

Analisis Pengaruh Perilaku Spring Tanah Pada Retakan Lantai Jembatan

Taufiq Rinaldi¹ ✉, Ridwan², Suroso³

Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.26623/teknika.v20i2.12424>

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit : 2025-07-22

Direvisi : 2025-10-27

Disetujui : 2025-11-05

Keywords:

Bridge; floor cracks; spring behavior, moment

Abstrak

Jembatan merupakan struktur penting dalam infrastruktur yang berfungsi menghubungkan dua tempat terpisah, seperti yang terhalang oleh sungai atau lembah. Salah satu tipe konstruksi yang digunakan adalah Jembatan Rangka Baja dimana saat masa layan sering mengalami degradasi elemen, seperti korosi pada rangka dan retakan pada lantai jembatan, yang dapat disebabkan oleh usia struktur, perubahan regulasi pembebanan, dan kurangnya pemeliharaan. Penelitian ini menganalisis pengaruh gaya-gaya akibat perilaku spring/pegas tanah terhadap retakan pada lantai jembatan. Penelitian menggunakan pendekatan perhitungan manual dan aplikasi perangkat lunak Midas Civil, dengan mempertimbangkan parameter geometri, data tanah, dan bathymetri. Analisis konstanta pegas tanah, baik secara vertikal (p-z) maupun horizontal (p-y dan p-x), dilakukan untuk memahami distribusi gaya dan momen pada struktur. Hasil penelitian pada kasus Jembatan Sambaliung menunjukkan bahwa pendekatan perilaku spring tanah memberikan hasil yang lebih realistis dibanding asumsi tumpuan jepit. Pada kasus Jembatan Sambaliung perilaku spring tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap retakan lantai jembatan dan penting untuk diperhitungkan dalam perencanaan dan evaluasi struktur jembatan lainnya.

Abstract

Bridges are important structures in infrastructure that function to connect two separate places, such as those blocked by rivers or valleys. One type of construction used is the Steel Truss Bridge which during its service life often experiences elemental degradation, such as corrosion on the frame and cracks on the bridge floor, which can be caused by the age of the structure, changes in loading regulations, and lack of maintenance. This study analyzes the effect of forces due to ground spring behavior on cracks in the bridge floor. The research used manual calculation approaches and software applications Midas Civil, taking into account geometry parameters, soil data, and bathymetry. Analysis of soil spring constants, both vertically (p-z) and horizontally (p-y and p-x), was conducted to understand the distribution of forces and moments on the structure. The results of the research in the case of Sambaliung Bridge show that the soil spring behavior approach provides more realistic results than the assumption of pinch support. In the case of Sambaliung Bridge, soil spring behavior has a significant influence on bridge floor cracks and is important to be taken into account in the planning and evaluation of other bridge structures.

PENDAHULUAN

Jembatan secara harfiah dapat diartikan sesuatu yang menghubungkan dua hal yang berbeda, sedangkan arti dalam infrastruktur adalah suatu struktur atau sarana yang digunakan untuk menghubungkan dua tempat yang terpisah oleh hambatan seperti sungai, lembah, atau jalan yang lebar. Jembatan biasanya dibuat dari bahan seperti beton, baja, kayu, atau material lain yang cukup kuat untuk menahan beban kendaraan, pejalan kaki, dan aktivitas lainnya seperti terlihat pada gambar 1, menurut Pedoman Pemeriksaan Jembatan No.01/P/BM/2022, yang diterbitkan Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, dalam level 2 jembatan terbagi menjadi 4 bagian yaitu Bangunan Atas, Bangunan Bawah, Lintasan Basah dan Bangunan Pelengkap.



a. Tampak Atas Jembatan



b. Tampak Samping Sisi Hulu Jembatan

Gambar 1. Tampak Atas dan Tampak Samping Jembatan

Secara umum, kondisi visual jembatan rangka baja yang telah lama digunakan, akan terjadi beberapa elemen jembatan yang mengalami degradasi terutama pada rangka baja dan lantai jembatan biasanya terindikasi banyak mengalami korosi/karat terlihat pada gambar 2 dan retakan (*crack*) terlihat pada gambar 3. Penyebab dari korosi dan retakan ini diantaranya akibat usia jembatan, perubahan regulasi pembebanan jembatan, suhu udara, kelembaban relatif, kurangnya perawatan dan faktor lainnya. Pada retakan lantai jembatan faktor dominan yang mempengaruhi adalah adanya perubahan regulasi pembebanan saat direncanakan dengan kondisi saat penelitian dan pergerakan yang tidak terakomodir akibat kurangnya pemeliharaan, baik distruktur atas maupun fondasi.

Fondasi adalah bagian dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada dibawahnya (Hardiyatmo, H.C, 2020), fungsi secara umum fondasi adalah menahan beban struktur diatasnya dan mendistribusikannya ke lapisan tanah atau batuan dibawahnya, dengan perhitungan yang detail dari beban yang bekerja dan data kondisi tanah didapat kemampuan tanah menjadi tumpuan fondasi sehingga tidak mengalami penurunan lebih besar dari penurunan izin yang telah ditentukan.



Gambar 2. Korosi Rangka Baja Jembatan



Gambar 3. Retakan Lantai Jembatan

Penelitian ini berisi tentang analisis pengaruh gaya-gaya yang terjadi pada fondasi akibat perilaku spring/pegas tanah pada tiang pancang terhadap retakan lantai Jembatan, dimana akibat perilaku tersebut dimungkinkan salah satu penyebab retakan yang tidak berpola pada lantai jembatan, seperti terlihat dalam gambar 3. Dalam Laporan Executive Summary Pengembangan Teknik Perbaikan Kerusakan Beton Pada Struktur Jembatan Tahun 2004 oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum, selain lebar dan kedalaman retak pola retakan pada beton, dapat diprediksi penyebab retakan.

Parameter-parameter yang diperlukan dalam analisis ini diantaranya data geometri, data tanah dan data bathymetri, disamping parameter pendukung lainnya, untuk mendapatkan parameter sebagai dasar perhitungan spring/pegas tanah diperlukan penyelidikan atau investigasi geoteknik guna mengetahui karakteristik tanah secara lengkap, yaitu nilai yang berhubungan dengan konstanta pegas yang akan digunakan dalam menganalisis. Konstanta spring/pegas tanah adalah rasio/perbandingan antara tekanan tanah pada titik tertentu dari permukaan kontak dengan defleksi yang dihasilkan. Konstanta pegas pada tanah terdiri dari dua arah, yaitu arah vertikal ($p-z$) dan arah horizontal ($p-y$). Yakin YA, dkk (2020), nilai konstanta pegas ini akan dibutuhkan oleh perencana bangunan struktur seperti jembatan untuk memperhitungkan berat dari struktur tersebut agar tidak mengalami penurunan yang mengakibatkan kegagalan konstruksi. Metode pegas atau spring ($p-y$) digunakan untuk menganalisis pengaruh respons lateral tiang pancang akibat gaya horizontal sedangkan metode ($p-z$) digunakan untuk menganalisis pengaruh respons gaya aksial tiang pancang akibat beban vertical.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ketidakseragaman kekakuan tanah dan variasi *modulus* reaksi tanah dapat menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata pada elemen lantai jembatan, yang berpotensi menimbulkan retakan (Selvadurai, 2006). Retakan pada lantai jembatan juga telah dikaitkan dengan kondisi pendukung yang tidak elastis, di mana karakteristik nonlinier dari spring tanah menyebabkan redistribusi momen dan tegangan yang tidak terprediksi (Zhang et al., 2018). Penelitian lebih lanjut oleh Chou dan Hao (2011) menyatakan bahwa kegagalan dalam memodelkan interaksi tanah-struktur secara akurat dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi respon dinamik struktur terhadap beban gempa dan beban siklik lainnya.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana kekakuan perilaku *spring*/pegas tanah pada tiang pancang terhadap gaya lateral (metode p-y dan p-x) dan gaya vertikal (metode p-z), dengan perhitungan manual dan menggunakan aplikasi serta bagaimana pengaruh gaya atau momen yang terjadi akibat perilaku *spring*/pegas tanah pada retakan lantai jembatan. Adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis konstanta kekakuan *spring*/pegas tanah (p-y, p-x dan p-z), dengan perhitungan manual dan memperoleh hasil gaya atau momen yang terjadi pada retakan lantai jembatan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta dapat dijadikan referensi untuk menganalisis perilaku *spring*/pegas tanah pada fondasi jembatan di masa akan datang.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Jembatan Sambaliung, Kecamatan Tanjung Redeb, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Jembatan Sambaliung merupakan jalur lalu lintas barang dan jasa masyarakat dari Kecamatan Tanjung Redep sebagai Ibukota Kabupaten Berau ke Kecamatan dipesisir atau sebaliknya. Jembatan melintas diatas Sungai Kelay dan difungsikan pada tahun 1988.



(Sumber : Google Earth)

Gambar 4. Lokasi Penelitian

Rancangan penelitian ini dibagi menjadi 4 (empat) tahap, dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Pengumpulan Data

- Data Primer :
 1. Penyelidikan tanah
 2. Survei Bathimetri
 3. Pengukuran geometri jembatan

- Data Sekunder : 1. Laporan hasil asesmen jembatan sebelumnya
2. Laporan pemeriksaan kondisi visual jembatan

b. Analisis Pembebanan

Analisa pembebanan mengacu pada SNI 1725-2016, dengan menggunakan aplikasi Midas Civil, dimodelkan jembatan sesuai dengan kondisi lapangan, dari hasil permodelan akan didapat gaya-gaya yang bekerja pada fondasi atau pile cap, selanjutnya diintegrasikan pada perilaku spring/pegas tanah terhadap tiang pancang.

c. Analisis Kekakuan Tanah Spring/Pegas

- Perhitungan Manual

Untuk perhitungan manual analisis kekakuan tanah spring/pegas menggunakan persamaan J.Bowles (1997). Persamaan yang digunakan untuk menghitung konstanta pegas arah horizontal (k_h) dan vertikal (k_v) dengan metode manual.

Tabel 1. Nilai Modulus Elastisitas Tanah

<i>Soil</i>	SPT	CPT
<i>Sand (normally consolidated)</i>	500 ($N_{cor}+15$) (35000 to 50000) $\log N_{cor}$ (U.S.S.R Practice)	2 to 4 q_c ($1+D_r^2$) q_c
<i>Sand (saturated)</i>	250 ($N_{cor}+15$)	
<i>Sand (overconsolidated)</i>	-	6 to 30 q_c
<i>Gravelly sand and gravel</i>	1200 ($N_{cor}+6$)	
<i>Clayey sand</i>	320 ($N_{cor}+15$)	3 to 6 q_c
<i>Silty sand</i>	300 ($N_{cor}+6$)	1 to 2 q_c
<i>Soft clay</i>	-	3 to 8 q_c

Tabel 2. Angka Poison

<i>Type of Soil</i>	μ
<i>Clay, saturated</i>	0.4 - 0.5
<i>Clay, unsaturated</i>	0.1 - 0.3
<i>Sandy Clay</i>	0.2 - 0.3
<i>Silt</i>	0.2 - 0.35
<i>Sand, gravelly sand</i>	-0.1 - 1.00
<i>Commonly used</i>	0.3 - 0.4
<i>Rock</i>	0.1 - 0.4 (depends somewhat on type of rock)
<i>Loess</i>	0.1 - 0.3
<i>Ice</i>	0.36
<i>Concrete</i>	0.15
<i>Steel</i>	0.33

$$k_s = \frac{0.65}{B} \sqrt[12]{\frac{E_s B^4}{E_f l_f} \frac{E_s}{1-\mu^2}} \dots\dots\dots(1)$$

Menentukan soil stiffness pada arah horizontal, k_h

$$k_h = k_s \times K_f \times (\text{kedalaman}_i - \text{kedalaman}_{i-1}) \dots\dots\dots(2)$$

Sumber : *Foundation and Analysis Design Fifth Edition, Joseph E. Bowles (1997)*

- Menggunakan Aplikasi Midas Civil
Analisa momen lapangan menggunakan aplikasi Midas Civil, dengan cara sebagai berikut:
 - a. Memodelkan jembatan eksisting dari data teknis jembatan;
 - b. Membuat Boundary Conditions;
 - c. Membuat Surface Spring;
 - d. Menginput properties penampang;
 - e. Mendefinisikan node;
 - f. Membuat konfigurasi node;
 - g. Mentranslasikan (copy) node yang menunjukkan elemen fondasi tiang dengan jarak sebesar $\frac{1}{2}$ dari ketebalan pile cap (1m) ke arah bawah, ditranslasikan (copy) lagi, sesuai dengan ketinggian fondasi tiang saat free standing, ditranslasikan (copy) setiap kedalama (sesuai dengan data penyelidikan tanah) hingga mencapai tinggi total dari fondasi tiang tersebut;
 - h. Memasukkan elemen fondasi tiang jembatan;
 - i. Memasukkan elemen pile cap jembatan;
 - j. Memodelkan sambungan rigid antara elemen pile cap dan fondasi tiang;
 - k. Memodelkan tumpuan spring.

d. Analisis Momen Retak (Crack)

Momen retak adalah adalah momen lentur pada saat pertama kali terjadi retakan pada suatu elemen struktur beton, khususnya pada beton bertulang. Ini merupakan batas ijin karena menunjukkan bahwa tegangan tarik pada beton telah melampaui kekuatan tarik beton, seperti diketahui bahwa beton sangat lemah terhadap gaya tarik. Umumnya retak (crack) pada beton disebabkan beberapa hal diantaranya adalah kelebihan kapasitas (over capacity), yang berdampak pada peningkatan gaya-gaya, perhitungan momen retak masih berlaku teori elastisitas dimana momen retak (*crack*) terjadi pada kondisi penampang beton bertulang elastis mengalami retak, besarnya momen retak dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_{cr} = \frac{I_g \cdot f_r}{y_t} \dots\dots\dots(3)$$

Tegangan tarik beton :

$$f_r = 0,62 \cdot \sqrt{f'c} \text{ dalam satuan MPa} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- M_{cr} : Momen retak maksimum yang terjadi pada penampang luar termasuk akibat berat sendiri
- I_g : Inersia gross penampang beton bertulang
- f_r : *Modulus rupture*
- y_t : Jarak serat tarik terluar ke pusat berat penampang
: h/2 (untuk penampang segi empat)

e. Diagram Momen – Kurvatur

Proses penghitungan moment curvatur biasanya dilakukan pada elemen balok, dengan nilai tekan pada penampang nol. Pada kasus jembatan, penampang memiliki sifat pelat, sehingga moment curvatur perlu diperhitungkan dengan mempertimbangkan sifat tekan penampang. Konsekuensi dari penghitungan tekan ini adalah meningkatnya nilai-nilai M_{cr} dan M_n pada penampang, untuk persamaan yang digunakan adalah:

$$\theta = \frac{\epsilon}{y_t} \dots\dots\dots(5)$$

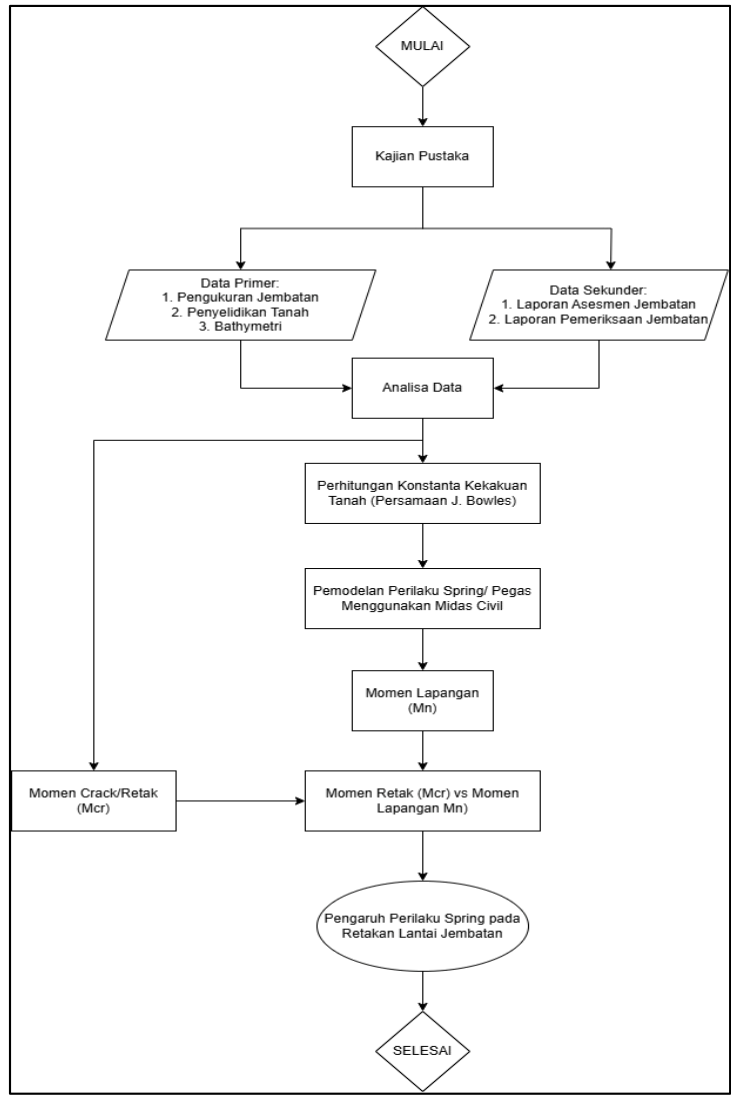
$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} \dots\dots\dots(6)$$

$$\sigma_c = 0,1 \times f'c \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- Kurvatur (θ) : kelengkungan elemen saat mengalami lentur (rad/m)
- Regangan (ϵ) : regangan tekan maksimum di serat atas beton
- Tegangan tarik beton (σ_c) : 0,1 f'u (MPa)
- Tegangan baja (σ_s) : fy = 240 Mpa, fu = 370 (Mpa)
- Modulus Elast.baja (Es) : 200.000 (Mpa)
- Modulus Elast.Beton (Ec) : 4700√f'c (MPa)
- Tinggi (Yt) : Jarak serat tarik ke garis netral (mm)

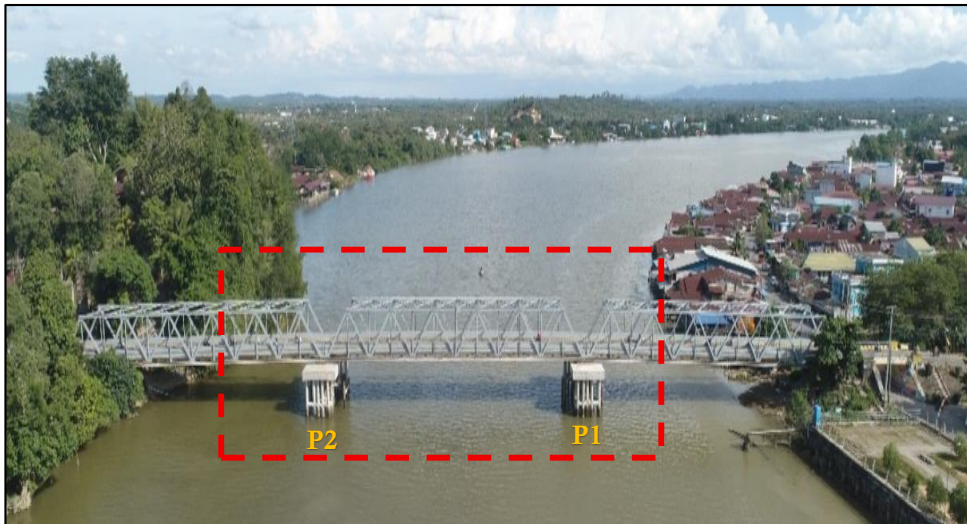
f. Bagan Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

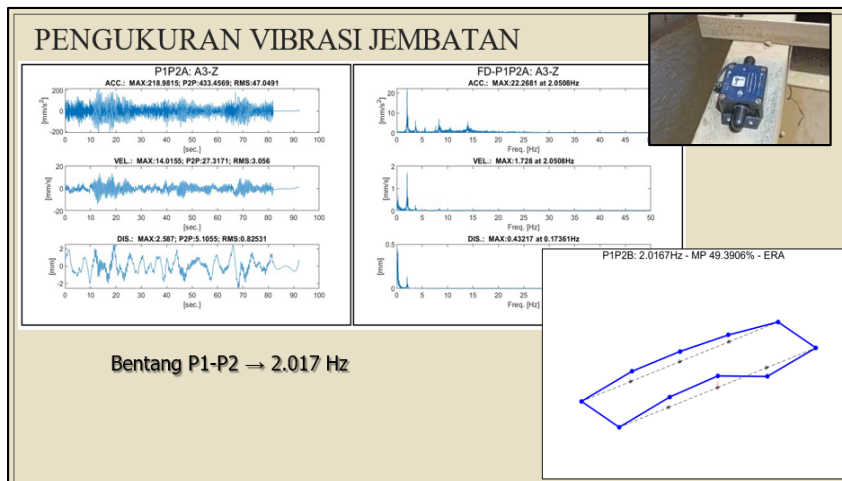
Objek penelitian ini antara Pilar 1 dan Pilar 2 (bentang 2) dengan fokus menganalisis sejauh mana pengaruh perilaku spring/pegas tanah pada fondasi Pilar 1 dan 2 terhadap terjadinya retakan pada sisi bawah lantai jembatan, berdasarkan pada data yang didapat, baik data sekunder maupun data primer, peneliti menganalisis parameter yang didapat sehingga pada akhirnya mendapat suatu kesimpulan.



Gambar 6. Tampak Memanjang Jembatan Sambaliung

a. Data Sekunder dan Data Primer

- Data Asesmen Jembatan Sambaliung



(Sumber : Laporan Asesmen Jembatan Sambaliung Tahun 2021)

Gambar 7. Hasil Pembacaan Frekuensi Alami Jembatan Bentang P1 – P2

- Data Pemeriksaan Kondisi Visual Jembatan

LAPORAN PEMERIKSAAN MENDETAIL JEMBATAN																			
No. Jembatan		P		3		4		0		0		2		0		4		7	
EVALUASI ELEMEN																			
LEVEL 3																			
Kode	Elemen	Nilai Kondisi																	
		S	R	K	F	P	NK												
3.110	Perkerasan Jalan Pendekat	0	0	0	0	0	0	0	0										
3.120	Tanah Timbunan	0	0	1	0	1	2												
3.130	Struktur Penahan Tanah Jalan Pendekat	0	0	0	0	0	0												
3.140	Pengaman Lahu - Lintas	0	0	0	0	0	0												
3.210	Akran Sungai	0	0	0	0	0	0												
3.220	Bangunan Pengaman	0	0	0	0	0	0												
3.310	Fondasi	0	0	0	0	0	0												
3.320	Kepala Jembatan/ Pilar	0	0	0	0	0	0												
3.410	Gelagar	0	0	0	0	0	0												
3.420	Jembatan Pelat	0	0	0	0	0	0												
3.430	Pelengkung	0	0	0	0	0	0												
3.440	Balok Pelengkung	0	0	0	0	0	0												
3.450	Rangka	0	1	0	0	1	2												
3.460	Jembatan-Berup-Kabel (Cable-stayed)	0	0	0	0	0	0												
3.470	Jembatan Ganang	0	0	0	0	0	0												
3.480	Pilon	0	0	0	0	0	0												
3.490	Gelagar Boks	0	0	0	0	0	0												
3.500	Sisten Lantai	1	1	1	0	1	4												
3.600	Sambungan Siar Muai	1	1	1	1	1	5												
3.610	Perletakan	1	1	1	1	1	5												
3.620	Pengaman Pengaman Jalan	0	0	0	0	0	0												
3.630	Perengkapan Aerodinamik Jembatan	0	0	0	0	0	0												
3.710	Perengkapan Umum	0	0	0	0	0	0												
3.720	Penerangan	0	0	0	0	0	0												
3.730	Uhlitas	0	0	0	0	0	0												
3.740	Pengaman Struktur dan Lingkungan	0	0	0	0	0	0												
3.750	SMKS (Sistem Monitoring Kesehatan Jembatan)	0	0	0	0	0	0												
3.760	Perengkapan Jembatan Gerak/ Movable Bridge	0	0	0	0	0	0												
3.770	Facilitas Pemeriksaan Tetap	0	0	0	0	0	0												
3.810	Tanah di dalam Struktur Gorong-gorong	0	0	0	0	0	0												
3.820	Gorong-gorong Persagi Boks	0	0	0	0	0	0												
3.830	Gorong-gorong Pipa	0	0	0	0	0	0												
3.840	Gorong-gorong Pelengkung Baja Gelombang	0	0	0	0	0	0												
3.850	Struktur Pendukung Gorong-gorong	0	0	0	0	0	0												
3.860	Perkuatan Gorong-gorong	0	0	0	0	0	0												
3.910	Lintasan dengan Perkerasan	0	0	0	0	0	0												
3.920	Lintasan Alam (Tanpa Perkerasan)	0	0	0	0	0	0												
3.930	Lintasan dengan Struktur Semi - Permatam	0	0	0	0	0	0												
LEVEL 2																			
Kode	Elemen	Nilai Kondisi																	
		S	R	K	F	P	NK												
2.100	Jalan Pendekat	0	0	0	0	0	0												
2.200	Akran Sungai	0	0	0	0	0	0												
2.300	Bangunan Bawah	0	0	0	0	0	0												
2.400	Bangunan Atas	1	1	1	0	1	4												
2.700	Perengkapan	0	0	0	0	0	0												
2.800	Gorong-gorong	0	0	0	0	0	0												
2.900	Struktur Lintasan Basah	0	0	0	0	0	0												
LEVEL 1																			
Kode	Elemen	Nilai Kondisi																	
		S	R	K	F	P	NK												
1.000	Jembatan	1	1	1	0	1	4												
<p>Catatan Kerusakan :</p> <ol style="list-style-type: none"> Lantai dengan NK 4 (kritis) Siar Muai dengan NK 5 (tidak berfungsi) Perletakan dengan NK 5 (tidak berfungsi) 																			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>JEMBATAN DENGAN NK 4 (Kondisi Kritis)</p> </div>																			

(Sumber : Laporan BMS Jembatan Sambaliung Tahun 2024)

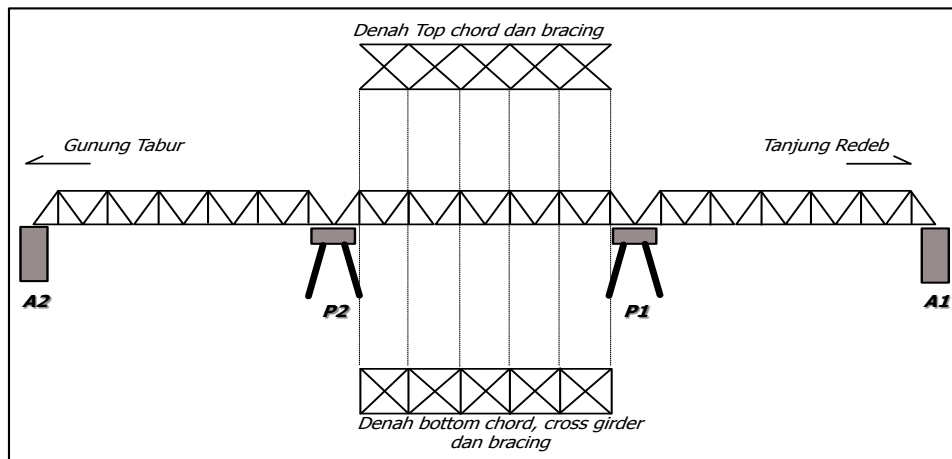
Gambar 8. Nilai Kondisi Jembatan

- Data Pengukuran Jembatan

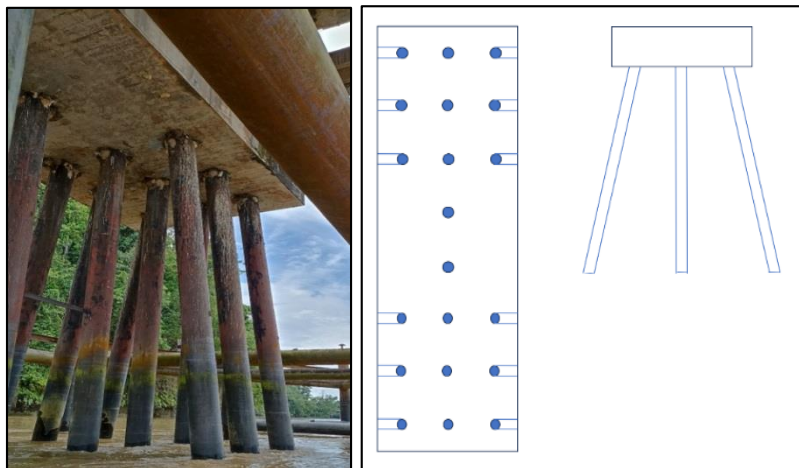
Data pengukuran jembatan berupa dimensi dan tipe struktur jembatan.

Tabel 3. Data Teknis Jembatan

NAMA JEMBATAN	: JEMBATAN SAMBALIUNG
Type Konstruksi	: Rangka Baja (Warren Truss)
Panjang Jembatan	: 3 x 60 m
Lebar Jembatan	
• Lebar Lalu Lintas	: 6,00 m
• Lebar Trotoar	: 2 x 0,50 m
Mutu Material	
• Beton	: K-275 (22,5 Mpa)
• Baja	: BJ.37 (fy=240 Mpa, fu=370 Mpa)
Fondasi	
• Type	: Tiang Pancang Baja
• Diameter	: ID = 360 mm, t = 10 mm
• Jumlah	: 20 titik
• Panjang	: 30,00 m
• Tinggi Freestanding	: 12,00 m



Gambar 9. Sketsa Jembatan



Gambar 10. Sketsa Denah Tiang Pancang Jembatan

- **Data Penyelidikan Tanah**

Data penyelidikan tanah berupa data bor dan laboratorium. Penyelidikan tanah dilaksanakan untuk mendapatkan nilai N-SPT pada Pilar 1 dan Pilar 2 Jembatan Sambaliung Tanjung Redep Kabupaten Berau Kalimantan Timur. Nilai N-SPT 60 pada Pilar 1 dan Pilar 2 berada di kedalaman 30 m. Untuk hasil perhitungan modulus elastisitas tanah berdasarkan data laboratorium pada masing-masing pilar adalah sebagai berikut:

- Pilar 1
 - $q_u = 0,7236 \text{ kg/cm}^2$
 - $E_{\min} = 17,740 \text{ MPa}$
 - $E_{\max} = 35,480 \text{ MPa}$
- Pilar 2
 - $q_u = 1,950 \text{ kg/cm}^2$
 - $E_{\min} = 47,808 \text{ MPa}$
 - $E_{\max} = 95,615 \text{ MPa}$

- **Data Bathymetri**

Tujuan adalah untuk mendapatkan elevasi dasar Sungai sebagai bahan perhitungan freestanding tiang pancang, pengambilan data dilakukan dibawah lintasan Jembatan Sambaliung dengan hasil kedalaman river bed dilokasi Pilar 1 adalah 10.00 dari bottom file cap dan Pilar 2 adalah 12,00 meter.

b. Perhitungan Konstanta Kekakuan Pegas dengan Persamaan J. Bowles (1997)

- **Pilar 1**

- Parameter
- Panjang Tiang (l) = 3000 cm
- Diameter (D) = 36 cm
- Modulus Elastisitas baja (E_p) = 200.000 Mpa
- Luas Penampang Tiang (A_p) = 10.995,574 cm²
- Freestanding = 1100 cm
- Angka Poison (μ) = 0,55

Tabel 4. Konstanta Kekakuan Spring Pilar 1

Kedalaman (mm)	Jenis Tanah	N_{SP}	E_s (kPa)	E_s (MPa)	μ	k_s (N/mm ³)	$k_h = k_x$ (N/mm)	$k_h = k_y$ (N/mm)	$k_v = k_z$ (N/mm)
0			Zona Free Standing						
2000									
4000									
6000									
8000									
9000	Pasir kasar	0							
11000	Pasir kasar	14	7250	7,25	0,55	0,0117462	51662,354	51662,354	51662,354
13000	Pasir kasar	21	9000	9,00	0,55	0,0148466	65298,630	65298,630	65298,630
15000	Pasir kasar	40	13750	13,75	0,55	0,0234977	103348,127	103348,127	103348,127
17000	Pasir kasar padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
19000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
21000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
23000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
25000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
27000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
29000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	144619,236	144619,236	144619,236
30000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0328812	72309,618	72309,618	72309,618

- **Pilar 2**

- Parameter
- Panjang Tiang (l) = 3000 cm
- Diameter (D) = 36 cm
- Modulus Elastisitas baja (E_p) = 200.000 Mpa
- Luas Penampang Tiang (A_p) = 10.995,574 cm²
- Freestanding = 1300 cm
- Angka Poison (μ) = 0,55

Tabel 5. Konstanta Kekakuan Spring Pilar 2

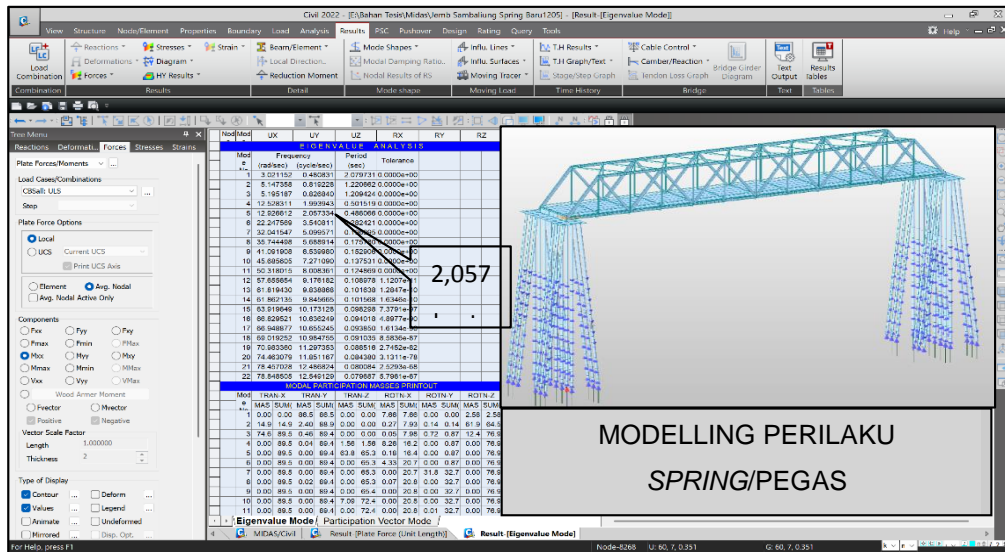
Kedalaman (mm)	Jenis Tanah	N_{SP}	E_s (kPa)	E_s (MPa)	μ	k_s (N/mm ³)	$k_h = k_x$ (N/mm)	$k_h = k_y$ (N/mm)	$k_h = k_z$ (N/mm)
0			Zona Free Standing						
2000									
4000									
6000									
8000									
9000									
11000	Pasir kasar	0							
13000	Pasir kasar padat	46	15250	15,25	0,55	0,0263	115.615,754	115.615,754	115.615,754
15000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
17000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
19000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
21000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
23000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
25000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
27000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
29000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	144.619,236	144.619,236	144.619,236
30000	Pasir halus padat	60	18750	18,75	0,55	0,0329	72.309,618	72.309,618	72.309,618

c. Analisa Modelling

- Frekuensi Natural Modelling

Tabel 3. Matriks Frekuensi Natural

Uraian	Uji Lapangan	Hasil Pemodelan Perilaku Spring/ Pegas
Hasil (Herzt)	2,017	2,057
Deviasi (Herzt)		0,040
Prosentase (%)		1,983

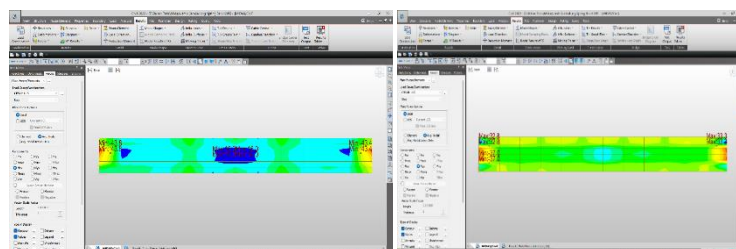


Gambar 11. Frekuensi Natural Hasil Pemodelan Perilaku Spring/Pegas

- Momen Lapangan Terhadap Sumbu x-x dan Sumbu y-y

Tabel 4. Hasil Pemodelan Momen Lapangan

Uraian	Hasil Pemodelan Perilaku Spring/ Pegas (kNm)
Arah Sb X-X	
Momen +	16,0
Momen -	43,8
Arah Sb Y-Y	
Momen +	33,3
Momen -	37,0



Gambar 12. Momen Sumbu x-x dan Sumbu y-y Perilaku Spring/Pegas

d. Analisa Momen

Analisa gaya dalam (momen) dilakukan dengan cara perhitungan manual dengan menggunakan persamaan dalam peraturan ACI.381

Tabel 5. Hasil Analisa Gaya Dalam (Momen)

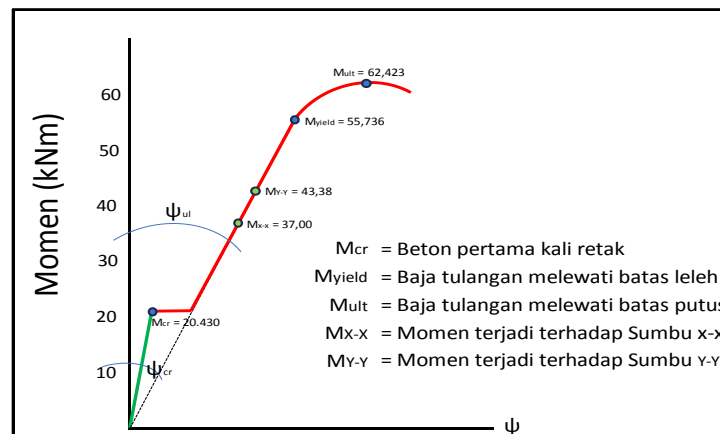
Uraian	Hasil Perhitungan (kNm)	Keterangan
Momen Retak (M _{crx})	21,03	Momen thd Sb X-X
Momen Retak (M _{cry})	20,43	Momen thd Sb Y-Y
Momen Leleh (M _{yield})	55,74	Momen thd tulangan leleh
Momen Batas (M _{ult})	62,42	Momen thd tulangan batas

e. Diagram Momen – Kurvatur

Hasil dari diagram momen-kurvatur adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Diagram-Momen Kurvatur

Uraian	Hasil (rad/m)
Beton pertama kali Retak (ψ_{cr})	$1,009 \times 10^{-3}$
Baja Tulangan Ultimit (ψ_u)	$1,288 \times 10^{-2}$



Gambar 13. Diagram Momen-Kurvatur

SIMPULAN

Dari hasil penelitian pada kasus Jembatan Sambaliung dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Salah satu penyebab terjadinya retakan pada lantai Jembatan Sambaliung, disebabkan oleh adanya perilaku spring/pegas tanah pada tiang pancang, karena dari hasil tersebut memperlihatkan bahwa momen lapangan lebih besar dari gaya dalam beton (momen retak) baik terhadap sumbu x (momen torsi) maupun sumbu y (momen lentur).
- Perlu disarankan bahwa setiap perencanaan fondasi struktur agar membuat pemodelan perilaku spring/pegas tanah sebagai pembanding.
- Pada lantai jembatan, perhitungan momen retak perlu dilakukan, agar dapat diantisipasi penangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2008). Control of Cracking in Concrete Structures, ACI Manual of Concrete Practice. ACI Committee 224, 224.2R-1-12.
- Angelita DWP, Agoes S.M.DJ, Bhondana BBK (2024), Analisis lebar retak dan pola retak pelat beton bertulang dengan variasi luas
- Armeyn (2012), Analisa dan kajian hubungan momen - kurvatur pada balok beton bertulang.
- Bowles J. (1997), Foundation and Analysis Design Fifth Edition.
- Chairul Huda¹, Eka Priadi², Ahmad Faisal³ (2020), Kajian daya dukung lateral tiang pancang menggunakan analisa numerik.
- Chouw, N., & Hao, H. (2011). Soil–foundation–structure interaction: State of the art, analysis and applications. London
- Fitriyah, D.K, Propika, J, Lestari, L.L, Istiono, H, Pertiwi, D and Sekartadji R (2019). Pile Foundation Analysis on High – Rise Building using Finite Element Spring Method on Sandy Clay Soil : Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
- Gupita Limar Respati¹, Dwi Sat Agus Yuwana², Evi Puspitasari³ (2022), Studi pengaruh variasi jarak tulangan terhadap kapasitas momen pada balok beton bertulang
- Hardiyatmo, H.C. (2001) Tanah akan berubah bentuk dari batuan induknya (pelapukan batuan) akibat proses fisik maupun kimia Tanah.
- Hardiyatmo, H.C. (2020) Analisa dan Perancangan Fondasi I, hal 103
- Huda, C., Priadi, E., & Faisal, A. (2020). Kajian daya dukung lateral tiang pancang menggunakan analisa numerik
- Laporan Akhir Penelitian Pengembangan Teknik Perbaikan Kerusakan Beton Pada Struktur Jembatan yang dilaksanakan Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum (2004)
- Kamil, I. (2019), Macro-Element Modeling For Single Pile And Pile Group : Université de Lille
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Pedoman Pemeriksaan Jembatan No.01/P/BM/2022.
- Rokhman, A. (2012). Pengaruh terjadinya first crack terhadap laju peningkatan momen negatif tumpuan balok beton
- Selvadurai, A. P. S. (2006). Elastic analysis of soil–foundation interaction. Amsterdam: Elsevier
- Yakin, Y., Pratiwi, D., Bilaldy, B. (2020), Analisis Konstanta Pegas pada Fondasi