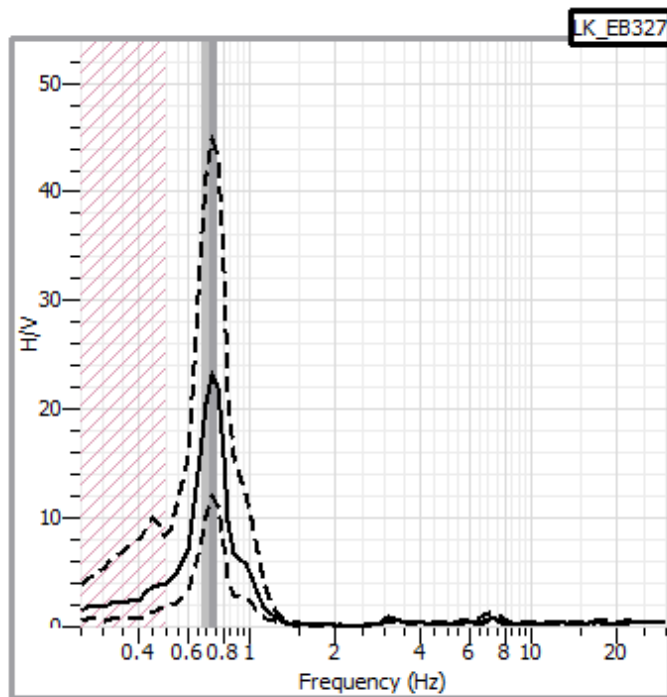
Gambar L-1.7 Kurva HVSr Titik 7



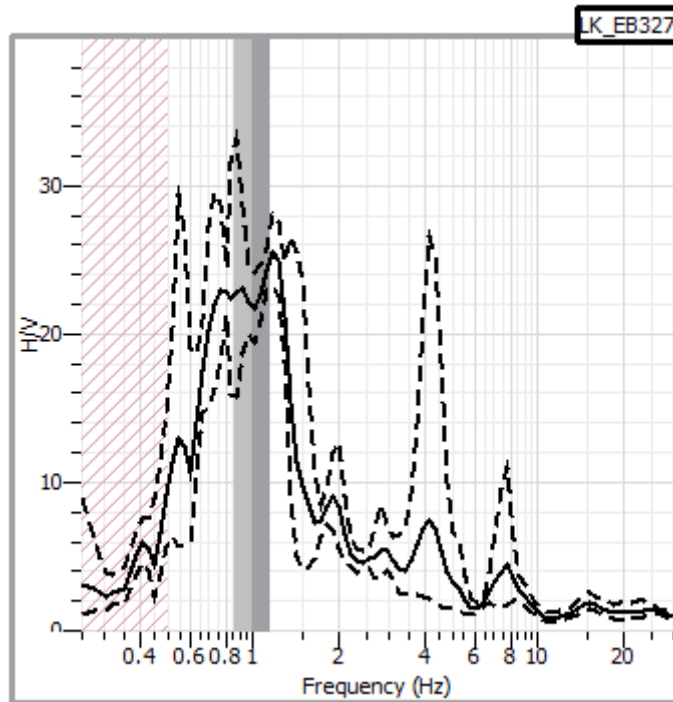
Gambar L-1.8 Kurva HVSr Titik 8



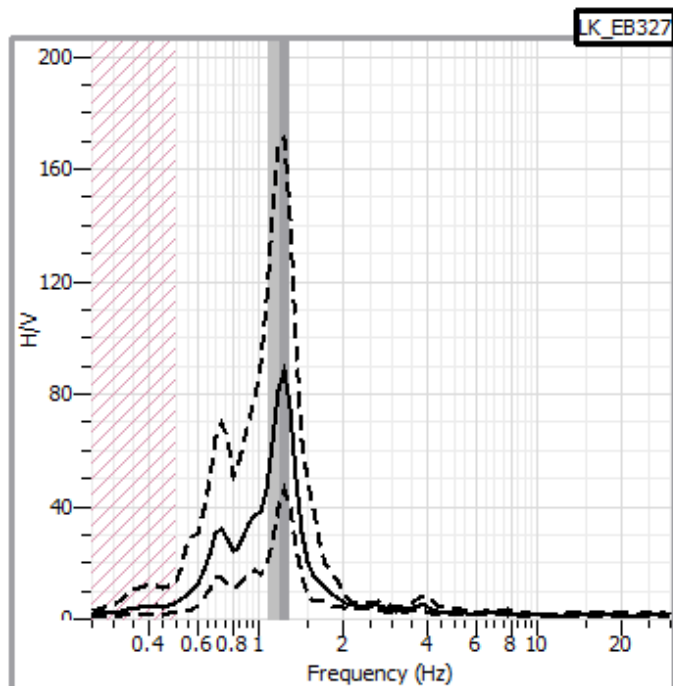
Gambar L-1.9 Kurva HVSr Titik 9



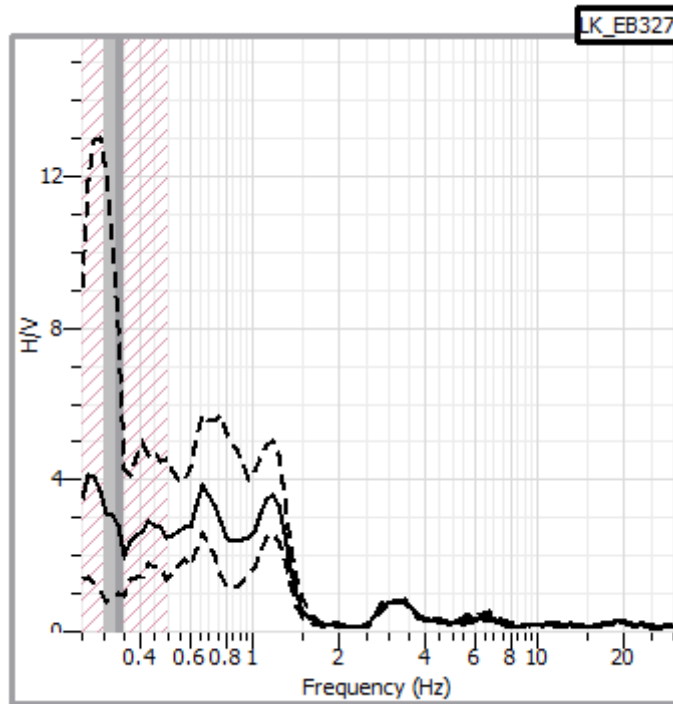
Gambar L-1.10 Kurva HVSr Titik 10



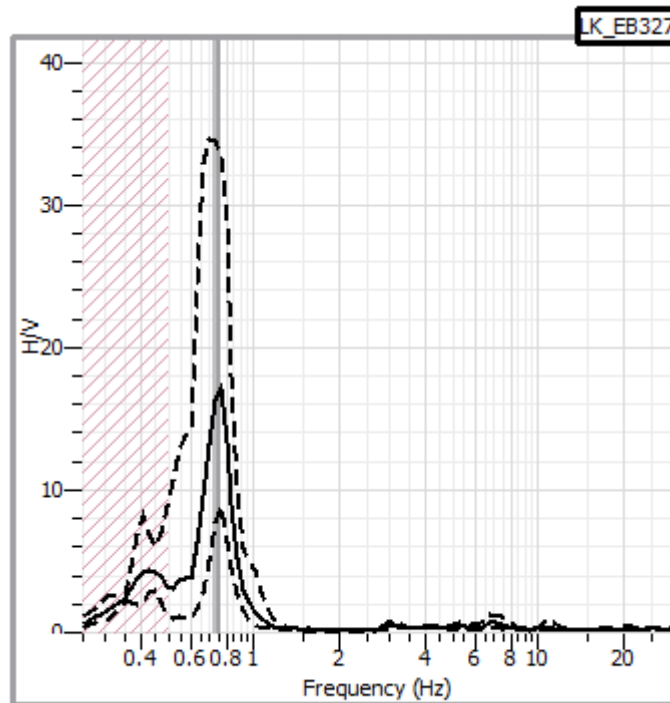
Gambar L-1.11 Kurva HVSR Titik 11



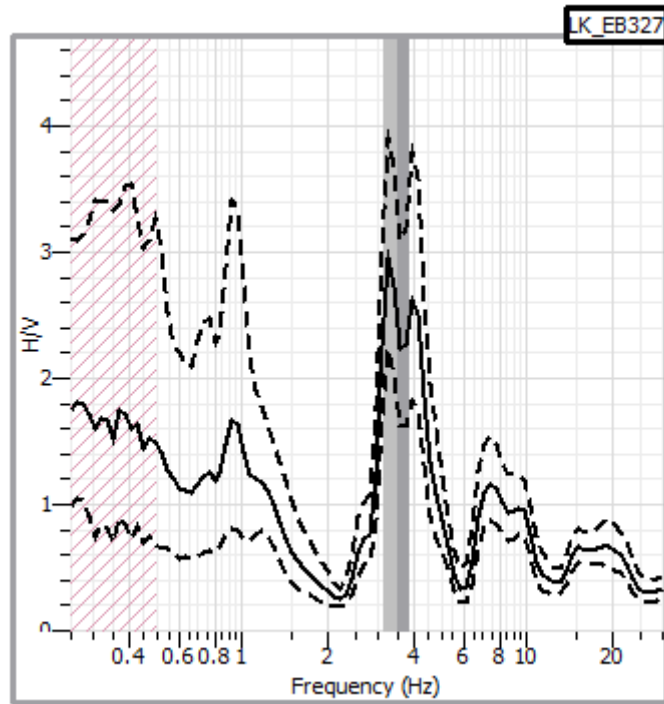
Gambar L-1.12 Kurva HVSR Titik 12



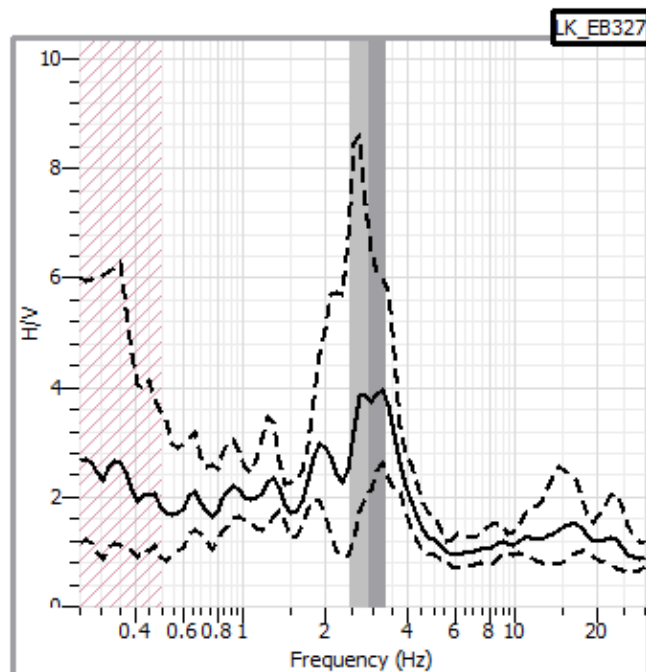
Gambar L-1.13 Kurva HVSr Titik 13



Gambar L-1.14 Kurva HVSr Titik 14

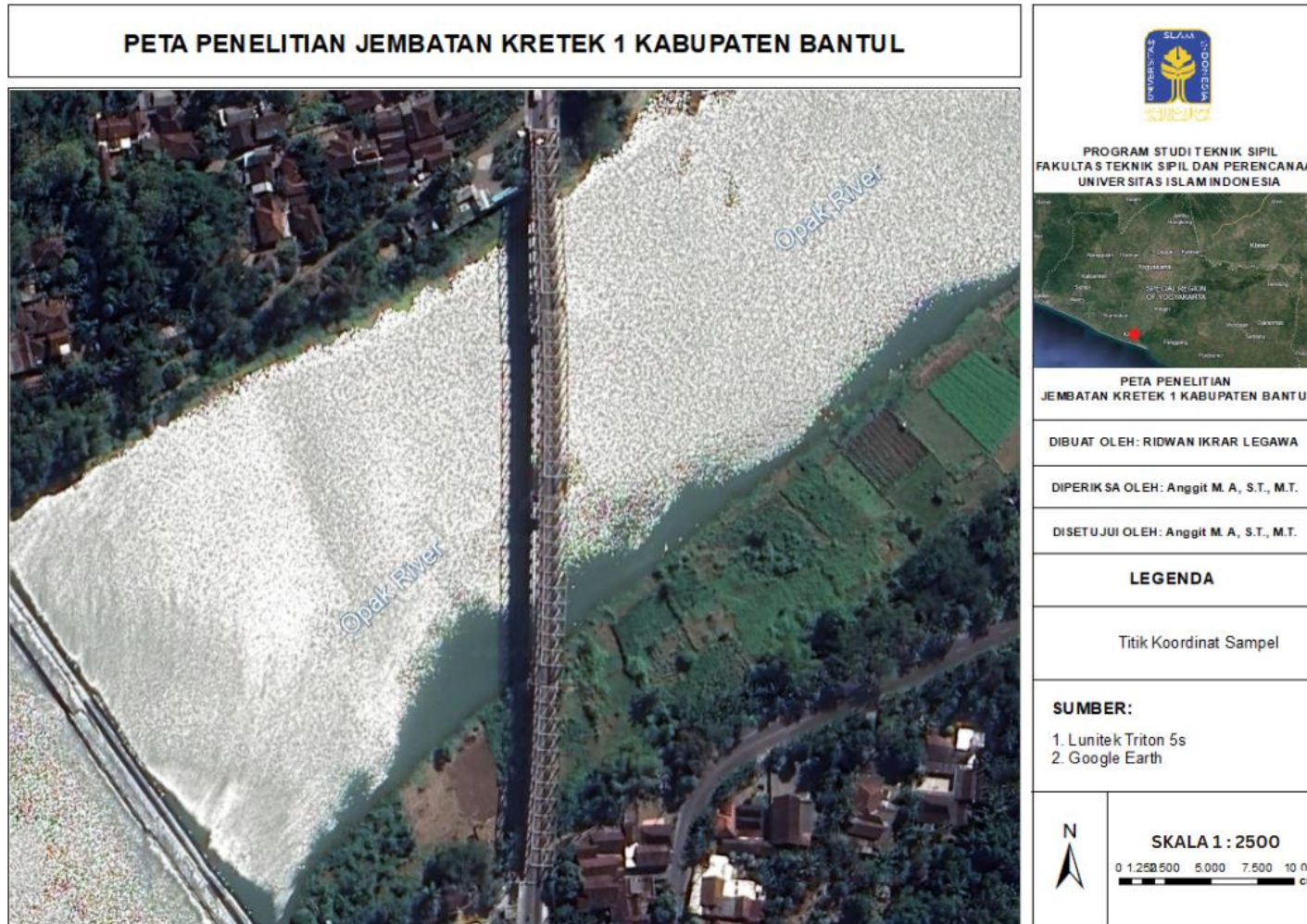


Gambar L-1.15 Kurva HVSr Titik 15

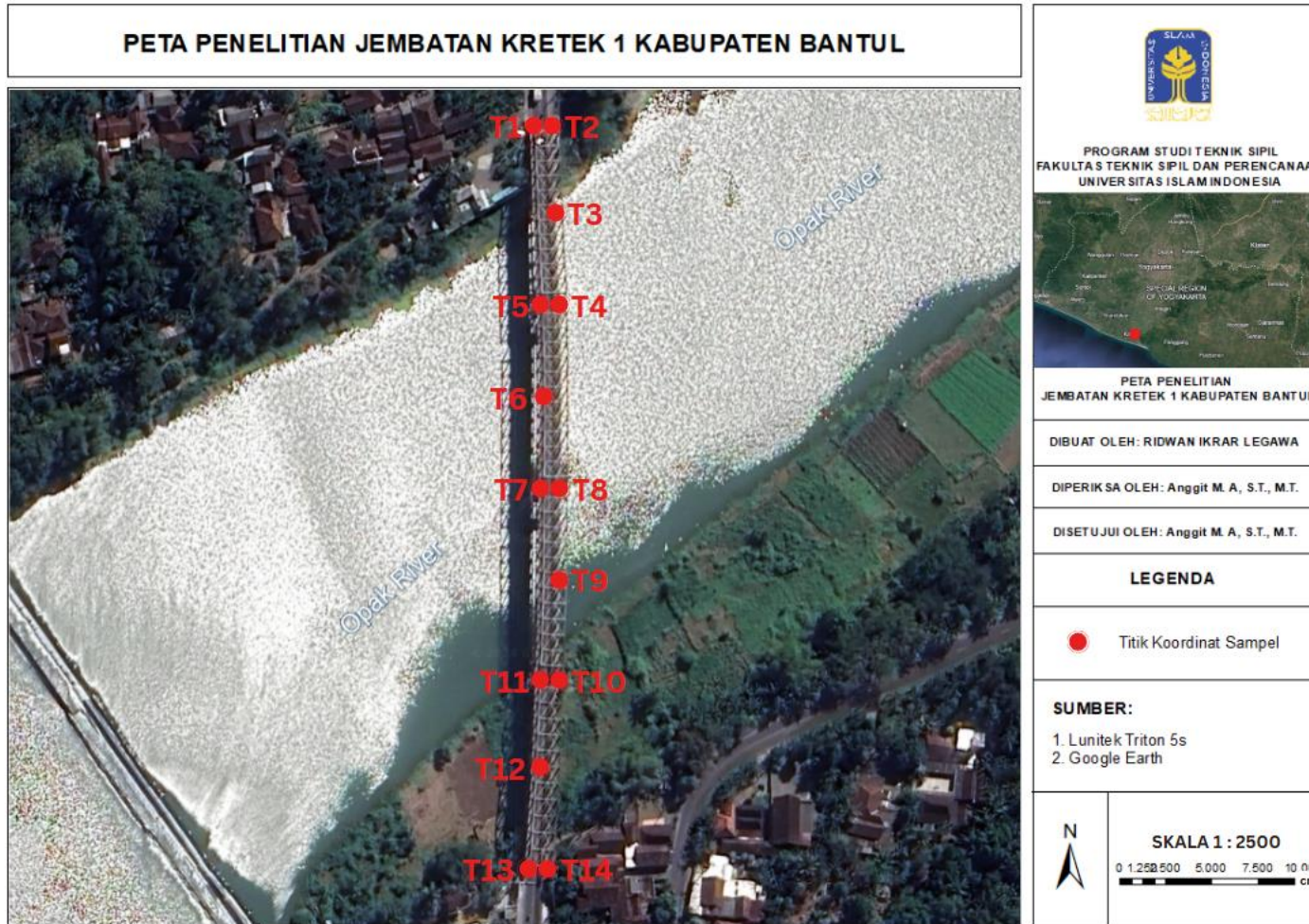


Gambar L-1.16 Kurva HVSr Titik 16

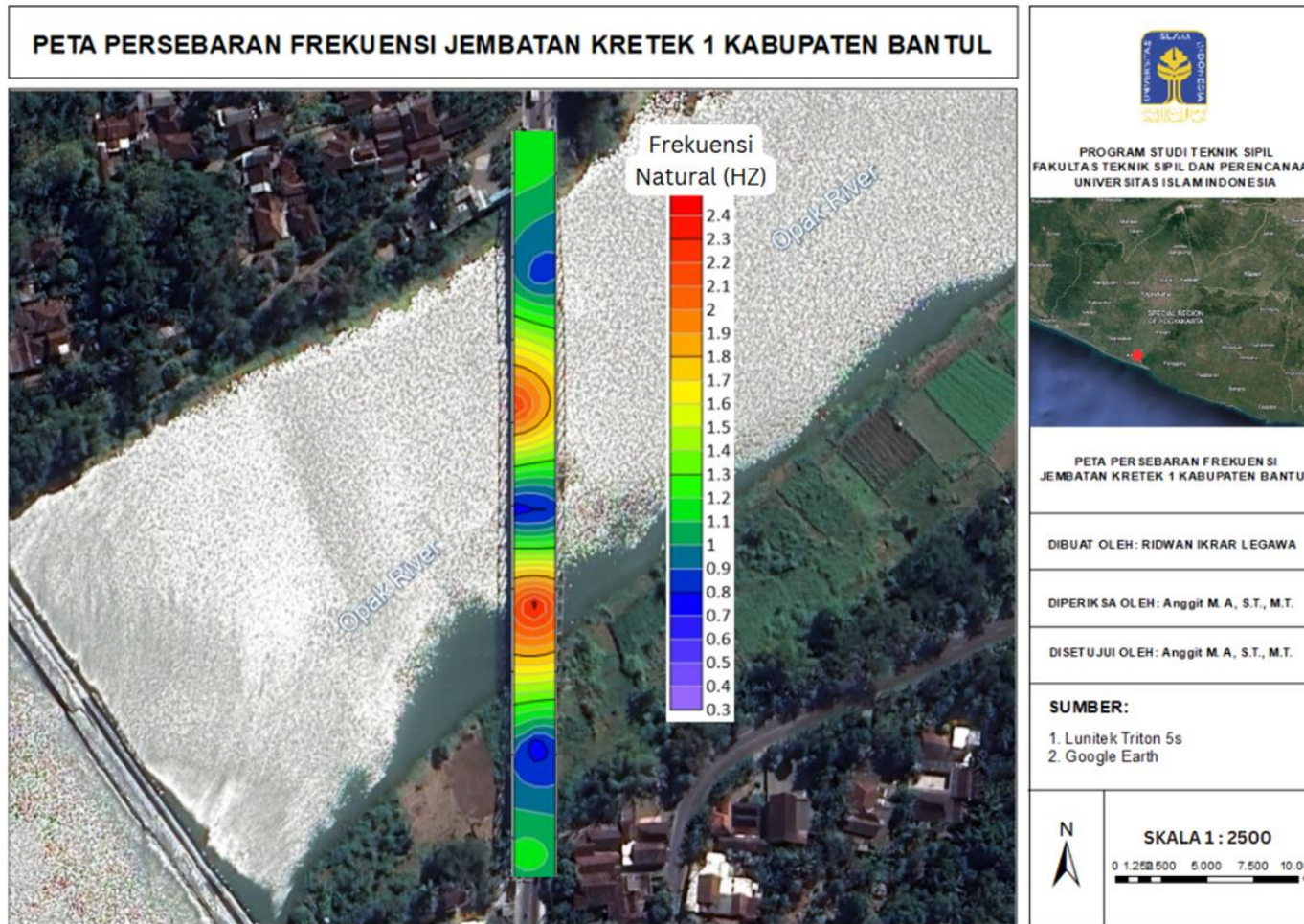
Lampiran 2 Gambar Lokasi Penelitian Jembatan Kretek I Kabupaten Bantul



Lampiran 3 Gambar Titik Penelitian Jembatan Krettek I Kabupaten Bantul



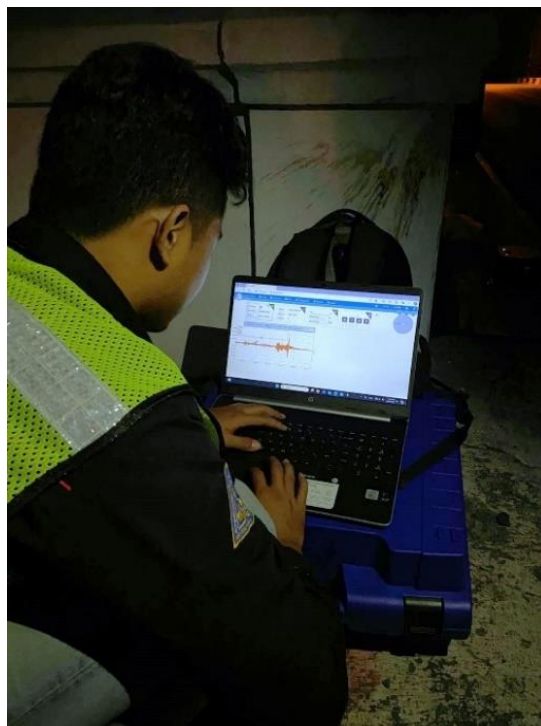
Lampiran 4 Gambar Peta Persebaran Frekuensi Jembatan Kretex I Kabupaten Bantul



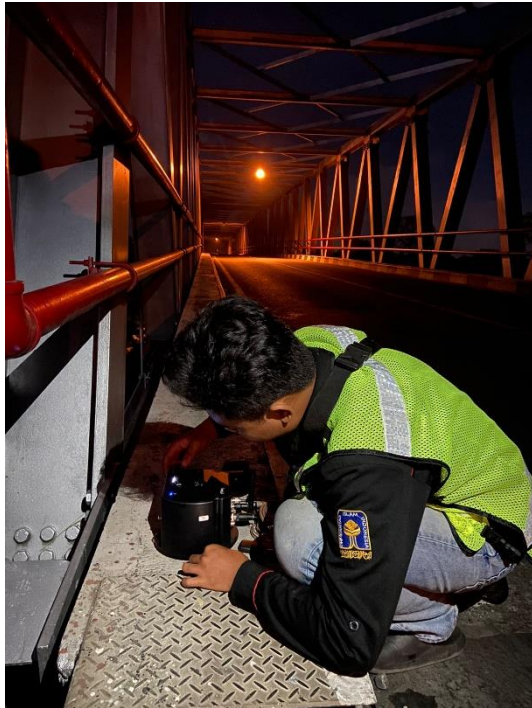
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



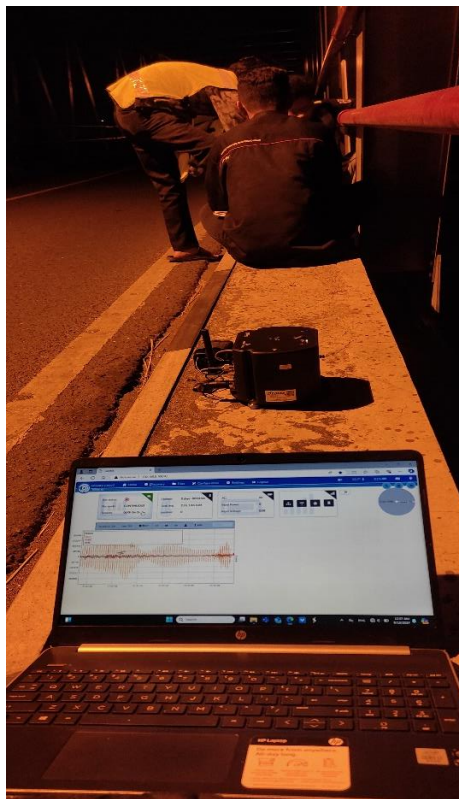
Gambar L-5.1 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-5.2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-5.3 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-5.4 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-5.5 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-5.7 Dokumentasi Penelitian

Lampiran 6 Surat Perizinan Penelitian di BBPJN Jawa Tengah – D.I Yogyakarta



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL

Nomor : 201/Sek. Prodi PSTS/20/TAM/III/2024
Hal : Permohonan Izin Penelitian untuk Tugas Akhir

Kepada Yth:
BBPJN Jawa Tengah - D.I. Yogyakarta
Jl. Soekarno-Hatta KM 26 Karangjati, Kec. Bergas, Semarang
Jawa Tengah 50552

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksipilan. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan izin penelitian di Jembatan Kretek 1, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Data dari hasil penelitian tersebut 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:

Nama	: Ridwan Ikrar Legawa
No. Mhs	: 20511230
CP Mahasiswa	: 085712874883
Judul Tugas Akhir	: Analisis Kelayakan Jembatan Kretek 1, Kabupaten Bantul Menggunakan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode <i>Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR)</i>

Demikian Permohonan ini kami sampaikan, atas bantuannya dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,



Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 20 Agustus 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



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

Gedung RI. Moh. Natsir 10.1 Sayap Timur
J. Kalibang Km 14.5 Yogyakarta
T. (0274) 818444 ext. 3225
F. (0274) 893330

Lampiran 7 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari BBPJN Jawa Tengah – D.I Yogyakarta



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA
BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL JAWA TENGAH - DIYOGYAKARTA
 Jalan Soekarno - Hatta Km. 26 Karangati Kab. Semarang, Kode Pos 50552, Telp. (0291) 6023333, Fax. (0291) 6023033, Email: bbpn_jatengdy@pu.go.id

SURAT KETERANGAN

Nomor: HM.05.06-Bb7.01/

Saya yang bertanda-tangan di bawah ini:

Nama : Fadil Arif Nadia, S.E., M.A.
 Alamat : Jalan Soekarno – Hatta Km.26 Karangati, Kabupaten Semarang
 Jabatan : Kepala Bagian Umum dan Tata Usaha

Dengan ini menerangkan bahwa:

Nama : Ridwan Ikrar Legawa
 NIM : 20511230
 Jurusan : S1 – Teknik Sipil
 Universitas : Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian di Jembatan Kretek I, Kabupaten Bantul, Yogyakarta untuk judul Tugas Akhir "Analisis Kelayakan Jembatan Kretek I, Kabupaten Bantul Menggunakan Pengukuran Mikrotremor dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr)" pada tanggal 12 September 2024 dan 18 September 2024.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, September 2024

Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional
 Jawa Tengah – DI Yogyakarta
 Kepala Bagian Umum dan Tata Usaha,



Fadil Arif Nadia, S.E., M.A.
 NIP. 19860508 200912 1 001

Lampiran 8 Surat Perizinan Penelitian di Desa Donotirto



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Tegadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurang km 14,3 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 204/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VIII/2024
Hal : Permohonan Izin Penelitian untuk Tugas Akhir

Kepada Yth:
Bapak/Ibu Kepala Desa Donotirto
Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Yogyakarta

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, setiap mahasiswa wajib melaksanakan penelitian Tugas Akhir yang berkaitan dengan ketekniksipilan. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir tersebut diperlukan data-data pendukung baik dari instansi Pemerintah BUMN maupun perusahaan swasta/Proyek.

Berdasarkan hal tersebut, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk dapat memberikan izin penelitian di Jembatan Kretek I, Donotirto, Kecamatan Kretek, Bantul, Yogyakarta. Data dari hasil penelitian tersebut 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:

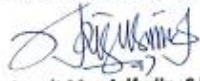
Nama : Ridwan Ikrar Legawa
NIM : 20511230
CP Mahasiswa : 085712874883
Judul Tugas Akhir : Analisis Kelayakan Jembatan Kretek I, Kabupaten Bantul Menggunakan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Demikian permohonan dan pernyataan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh.



Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,
Dinia Anggrahent, S.T., M. Eng

Yogyakarta, 20 Agustus 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

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

Lampiran 9 Surat Balasan Perizinan Penelitian dari Desa Donotirto



PEMERINTAH KABUPATEN BANTUL
KAPANEWON KRETEK
KALURAHAN DONOTIRTO

ꦏꦭꦸꦫꦲꦲꦺꦤ꧀ꦠꦺꦫꦺꦠ

Jl. Parangtritis KM 22, Greges, Donotirto, Kretek, Bantul 55772 Telp. (0274)368552
Website: <http://www.desadonotirto.bantulkab.go.id> e-mail: desa.donotirto@bantulkab.go.id

SURAT KETERANGAN IZIN PENELITIAN

Nomor: 228/PEM-PENELITIAN/VIII/2024

Menindaklanjuti surat dari Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Nomor : 204/Sek.Prodi PSTS/20/TA/VIII/2024 tanggal 20 Agustus perihal Permohonan Izin Lokasi Penelitian, maka dengan ini Pemerintah Kalurahan Donotirto, Kapanewon Kretek, Kabupaten Bantul memberikan izin penelitian kepada :

Nama : Ridwan Ikrar Legawa
Prodi : Teknik Sipil-S1
NIM : 20511230
Universitas : Universitas Islam Indonesia

Untuk melaksanakan kegiatan Pengambilan Data Penulisan Proyek Tugas Akhir dengan Judul "Analisis Kelayakan Jembatan Kretek I, Kabupaten Bantul menggunakan Pengukuran Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)" selama kurun waktu bulan September 2024.

Demikian surat ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatiannya diucapkan terimakasih.



Tembusan :

1. Panewu Kretek
2. Dukuh Gadingharjo