

**STUDI PERBANDINGAN PEMBEBANAN DINAMIS PADA JEMBATAN
BETON TERHADAP PEMODELAN FEA**

(Skripsi)



Afridho Firdaus

1615011041

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

STUDI PERBANDINGAN PEMBEBANAN DINAMIS PADA JEMBATAN BETON TERHADAP PEMODELAN FEA

Oleh

Afridho Firdaus

Frekuensi alami jembatan merupakan frekuensi untuk menentukan syarat kelayakan jembatan secara teoritis dan eksperimen. Nilai frekuensi alami digunakan untuk menentukan syarat kelayakan jembatan secara teoritis dan eksperimen.

Analisis perilaku jembatan dalam menahan beban dinamis dan membandingkan frekuensi alami teoritis dengan pengujian di lapangan pada jembatan beton prategang bentang 40 m menggunakan model line dan model shell pada aplikasi sap2000. Berdasarkan hasil pemodelan jembatan menggunakan SAP2000 didapatkan frekuensi alami pada model line sebesar f_0 3,9876 hz dan T 0,2507 detik, sedangkan pada pemodelan shell didapatkan f_0 16,045 hz dan T 0,6232 detik. Ketika diberi beban berjalan frekuensi jembatan di model shell sebesar f 15,577 hz dan T 0.0642 detik. Nilai frekuensi alami yang diperoleh dari model line sebesar 3,9876 hz dan frekuensi alami dari model shell sebesar 16,045 hz yang dimana pada model shell hasil frekuensi lebih mendekati dari hasil uji lapangan sebesar 16,67 hz dengan perbandingan 3,75%. dipakai model shell sebagai perbandingan pada model dilapangan.

Kata kunci : jembatan,frekuensi,pemodelan.

ABSTRAK

COMPARATIVE STUDY OF DYNAMIC LOADING ON CONCRETE BRIDGE TO FEA MODELING

Oleh

Afridho firdaus

The natural frequency of the bridge is the frequency to determine the theoretical and experimental feasibility requirements of the bridge. The natural frequency value is used to determine the theoretical and experimental feasibility requirements of the bridge.

Analysis of bridge behavior in resisting dynamic loads and comparing theoretical natural frequencies with field tests on prestressed concrete bridges with a span of 40 m using the line model and the shell model in the sap2000 application. Based on the results of bridge modeling using SAP 2000, the natural frequency on the model line is f_0 3.9876 hz and T 0.2507 seconds, while in shell modeling it is obtained f_0 16.045 hz and T 0.6232 seconds. When given a running load the frequency of the bridge in the shell model is f 15.577 hz and T 0.0642 seconds. The natural frequency value obtained from the model line is 3.9876 hz and the natural frequency from the shell model is 16.045 hz which in the shell model the frequency results are closer to the field test results of 16.67 hz with a ratio of 3.75%. The shell model is used as a comparison to the field model.

Key words : bridge,frequency,modeling.

**STUDI PERBANDINGAN PEMBEBANAN DINAMIS PADA JEMBATAN
BETON TERHADAP PEMODELAN FEA**

Oleh :

AFRIDHO FIRDAUS

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **STUDI PERBANDINGAN PEMBEBANAN DINAMIS PADA JEMBATAN BETON TERHADAP PEMODELAN FEA (*FINITE ELEMENT ANALYSIS*)**

Nama Mahasiswa : **Afridho Firdaus**


Nomor Pokok Mahasiswa : 16150111041

Program Studi : S1 Teknik Sipil

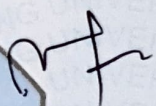
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Ir Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil
NIP 197203081998021004



Dr. Eng. Mohd. Isnaeni S.T., M.T.
NIP 197210262000031001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

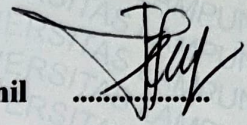


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

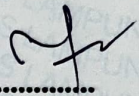
MENGESAHKAN

1. Tim Pengujji

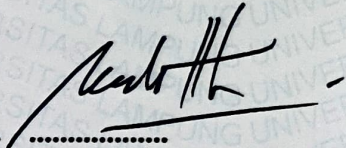
Ketua : Ir Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil



Sekretaris : Dr. Eng. Mohd. Isnaeni S.T., M.T.



**Pengujji
Bukan Pembimbing : Ir Masdar Helmi S.T., D.E.A. Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc }
NIP 19750928 2001 12 1 002**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juni 2023

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, adalah :

Nama : Afridho Firdaus

NPM : 1615011041

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul **“Studi Perbandingan Pembebanan Dinamis Pada Jembatan Beton Terhadap Pemodelan FEA (Finite Element Analysis)”** merupakan karya atau naskah skripsi yang saya rancang sendiri guna menyelesaikan studi di Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dimana isi didalamnya tidak ada unsur penjiplakan atau plagiat sepengetahuan dari penulis, kecuali beberapa kutipan atau tinjauan yang memang sudah diberikan kredit terhadap sumber pada penulisan naskah dan daftar pustaka.

Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu hak atas data penelitian berada ditangan saya dan Pembimbing I, Ir. Fikri Alami S.T., M.Sc., M.Phil.

Atas pernyataan ini, apabila ditemukan ketidakbenaran dikemudian hari, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi berdasarkan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 2023

Afridho Firdaus

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Afridho Firdaus, dilahirkan di Tangerang 31 Juli 1998. Merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari orang tua bernama Bapak Endang Jailani yang merupakan seorang petani dan Ibu Manisah seorang ibu rumah tangga.

Penulis memulai jenjang pendidikan di usia 6 tahun di MI Ibtidaiyah Lampung Selatan, pada 2004 – 2009. Pada tahun terakhir di jenjang SD/MI penulis pindah sekolah ke MI Ikhsaniyah Suak dikarenakan beberapa alasan. Kemudian melanjutkan pendidikan di MTS Al-Fatah Natar, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan pada 2010 – 2013.

Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan MA di Al-Fatah Natar Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan pada 2013-2016. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Universitas Lampung dengan Program Studi S1 Teknik Sipil, penulis diterima di Prodi S1 Teknik Sipil melalui jalur SBMPTN 2016 dimana Prodi tersebut merupakan pilihan kedua dari tiga pilihan Prodi yang direncanakan.

Pada tahun 2017 – 2018 penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung divisi Teknologi Informasi sebagai anggota. Selama masa kuliah di perguruan tinggi penulis telah menjalani kegiatan perkuliahan, Kuliah Kerja Nyata (KKN) dan Kerja praktik (KP).

Penulis melaksanakan kegiatan KKN di Desa Sidowaluyo, Kecamatan Sidomulyo, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung selama 40 hari yakni pada Periode 1 tahun 2021. Kemudian penulis juga melakukan kegiatan KP di Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Bersama Teknik Geofisika Universitas Lampung Selama 3 Bulan.

Dalam pengambilan tugas akhir untuk skripsi penulis membuat skripsi dengan judul “Studi Perbandingan Pembebanan Dinamis Pada Jembatan Beton Terhadap Pemodelan FEA (Finite Element Analysis)”

PERSEMBAHAN

Syukur alhamdulillah saya ucapkan karena berkat rahmat dan hidayah Allah SWT hingga akhirnya saya bisa menyelesaikan tugas akhir skripsi ini, dan juga shalawat beserta salam tak lupa saya haturkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW. Skripsi saya persembahkan kepada orang – orang di sekitar saya yang saya sayangi.

Karya tulis ini saya persembahkan kepada:

Kedua orang tua saya semoga kalian bangga dengan anak kalian ini, terimakasih atas segala ketulusan dan kasih sayang tulus yang telah kalian berikan.

Dosen – dosen Teknik Sipil yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta pengajaran selama saya berkuliah di Teknik Sipil.

Keluarga besar Teknik Sipil 2016 yang sudah menemani dan membantu kegiatan selama perkuliahan

Teman – teman serta sahabat yang telah menemani perjalanan hidupku serta menjadi tempat bercerita dan bersenda gurau.

MOTTO

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,
sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*

- QS. Al Insyirah:5-6 -

*“ Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan
kesanggupannya.”*

- QS. Al-Baqarah:286 -

“Perjalanan seribu batu bermula dari satu langkah.”

- Lao Tze -

“Takut dan Menyerah tidak ada dalam Kamusku.”

- Alucard -

*“There is only one way to avoid criticism: do nothing, say
nothing, and be nothing.”*

- Aristoteles -

*"Diam tak akan menyelesaikan masalah, tapi diam juga tak akan
menimbulkan masalah."*

- Patrick Star -

SANWACANA

Alhamdulillah *rabbi'l'amin*, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini guna memenuhi syarat untuk mencapai gelar studi Sarjana Teknik Di Universitas Lampung. Tidak lupa, sholawat beserta salam juga selalu senantiasa tercurah kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri teladan dan juga guru untuk seluruh umatnya.

Dalam proses pengerjaan skripsi ini, ada banyak pihak yang berperan dalam memberikan bantuan, doa, motivasi, serta saran yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini.

Maka dari itu penulis ingin berteimakasih kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya penulis mampu terus melangkah walaupun ditengah padang gurun masih tetap bisa menemukan mata air, karena apapun masalah yang menimpa selalu ada harapan tersisa. Skripsi ini pun sebagai bentuk ibadah dalam menuntut ilmu serta harapan untuk mendapat ridha -Mu Ya Allah.
2. Kedua orang tua penulis yakni Bapak Endang Jailani dan Ibu Manisah yang telah menanamkan pribadi yang baik kepada penulis selama masa hidupnya. yang telah memberikan kasih sayang dan contoh yang baik bagi penulis.

3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Bapak Ir. Fikri Alami S.T., M.Sc., M.Phil, selaku Pembimbing I atas ketersediaannya dalam memberikan arahan, masukan, bimbingan, serta bantuannya dalam hal penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isnaeni S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah memberikan masukan serta bimbingannya selama proses penyelesaian skripsi ini.
8. Bapak Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D, sebagai Penguji dan Pembimbing Akademik atas kesediaannya memberi arahan maupun saran juga arahan dalam proses studi penulis supaya skripsi ini lebih baik.
9. Kakak dan adik tersayang, Anggi Puspita Sari, Amalia Pratiwi dan Azzahra Firda Puspita terimakasih atas dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
10. Teman – teman keluarga besar Teknik Sipil angkatan 2016 dan adik -adik yang menjadi teman seperjuangan dan membuat kenangan selama kuliah di Teknik Sipil Universitas Lampung.

11. Kosmay dan segala penghuninya yang senantiasa menemani : Mayka, Fungsi, Kabul, Ipan, Sem, Adit, Sulthan, Rayhan, Arif, Karman, Fitra, Wawan, Feb, Eki, Bambang, Awal, Robby, Deni, Ibnu, Putu, Yudha, Vince.

Penulis menyadari adanya kekurangan atau ketidaksempurnaan dalam skripsi ini, namun diharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Bandar Lampung, 08 Juni 2023

Penulis,

Afridho Firdaus

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR TABEL	iii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah.....	2
D. Tujuan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Gambaran Umum	5
B. Penelitian Terdahulu	6
C. Jembatan.....	6
D. Pembebanan	8
E. Pemodelan FEA (<i>Finite Element Analysis</i>).....	12
III. METODE PENELITIAN	
A. Lokasi dan Objek Penelitian	17
B. <i>Software</i> Penunjang	18
C. Tahapan Penelitian	18
D. Diagram Alir Penelitian	19
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
A. Analisis Menggunakan SAP 2000.....	21
B. Pemodelan Jembatan	22
C. Data Jembatan	22
D. Pembebanan	23
E. Tahap Pembuatan Pemodelan	24
F. Perbandingan pada Data Uji Lapangan	42
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	45
B. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tampak Memanjang Jembatan	1
Gambar 2. Sketsa Gambar Jembatan	5
Gambar 3. Girder Tipe I.....	7
Gambar 4. Pelat Lantai Jembatan.....	7
Gambar 5. Abutmen Jembatan.....	8
Gambar 6. Pondasi	8
Gambar 7. Beban Lajur D	9
Gambar 8. Beban Truk.....	10
Gambar 9. Model Line	13
Gambar 10. Pemodelan Gelagar pada Model Line	14
Gambar 11. <i>Grid Line</i> pada Model Shell.....	15
Gambar 12. Tampilan Girder pada Model Shell.....	15
Gambar 13. Tampilan Diafragma pada model Shell.....	15
Gambar 14. Tampilan Pelat untuk Model Shell.....	16
Gambar 15. Jembatan Way Lempuyang	17
Gambar 16. Lokasi Penelitian.....	18
Gambar 17. Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 18. Tampilan Grid	26
Gambar 19. <i>Define Material</i>	27

Gambar 20. <i>Define Section Properties</i>	27
Gambar 21. <i>Draw Element Girder</i>	28
Gambar 22. <i>Mash Area Girder</i>	28
Gambar 23. <i>Replicate Area</i>	29
Gambar 24. <i>Tampilan 3D Girder</i>	29
Gambar 25. <i>Joint Restraints</i>	30
Gambar 26. <i>Draw Diafragma</i>	30
Gambar 27. <i>Mash Area</i>	31
Gambar 28. <i>Tampilan 3D Diafragma</i>	31
Gambar 29. <i>Draw Element Pelat</i>	32
Gambar 30. <i>Mash Area</i>	32
Gambar 31. <i>Replicate Area</i>	33
Gambar 32. <i>Tampilan 3D Pelat</i>	33
Gambar 33. <i>Load Patterns</i>	34
Gambar 34. <i>Load Cases</i>	34
Gambar 35. <i>Define lane</i>	35
Gambar 36. <i>Assign Lane</i>	35
Gambar 37. <i>Define Vehicle</i>	36
Gambar 38. <i>Define Vehicle Classes</i>	36
Gambar 39. <i>Area Uniform Loads</i>	37
Gambar 40. <i>Area Uniform Loads</i>	37
Gambar 41. <i>Joint Forces</i>	38
Gambar 42. <i>Display Joint Loads</i>	38

Gambar 43. <i>Display Uniform Loads</i>	39
Gambar 44. <i>Display Show Lane</i>	39
Gambar 45. <i>Load Combination</i>	40
Gambar 36. <i>Define Mass Source</i>	40
Gambar 37. <i>Load Cases to Run</i>	41
Gambar 38. <i>Model Shell</i>	41
Gambar 39. <i>Model Line</i>	42

DAFTAR TABEL

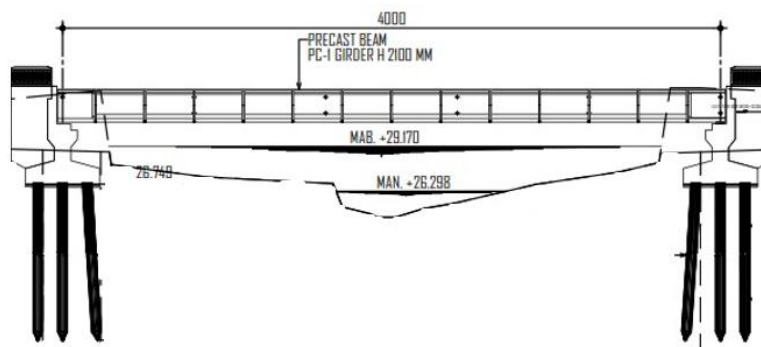
	Halaman
Tabel 1. Faktor Beban untuk Beban Lajur D menurut SNI 1725-2016	9
Tabel 2. Faktor Beban untuk Beban Truk T menurut SNI 1725-2016	10
Tabel 3. Kombinasi beban dan faktor beban	10
Tabel 4. Perbandingan Nilai Frekuensi dengan Model Shell	42
Tabel 5. Perbandingan Nilai Frekuensi dengan Model Line	43

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pentingnya jembatan tidak dapat disangkal dan perancangannya memerlukan pemahaman tentang keamanan dan utilitas yang meliputi konsep dasar. Untuk memastikan hal ini, diperlukan definisi yang jelas mengenai beban-beban yang bekerja pada jembatan sesuai dengan standar dan peraturan yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 1725:2016. Beban yang mempengaruhi jembatan mencakup beban kendaraan, beban gempa, serta beban yang disebabkan oleh material dan metode konstruksi jembatan. Sebelum jembatan dapat digunakan, pengujian beban kendaraan perlu dilakukan untuk memastikan bahwa jembatan tersebut dapat menahan beban dengan baik.

Oleh karena itu, untuk meyakinkan bahwa jembatan mempunyai daya layan dan tingkat keamanan sesuai dengan persyaratan, diperlukan adanya analisis dinamis selain statis. Karena pada struktur jembatan sederhana, girder utama pada jembatan yang memikul beban terbesar sehingga diperlukan kajian khusus dalam menahan beban statis dan dinamis pada girder atau balok utama.



Gambar 1. Tampak memanjang jembatan.

Terkadang rumus teori sederhana umum yang mengaitkan hubungan antara frekuensi dengan massa struktur dan kekakuan struktur tidak sepenuhnya sama dengan hasil pengujian lapangan dikarenakan pendekatan pada rumus teoritis yang masih umum atau sederhana. Oleh karena itu, kajian dengan pemodelan yang lebih detail dan mendekati dengan kondisi elemen di lapangan dengan FEA menjadi penting dalam mengklarifikasi hasil pengujian lapangan yang berbeda dibandingkan dengan rumus teoritis sederhana.

Penelitian ini diusulkan untuk mengkaji pemodelan girder utama suatu jembatan beton prategang yang didesain mampu menahan beban dinamis kendaraan dan membandingkannya dengan hasil pengujian lapangan. Perbedaan hasil dari frekuensi alami jembatan maupun frekuensi jembatan saat dibebani dari rumus teoritis yang ada dibandingkan dengan hasil pengujian lapangan akan diklarifikasi dengan pemodelan FEA secara lebih detail yang mendekati model struktur sesungguhnya baik dengan elemen shell maupun asolid sehingga perbedaan jauh dapat diminimalisasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pada jembatan akibat beban statis dan dinamis di lapangan dan perbandingan terhadap teori maupun FEA ?
2. Bagaimana pengaruh pada jembatan beton akibat beban statis dan dinamis terutama pada frekuensi jembatan menggunakan peraturan pembebanan jembatan SNI 1725:2016 ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis, yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis perilaku jembatan akibat beban statis dan dinamis kendaraan yang melintasnya.

2. Menguji seberapa jauh desain pada data lapangan dapat memenuhi standar keamanan dalam desain.

D. Batasan Masalah

Agar lebih terfokus pada permasalahan dalam penelitian ini maka penulis menetapkan batasan-batasan permasalahan, yaitu sebagai berikut:

1. Peraturan pembebanan jembatan yang dipakai SNI 1725:2016.
2. Jembatan yang dianalisis adalah jembatan beton dengan bentang lebih kecil dari 40 meter.
3. Analisis dinamis menggunakan *software* SAP 2000.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum

Pentingnya jembatan tidak dapat disangkal dan perancangannya memerlukan pemahaman tentang keamanan dan utilitas yang meliputi konsep dasar. Untuk memastikan hal ini, diperlukan definisi yang jelas mengenai beban-beban yang bekerja pada jembatan sesuai dengan standar dan peraturan yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 1725:2016. Beban yang mempengaruhi jembatan mencakup beban kendaraan, beban gempa, serta beban yang disebabkan oleh material dan metode konstruksi jembatan. Sebelum jembatan dapat digunakan, pengujian beban kendaraan perlu dilakukan untuk memastikan bahwa jembatan tersebut dapat menahan beban dengan baik.

Analisis elemen hingga adalah metode pemodelan komputer dari suatu produk atau desain yang menerapkan gaya-gaya tertentu dan dianalisis untuk tujuan tertentu. Teknik ini digunakan baik dalam desain produk baru maupun untuk perbaikan pada desain produk yang sudah ada. Dengan menggunakan metode ini, berbagai desain dapat dibuat dan disetujui sesuai dengan kebutuhan. Sebelum produk benar-benar dibuat, perlu dilakukan modifikasi pada produk atau struktur untuk meningkatkan kualitasnya. Ketika terjadi kegagalan struktur, misalnya FEA dapat digunakan untuk menentukan modifikasi desain sehingga mencapai kondisi yang diinginkan. Penelitian ini tidak dapat dipisahkan dari hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan sebagai sumber referensi dan perbandingan.

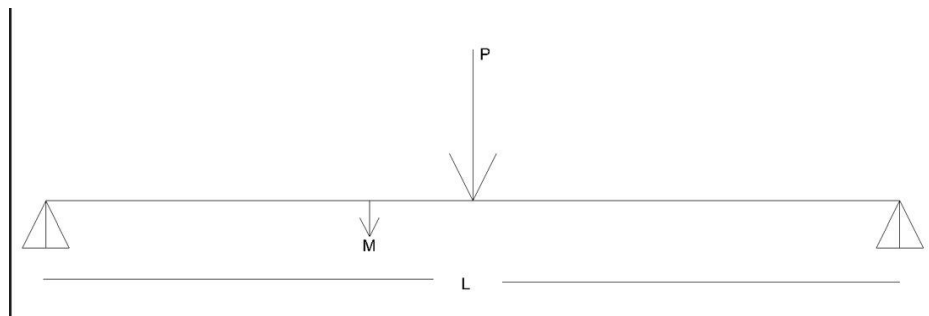
Santoso, *et al.* (2021) dalam penelitiannya mengenai analisa korelasi antara frekuensi dengan bentang jembatan berdasarkan uji dinamis didapatkan hasil

koefisien korelasi bernilai negatif menunjukkan bahwa kedua variabel yang diuji mempunyai hubungan terbalik dimana semakin panjang bentang jembatan maka semakin kecil nilai frekuensi jembatan tersebut.

Santoso (2021) merumuskan frekuensi sederhana dalam persamaan sebagai berikut:

$$f = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (1)$$

$$f = \frac{n^2\pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 2. Sketsa gambar jembatan.

Keterangan:

- L = panjang bentang jembatan (m)
- m = massa struktur jembatan (kg)
- E = modulus elastisitas (N/m²)
- I = momen inersia (m⁴)
- n = jumlah mode frekuensi (hz)
- k = kekakuan balok (kN/m)

Dalam penelitian ini, dipilih rumus frekuensi pada persamaan (1) sebagai rumus frekuensi sederhana dengan asumsi beban massa terdistribusi, dengan menghitung kekakuan gelagar sebagai balok T dibagi dengan massa balok, massa pelat, dan diafragma dimana massa terletak di tengah bentang jembatan.

B. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan tidak terlepas dari hasil penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai bahan kajian dan perbandingan. Adapun hasil-hasil penelitian yang dijadikan perbandingan tidak terlepas dari topik penelitian yaitu mengenai perbandingan frekuensi alami jembatan dengan pemodelan dan pengujian frekuensi alami dilapangan dengan *accelerometer*.

(Sutrisno *et al.*, 2021) dalam penelitiannya mengenai perbandingan frekuensi alami Jembatan Karangsemut menggunakan *accelerometer* dan SAP 2000 didapatkan hasil bahwa pada pemodelan SAP diperoleh nilai frekuensi alami sebesar 0,8488 hz sedangkan frekuensi alami pada uji *accelerometer* diperoleh nilai 14,9607 hz.

Penelitian tentang perbandingan frekuensi jembatan juga dilakukan oleh Prawestri *et al.* (2021) mengenai perbandingan frekuensi alami jembatan gantung dengan menggunakan *accelerometer* dan aplikasi *software*, didapatkan hasil frekuensi alami pada *software* SAP 1,6127 hz dan pada uji *accelerometer* didapatkan hasil frekuensi alami sebesar 12,8 hz.

C. Jembatan

Struktur jembatan terbagi menjadi dua bagian, yaitu struktur bawah dan struktur atas yang memiliki fungsi masing-masing, secara umum dijelaskan sebagai berikut:

1. Struktur atas jembatan (*superstructure*)
 - a. *Girder* atau gelagar adalah balok yang membentang secara memanjang maupun melintang diantara dua penyangga (abutmen atau *pier*) jembatan yang berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban yang bekerja dari atas jembatan dan meneruskannya ke struktur bawah jembatan.



Gambar 3. Girder tipe I.

- b. *Deck* atau pelat lantai jembatan merujuk pada area yang melintang di seluruh lebar jembatan dan berfungsi sebagai jalur bagi lalu lintas kendaraan. Ini merupakan struktur awal jembatan yang pertama kali menerima beban dan mengalirkannya ke gelagar utama.



Gambar 4. Pelat lantai jembatan.

2. Struktur bawah jembatan (*substructure*)

- a. Abutmen merupakan struktur penyangga di bawah jembatan yang terletak pada kedua ujung pilar jembatan. Fungsinya adalah untuk menopang semua beban hidup seperti angin, kendaraan, dan lain-lain, serta beban mati seperti beban gelagar, dan mengalirkannya ke tanah.



Gambar 5. Abutmen jembatan.

- b. Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah.



Gambar 6. Pondasi.

D. Pembebanan

Standar peraturan yang menjadi acuan perencanaan jembatan yaitu SNI T-02:2005 tentang standar perencanaan untuk jembatan yang terdiri dari:

- a. Beban mati (*dead load*)

Berat sendiri struktur jembatan adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktur dan elemen non-struktural yang menyatu

dan tetap berada di jembatan. Nilai berat sendiri jembatan beton adalah 2400 kg/m^3 .

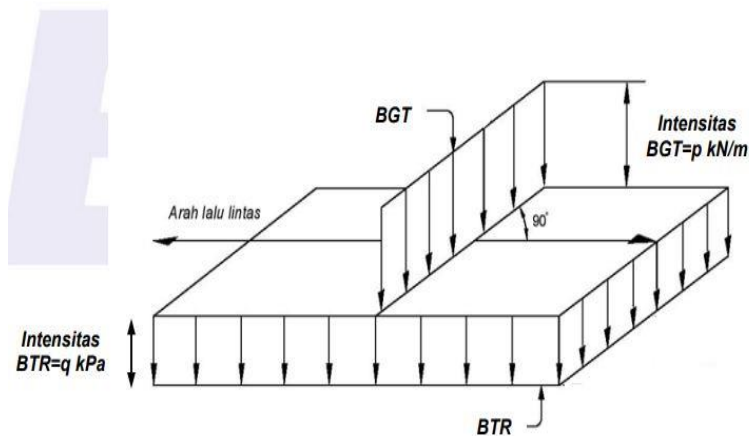
b. Beban lajur D

BTR atau beban terbagi merata mempunyai intensitas $q \text{ kPa}$, dimana nilai q tergantung pada bentang total yang dibebani L sebagai berikut:

$$L \leq 30 \text{ m}, \quad q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m}, \quad q = 9,0 (0,5+15/L) \text{ kPa}$$

BGT atau beban garis dengan intensitas $P \text{ kN/m}$ harus ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas P adalah $49,0 \text{ kN}$.



Gambar 7. Beban lajur D.

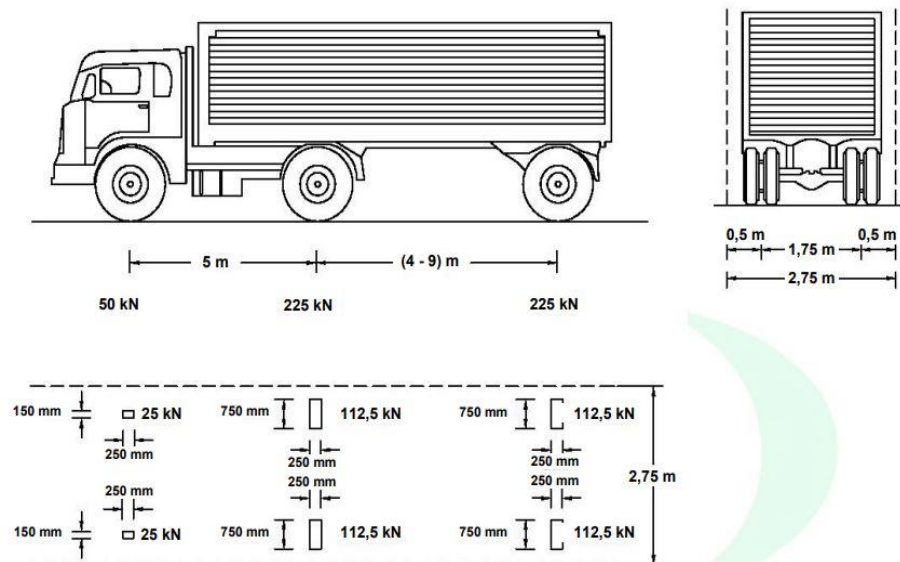
Tabel 1. Faktor Beban untuk Beban Lajur D Menurut SNI 1725:2016

Tipe Beton	Jembatan	Faktor Beban (y_{td})	
		Keadaan Batas Layan (y_{std})	Keadaan Batas Ultimit (y_{utd})
Transien	Beton	1	1,8
	Box girder baja	1	2

c. Beban truk T

Pembebanan truk T terdiri dari kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada Gambar 8. Berat

dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan pelat.



Gambar 8. Beban truk.

Tabel 2. Faktor Beban untuk Beban Truk T Menurut SNI 1725:2016

Tipe Beton	Jembatan	Faktor Beban (y_{td})	
		Keadaan Batas Layan (y_{std})	Keadaan Batas Ultimit (y_{utd})
Transien	Beton	1	1,8
	Box girder baja	1	2

Kombinasi pembebanan pada jembatan dalam penelitian ini dihitung berdasarkan SNI 1725:2016 tentang standar pembebanan pada jembatan, namun dengan ada beberapa penyesuaian.

Tabel 3. Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _S	EW _L	BF	EU _S	TG	ES	Gunakan Salah Satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/0,21	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/0,21	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-

Tabel 3 (lanjutan)

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _S	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan Salah Satu		
										EQ	TC	TV
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/0,21	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/0,21	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/0,21	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/0,21	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/0,21	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/0,21	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/0,21	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan:

- γ_p dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , tergantung beban yang ditinjau
- γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

Keterangan:

Beban permanen

- MS = beban mati komponen struktural dan non structural jembatan
MA = beban mati perkerasan dan utilitas
TA = gaya horizontal akibat tekanan tanah
PL = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental
PR = prategang

Beban transien

- SH = gaya akibat susut rangkai
TB = gaya akibat rem
TR = gaya sentrifugal
TC = gaya akibat tumbukan kendaraan
TV = gaya akibat tumbukan kapal

EQ	=	gaya gempa
BF	=	gaya friksi
TD	=	beban lajur D
TT	=	beban truk T
TP	=	beban pejalan kaki
SE	=	beban akibat penurunan
ET	=	gaya akibat temperatur gradien
EU	=	gaya akibat temperatur seragam
EF	=	gaya apung
EW	=	beban angin pada struktur
EW	=	beban angin pada kendaraan
EU	=	beban arus dan hanyutan

Berdasarkan penelitian untuk menyesuaikan kondisi pengujian di lapangan, maka beban yang dipilih hanya beban mati (D), beban mati tambahan (SDL), dan beban dinamis truk dengan kecepatan 5-10 km/jam.

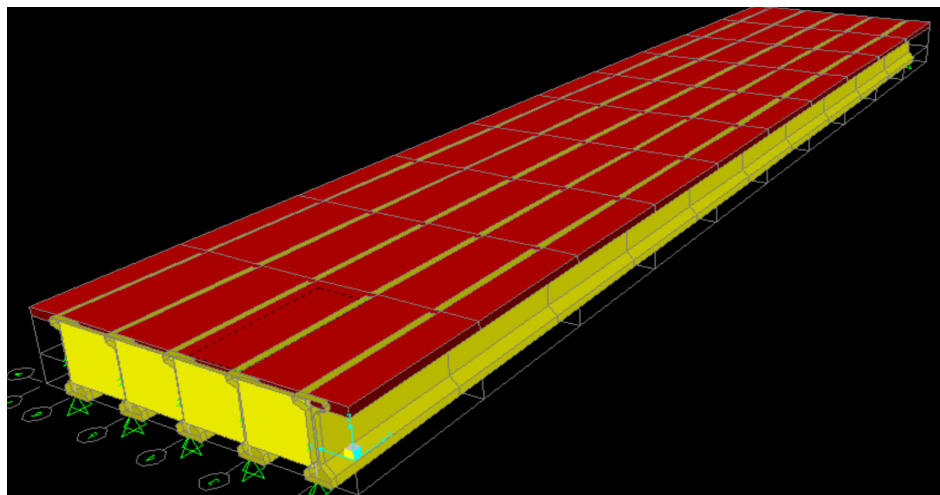
E. Pemodelan *Finite Element Analysis* (FEA)

Finite Element Analysis (FEA) terdiri dari material atau desain yang memiliki tegangan ataupun berbagai macam variabel untuk dianalisis pada komputer dengan bantuan *software* agar mendapatkan hasil tertentu, hal ini dilakukan dalam mendesain sebuah produk baru atau perbaikan pada produk yang sudah ada. FEA adalah teknik numerik untuk mencari solusi pada masalah nilai batas. Untuk meminimalkan fungsi kesalahan dan menghasilkan solusi yang stabil, teknik ini menggunakan metode variasi (kalkulus variasi). Analisis elemen hingga (FEA) itu sendiri adalah teknik diskritisasi yang dominan dalam analisa mekanika struktural. Konsep dasar dalam interpretasi fisik dari FEA adalah pembagian model matematis yang diuraikan menjadi komponen geometri sederhana (*non-overlapping*) yang disebut elemen hingga.

FEA dapat digunakan untuk menganalisa secara spesifik permasalahan di dunia engineering, misalnya kekuatan struktur, korosi, perpindahan panas, maupun gabungan beban yang terjadi, contoh sebuah struktur yang terkorosi sebagian, tidak dapat dihitung secara analitis karena ketebalan struktur berbeda di setiap daerah, dengan proses deskritisasi di FEA, dapat diselesaikan dengan mudah.

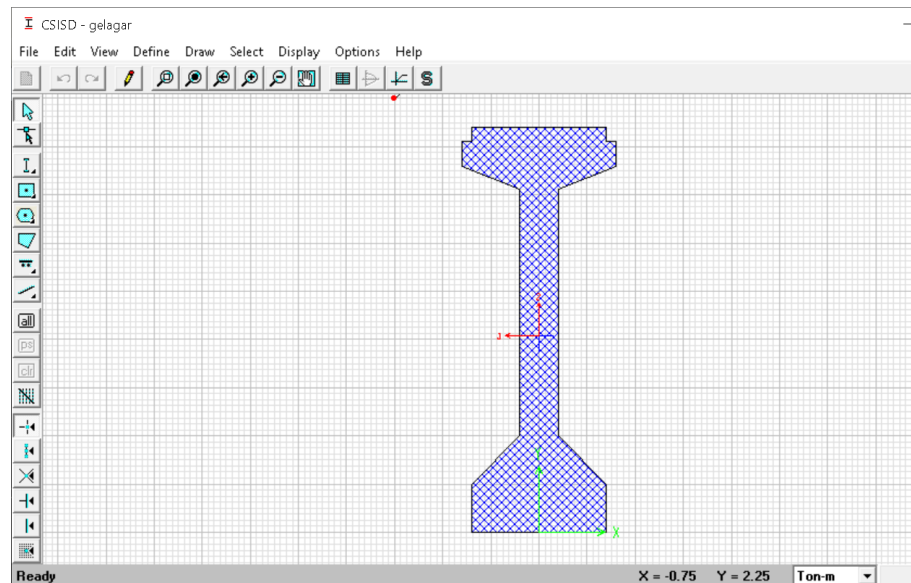
Pada penelitian ini dibuat dua pemodelan jembatan, yaitu:

1. Model line atau jembatan balok monolit beton bertulang merupakan jembatan beton bertulang yang antara gelagar induk dan pelat lantai kendaraan dicor bersamaan dan menyatu sebagai balok T. Kemudian dimodelkan jembatan dua dimensi dengan garis dan dianalisis dengan beban dinamis. Adapun gambar untuk model line di bawah ini:



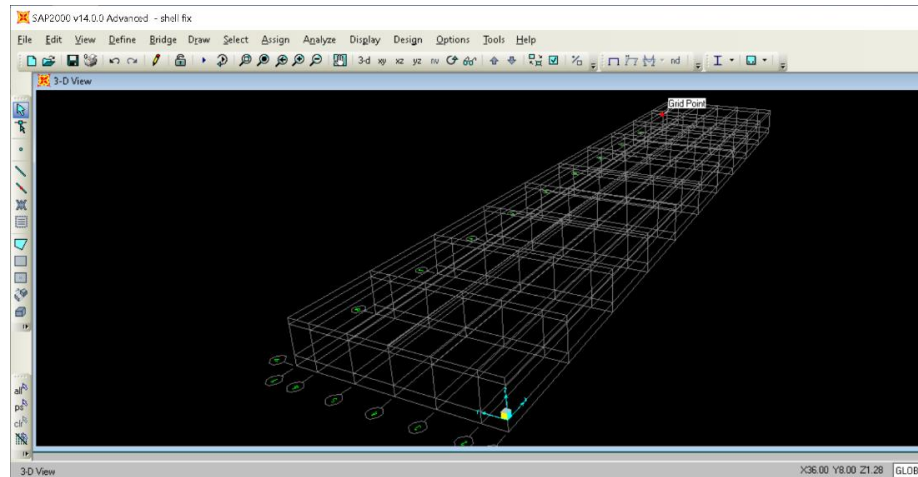
Gambar 9. Model line.

Pada model line, untuk menggambar memilih sumbu lokal x,y dan menggambar elemen gelagar dan diafragma menggunakan *draw frame section* dan menggambar slab jembatan dengan element shell atau area *section*. Pada model gelagar menggunakan *section designer* yang didesain sesuai dengan dimensi gelagar wika beton 210 cm. Gelagar yang sudah dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 10.

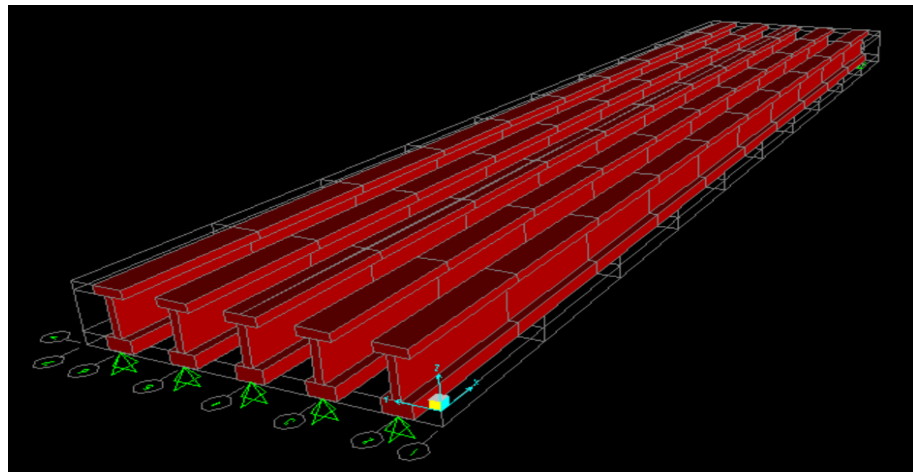


Gambar 10. Pemodelan gelagar pada model line.

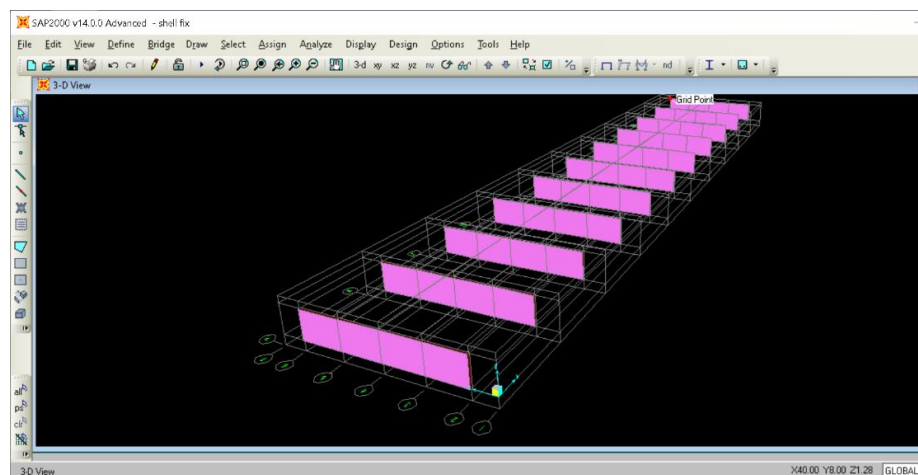
2. Model shell merupakan pemodelan jembatan dua dimensi dengan ketebalan tertentu dan dianalisis dengan beban dinamis. Model shell pada jembatan dirancang untuk mendistribusikan beban secara merata di sepanjang struktur dan memiliki kekuatan yang optimal. Pada dasarnya, model shell pada jembatan merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang perilaku struktural jembatan dan memastikan bahwa desainnya aman dan dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Contoh gambar model shell dapat dilihat pada Gambar 11. *Grid* pada model shell disesuaikan dengan dimensi dari gelagar yang telah dimodifikasi menjadi elemen shell. Gelagar dapat digambar dengan *draw area section* pada sumbu x,z setelah semua *grid* tergambar seperti pada Gambar 12. Selanjutnya, setelah *girder* shell sudah dibuat, untuk menggambar elemen diafragma pilih sumbu y,z dan memilih *area section* seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Akhirnya, setelah penggambaran diafragma dibuat, penggambaran elemen pelat dapat dilakukan pada sumbu x,y seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



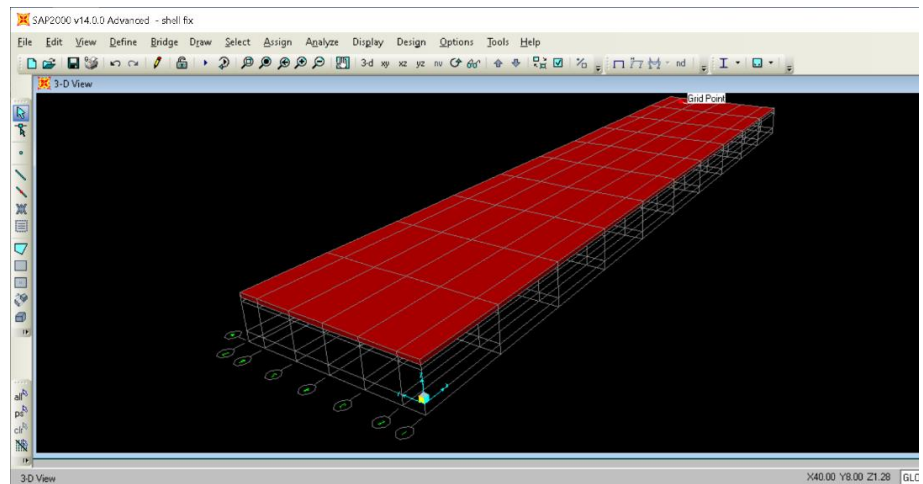
Gambar 11. *Grid line* pada model shell.



Gambar 12. Tampilan *girder* pada model shell.



Gambar 13. Tampilan diafragma pada model shell.



Gambar 14. Tampilan pelat pada model shell.

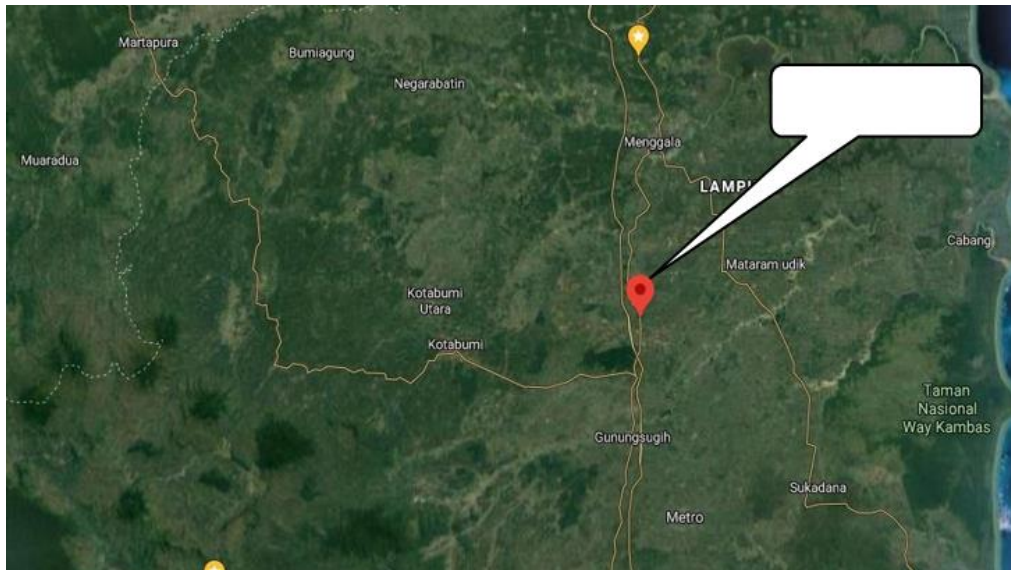
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Objek Penelitian

Dalam penelitian ini instrumentasi yang dipasang pada girder utama dalam uji beban statis *strain gauge* yang digunakan untuk mengukur tegangan dan terpasang pada permukaan bawah beton dan *dial gauge* atau *total station* untuk mengukur perpindahan. Dan untuk uji beban dinamik digunakan *accelerometer* untuk pengukuran getaran vertikal secara bersamaan dari struktur. Adapun foto dan lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 9. dan Gambar 10.



Gambar 15. Jembatan Way Lempuyang.



Gambar 16. Lokasi penelitian.

B. *Software* Penunjang

Dalam perencanaan Jembatan Strategis Way Lempuyang ini, penulis menggunakan beberapa *software* untuk mempermudah perhitungan dan perbandingan desain. Berikut adalah *software* yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Microsoft Excel

Microsoft Excel 2019 digunakan untuk menganalisis data primer dan sekunder serta perhitungan desain elemen-elemen jembatan yang menggunakan rumus-rumus yang sederhana dan kompleks.

2. SAP 2000 V14

Software ini digunakan untuk membuat model jembatan baik line dan shell, juga analisis dari kombinasi beban statis dan dinamis dengan pemodelan dua dimensi (2D).

C. Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Persiapan penelitian

Pada tahap persiapan penelitian dilakukan studi literatur dengan mencari beberapa referensi seperti buku, skripsi, maupun jurnal yang membahas tentang pembebanan statis dan dinamis pada jembatan dan perbandingan frekuensi pada *girder* jembatan.

2. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam pemodelan ini berupa data sekunder dari pembebanan statis dan dinamis pada Jembatan Way Lempuyang Ruas Bujung Tenuk-Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah.

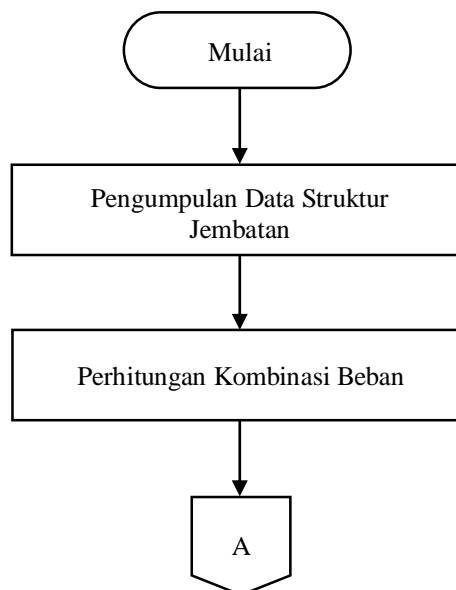
3. Menghitung dan menentukan beban

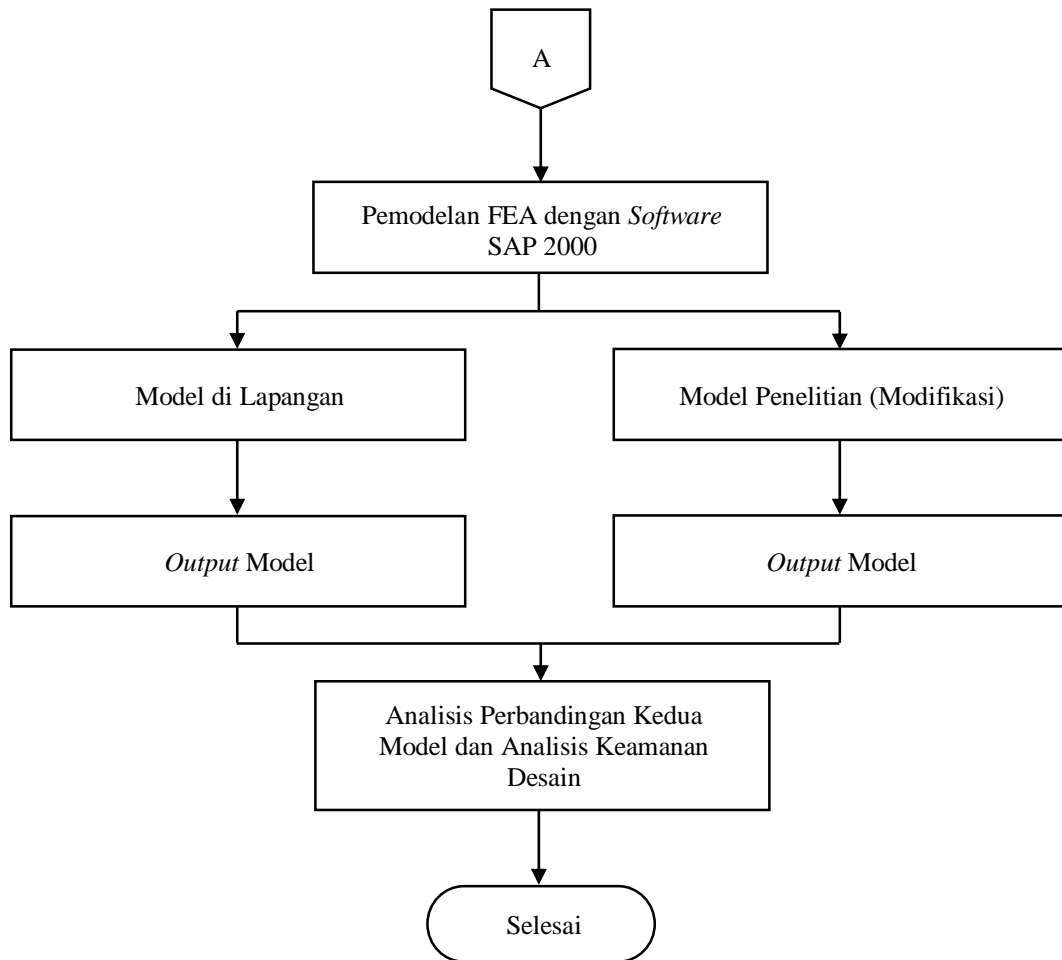
- a. Beban mati (D)
- b. Beban mati tambahan (SDL)
- c. Beban dinamis berupa truk yang berjalan di tengah bentang jembatan dengan kecepatan 5-10 km/jam

4. Melakukan dua pemodelan jembatan dua dimensi dari Jembatan Way Lempuyang menggunakan *software* SAP 2000.

5. Melakukan perbandingan antara model penelitian dengan model di lapangan dan diambil yang paling mendekati hasil pengujian lapangan.

D. Diagram Alir Penelitian





Gambar 17. Diagram alir penelitian.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian adalah:

1. Nilai frekuensi alami yang diperoleh dari model line sebesar 3,9876 hz dan frekuensi alami dari model shell sebesar 16,045 hz yang dimana pada model shell hasil frekuensi lebih mendekati dari hasil uji lapangan sebesar 16,67 hz dengan perbandingan 3,75%. Maka dipakai model shell sebagai perbandingan pada model dilapangan.
2. Lendutan maksimum yang terjadi ditengah bentang akibat pembebanan dinamis beban truk 22,5 ton sebesar 22 mm. Pada model line dan lendutan sebesar 27 mm pada model shell. Berdasarkan standar bangunan atas jembatan gelagar pratekan dirjen bina marga departemen PU, lendutan akibat beban hidup daya layan tidak boleh melampaui $L/800 = 40000/800$ (50 mm). data lendutan tersebut 27 mm masih dibawah syarat batas lendutan maksimum jembatan $L/800$ (50 mm).

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan model yang lebih detail sehingga didapatkan hasil yang lebih baik.

2. Dalam penginstalan software diperlukan spesifikasi laptop yang memadai, karena sangat mempengaruhi kinerja saat penggunaannya.
3. Lebih giat meningkatkan kemampuan atau skill dasar untuk menggunakan software SAP 2000 sebelum dan saat melakukan pemodelan.

Daftar Pustaka

- Santoso, H., Hidayatiningrum, L., Utomo, A., Hartono, J., dan Masrianto, 2021. *Analisa korelasi antara frekuensi dengan bentang jembatan berdasarkan uji dinamik (correlation analysis between frequency and bridge span based on dynamic test)*. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 38 (1), 59–71.
- Badan Standarisasi Nasional, 2016. *Pembebanan untuk jembatan SNI-1725-2016*.
- Lumbantobing, E. G. 2021. *Perancangan konstruksi jembatan beton bertulang Balok T*.
- Subrata, Gantini 2007. *Penggunaan Finite Element Analysis*
- Direktorat Jenderal Bina Marga 2017. *Ketentuan Desain dan Revisi Jalan dan Jembatan, Serta Kerangka Acuan Kerja Pengawasan Teknis Untuk Dijadikan Acuan Di Lingkungan Ditjen Bina Marga*. Jakarta Selatan.
- Sutrisno, W., Chandra, D. L., dan Deonanda. A., 2021. *Perbandingan frekuensi alami jembatan karangsemut menggunakan accelerometer dan sap2000*. *RENOVASI : Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil* 6
- Prawestri, D., Sutrisno, W., Priyanto, A., 2021. *Perbandingan analisis frekuensi alami jembatan gantung dengan menggunakan aplikasi accelerometer meter dan software (studi kasus jembatan gantung kemiri buluharjo karangmojo)*. *RENOVASI : Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil* 6 (1):54-64.
- Anonim 2009. Getting Started, “*Linear and nonlinear static and dynamic analysis and design of three-dimensional structures, California, United States*.”