

**ANALISIS NUMERIK PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP
RESPON LENTUR LANTAI KACA LAMINASI PADA JEMBATAN
KACA SERUNI POINT BROMO**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S-1



NENENG NURAENI

1242914018

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan
semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Neneng Nuraeni

NIM : 1242914018

Tanda Tangan :

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Neneng', with a horizontal line underneath.

Tanggal : 27 Februari 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Neneng Nuraeni

NIM : 1242914018

Program studi : Teknik Sipil

Fakultas : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Analisis Numerik Pengaruh Variasi Beban Terhadap Respon Lentur Lantai Kaca Laminasi pada Jembatan Kaca Seruni Point Bromo.

Telah berhasil menyelesaikan revisi proposal tugas akhir dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan dalam mengikuti sidang tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Prof. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. (



Pembimbing 2 : Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.Sc.



Pembahas 1 : Dr. Mohammad Ihsan, S.T., M.T., M.Sc.



Pembahas 2 : Muhammad Daffa Fachrur Reza, S.T., M.Sc.



Ditetapkan di Jakarta

Tanggal 27 Februari 2026

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“Analisis Numerik Pengaruh Variasi Beban Terhadap Respon Lentur Lantai Kaca Laminasi Pada Jembatan Kaca Seruni Point Bromo”*** dengan baik dan tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan bukan hanya sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Bakrie tetapi juga diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat luas serta dapat dijadikan sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan karena bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, masukan, serta dukungan yang sangat berarti selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Nuzulul Furqan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran, serta motivasi sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Orang tua yang selalu memberikan dukungan dan memberikan motivasi kepada penulis agar senantiasa tidak berputus asa dan selalu siap mendengar keluh kesah penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan semangat bantuan dan doa kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk kesempurnaan dalam penulisan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca dikemudian hari.

Jakarta 27 Februari 2026

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Neneng Nuraeni
NIM : 1242914018
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Sipil dan Ilmu Komputer

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Numerik Pengaruh Variasi Beban Terhadap Respon Lentur Lantai Kaca Laminasi Pada Jembatan Seruni Point Bromo

Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 27 Februari 2026

Yang menyatakan



(Neneng Nuraeni)

ANALISIS NUMERIK PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP RESPON LENTUR LANTAI KACA LAMINASI PADA JEMBATAN KACA SERUNI POINT BROMO

Neneng Nuraeni

ABSTRAK

Kebutuhan material bangunan yang kuat dan estetik mendorong pemanfaatan kaca laminasi sebagai elemen struktur, salah satu contoh penerapannya ialah pada lantai jembatan. Namun, Perilaku lentur terhadap variasi beban pengunjung belum sepenuhnya dipahami. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi beban terhadap respon lentur kaca laminasi menggunakan pendekatan numerik berbasis *Finate Element Method* (FEM), *Classical Plate Theory* dan formulasi deret Fourier dengan menggunakan *software Pycharm*. Hasil menunjukkan pemodelan numerik sangat akurat dengan galat $< 10\%$ yaitu $5,0\%$ pada lendutan dan $6,0\%$ pada tegangan. Variasi beban manusia baik layan, keramaian, maupun dinamis, menghasilkan respon yang masih sangat aman tanpa risiko resonansi. Ketebalan dan konfigurasi lapisan sangat berpengaruh, dimana desain eksisting 2 lapis (12 mm + 12 mm) dengan *interlayer* merupakan konfigurasi paling optimal karena mampu menurunkan tegangan hingga 80% , memiliki kekakuan lebih tinggi dibanding konfigurasi multilapis ekuivalen,, serta efisien secara struktur. Sebaliknya penipisan lapisan memicu kegagalan struktur. Hasil tersebut menegaskan bahwa spesifikasi eksisting layak dijadikan acuan dalam perancangan lantai kaca pada struktur sejenis, termasuk pada Jembatan Kaca Seruni Point Bromo.

Kata kunci: kaca laminasi, respon lentur, *Finate Element Method* (FEM)

FLEXURAL RESPONSE ANALYSIS OF LAMINATED GLASS FLOORS ON BROMO'S SERUNI POINT BRIDGE UNDER DIVERSE LOADING CONDITIONS

Neneng Nuraeni

ABSTRACT

The need for strong and aesthetic building materials has led to the use of laminated glass as a structural element, one example of which is in bridge floors. However, its flexible behavior in response to variations in visitor loads is not yet fully understood. This study aims to analyze the effect of load variations on the flexural response of laminated glass using a numerical approach based on the Finite Element Method (FEM), Classical Plate Theory, and Fourier series formulation using Pycharm software. The results show that numerical modelling is highly accurate with an error of $< 10\%$ namely 5,0% in deflection and 6,0% in stress. Human load variations, whether static, crowd, or dynamic, produce responses that are still very safe without the risk of resonance. The thickness and configuration of the layers are very influential, where the existing 2-layer design (12 mm + 12 mm) with an interlayer is the most optimal configuration because it can reduce stress by up to 80%, has stiffness that equivalent multilayer configurations, and is structurally efficient. Conversely, thinning the layers triggers structural failure. These results confirm that the existing specifications are suitable as a reference for designing glass floors in similar structures, including Bromo's Seruni Point Glass Bridge.

Keywords: laminated glass, flexural response, Finite Element Method (FEM)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR RUMUS	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kaca Sebagai Material Struktural.....	6
2.1.1 Pengertian dan Sifat Dasar Kaca	6
2.1.2 Jenis – Jenis Kaca Struktural.....	6
2.1.3 Sifat – Sifat Mekanik Kaca.....	8
2.1.4 Kelebihan dan Kekurangan Kaca Sebagai Material Struktural.....	10
2.2 Kaca Laminasi (<i>Laminated Glass</i>)	12

2.2.1	Pengertian dan Prinsip Kerja Kaca Laminasi	12
2.2.2	Jenis dan Fungsi <i>Interlayer</i>	12
2.2.3	Proses Pembuatan Kaca Laminasi	13
2.3	Perilaku Lentur pada Pelat Kaca Laminasi	15
2.3.1	Hukum Hooke dan Elastisitas	17
2.3.2	Persamaan Dasar Elastisitas Pelat Tipis	19
2.3.3	Respon Lentur Kaca Terhadap Beban Terpusat dan Merata	21
2.3.4	Kriteria Kegagalan (<i>Failure Criteria</i>) pada Kaca laminasi	21
2.4	Beban pada Lantai Kaca Laminasi	23
2.4.1	Jenis-Jenis Beban Pada Jembatan	23
2.4.2	Karakteristik Beban Pejalan Kaki pada Jembatan Kaca	23
2.4.3	Variasi Intensitas Beban dan Distribusi Beban pada Pelat Kaca	25
2.5	Metode Elemen Hingga (<i>Finate Element Method</i>)	26
2.6	Penelitian Terdahulu	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1.	<i>Flow Chart</i>	31
3.2.	Latar Belakang	32
3.3.	Data Awal	32
3.4.	Persamaan Transformasi Penampang Laminasi (<i>Transformed Section Method</i>)	33
3.4.1	Penentuan Titik Berat (<i>Centroid</i>) Tiap Lapisan	33
3.4.2	Faktor Transformasi Modulus	33
3.4.3	Luas Tertransformasi	34
3.4.4	<i>Neutral Axis</i> (Sumbu Netral) Pelat Laminasi	35
3.4.5	Momen Inersia Ekuivalen Tiap Lapisan	35
3.4.6	Total Momen Inersia Laminasi	36
3.4.7	<i>Bending Stiffness Pelat (D Plate Stiffness), Classical Kirchhoff Plate Theory</i>	

3.4.8	Massa per Area Pelat Laminasi	37
3.4.9	<i>Mode Shape Plate Simply Supported</i>	38
3.4.10	Frekuensi Sudut (<i>Natural Circular Frequency</i>)	38
3.4.11	Frekuensi Natural (Hz)	39
3.4.12	Periode Vibrasi	39
3.5.	Persamaan Getaran & Defleksi Pelat Karena <i>Point Load</i>	39
3.5.1	Deret Fourier Untuk Defleksi Pelat Akibat <i>Point Load</i>	40
3.5.2	Momen Lentur Pelat	40
3.5.3	Tegangan Lentur Maksimum Kaca.....	41
3.6.	Analisis Sensitivitas.....	42
3.6.1	Data Acuan Eksperimental	42
3.6.2	Konvergensi <i>Mesh</i> (Analisis Sensitivitas).....	42
3.6.3	Validasi Kuantitatif dan Spasial Defleksi (Lendutan)	43
3.6.4	Validasi Kuantitatif dan Spasial Tegangan Lentur.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		46
4.1	Skenario Studi Parametrik	46
4.2	Verifikasi dan Validasi Model.....	47
4.2.1	Evaluasi Lendutan terhadap Standar Internasional	47
4.2.2	Evaluasi Tegangan terhadap Batas Ultimit.....	48
4.2.3	Justifikasi Penggunaan Standar Internasional	48
4.3	Evaluasi Skenario Pembebanan Berdasarkan Standar Internasional.....	49
4.4	Analisis Distribusi Spasial Tegangan dan Defleksi pada Berbagai Skenario Pembebanan.....	51
4.5	Evaluasi Skenario Ketebalan dan Jumlah Lapisan Berdasarkan Standar Internasional	53
4.6	Visualisasi Spasial Komparatif Kinerja Struktural.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan.....	59

5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jembatan Kaca Gantung Bromo	2
Gambar 2. 1 Perbandingan Pola Pecah Kaca Annealed, Tempered, dan Laminated.....	8
Gambar 2. 2 Kurva Tegangan – Regangan.....	18
Gambar 3. 1 Grafik Sensitivitas Ukuran Elemen Terhadap Tegangan Lentur	43
Gambar 3. 2 Validasi Model Elemen Hingga terhadap Hasil Uji Laboratorium.....	44
Gambar 3. 3 Validasi Model Numerik Hubungan Tegangan dan Uji Terpusat	45
Gambar 4. 1 Evaluasi Lendutan dan Tegangan terhadap Standar Internasional	47
Gambar 4. 2 Perbandingan Respons Struktur Beban Terpusat dan Beban Merata	49
Gambar 4. 3 Perbandingan Respons Dinamis dan Tegangan Impak Struktur.....	49
Gambar 4. 4 Distribusi Kontur Defleksi dan Tegangan	52
Gambar 4. 5 Evaluasi Batas Layan Lendutan dan Kapasitas Tegangan Lentur	53
Gambar 4. 6 Distribusi Kontur Tegangan Lentur Utama	55
Gambar 4. 7 Distribusi Kontur Lendutan Vertikal	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kriteria Teknis Jembatan Kaca Bromo	32
Tabel 3. 2 Data Literatul Hasil Eksperimental	42
Tabel 3. 3 Hasil Studi Konvergensi Mesh terhadap Tegangan Lentur Maksimum	42
Tabel 4. 1 Matriks Ringkasan Skenario Studi Parametrik.....	46
Tabel 4. 2 Data Numerik Evaluasi Lendutan dan Tegangan Lentur.....	54
Tabel 4. 3 Tabel Perbandingan Kinerja Struktural dan Kesimpulan Teknis	57

DAFTAR RUMUS

(2.1) Persamaan Hukum Hooke	18
(2.2) Persamaan Diferensial Pelat Ortotropik.....	19
(2.3) Persamaan Modulus lentur (<i>Flexural Rigidity</i>) untuk Pelat tanpa Balok Anak.....	19
(2.4) Persamaan Modulus lentur (<i>Flexural Rigidity</i>) untuk Pelat dengan Balok Anak.....	20
(2.5) Persamaan Kekakuan Torsi.....	20
(2.6) Persamaan Kekakuan Rotasi Sumbu x.....	20
(2.7) Persamaan Momen Sumbu x	20
(2.8) Persamaan Kekakuan Rotasi Sumbu y	20
(2.9) Persamaan Momen Sumbu y	20
(2.10) Persamaan Matriks Kekakuan Global.....	26
(3.1) Persamaan Penentuan Titik Berat (<i>Centroid</i>) Tiap Lapisan.....	33
(3.2) Persamaan Faktor Transformasi Modulus	33
(3.3) Persamaan Luas Tertransformasi	34
(3.4) Persamaan <i>Neutral Axis</i> (Sumbu Netral) Pelat Laminasi	35
(3.5) Persamaan Momen Inersia Ekuivalen Tiap Lapisan.....	35
(3.6) Persamaan Total Momen Inersia Laminasi.....	36
(3.7) Persamaan <i>Bending Stiffness Pelat</i>	37
(3.8) Persamaan Massa per Area Pelat Laminasi	37
(3.9) Persamaan <i>Mode Shape Simply Supported</i>	38
(3.10) Persamaan Frekuensi Sudut (<i>Natural Circular Frequency</i>)	38
(3.11) Persamaan Frekuensi Natural.....	39
(3.12) Persamaan Periode Vibrasi	39
(3.13) Persamaan Getaran & Defleksi Pelat Akibat <i>Point Load</i>	40
(3.14) Persamaan Deret Fouries untuk Defleksi Akibat <i>Point Load</i>	41
(3.15) Persamaan Momen Lentur Maksimum Kaca.....	41