



**TUGAS AKHIR TF091381**

**ANALISIS RESPON *BEAM* TERHADAP  
PEMBEBANAN KENDARAAN BERJALAN DENGAN  
PEMODELAN SETENGAH MOBIL**

**ALINDA NURUL BADRIYAH**  
NRP. 2414 105 036

Dosen Pembimbing  
Ir. Yerri Susatio, M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**Halaman ini memang dikosongkan**



FINAL PROJECT - TF091381

***BEAM RESPONSE ANALYSIS OF MOVING  
VEHICLE WITH HALF CAR MODELLING***

ALINDA NURUL BADRIYAH  
NRP. 2414 105 036

Advisor Lecturer  
Ir. Yeri Susatio, M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016

**Halaman ini memang dikosongkan**

**ANALISIS RESPON BEAM TERHADAP  
PEMBEBANAN KENDARAAN BERJALAN  
DENGAN PEMODELAN SETENGAH MOBIL**


**TUGAS AKHIR**

**Oleh:**

**ALINDA NURUL BADRIYAH  
NRP. 2414105036**

**Surabaya, 22 Juli 2016  
Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing I,**



**Ir. Yerri Susatio, MT**  
**NIP. 19541017 198003 1 005**

**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI ITS,**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

**ANALISIS RESPON BEAM TERHADAP  
PEMBEBANAN KENDARAAN BERJALAN  
DENGAN PEMODELAN SETENGAH MOBIL**



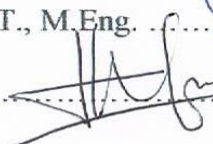

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ALINDA NURUL BADRIYAH**  
NRP. 2414 105 036

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yerri Susatio, M.T. ....  (Pembimbing)
2. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng. ....  (Penguji I)
3. Ir. Heri Justiono, M.T. ....  (Penguji II)
4. Dyah Sawitri, S.T., M.T. ....  (Penguji III)

**SURABAYA**  
**JULI, 2016**

# ANALISIS RESPON *BEAM* TERHADAP PEMBEBEBANAN KENDARAAN BERJALAN DENGAN PEMODELAN SETENGAH MOBIL

**Nama** : Alinda Nurul Badriyah  
**NRP** : 2414.105. 036  
**Pembimbing** : Ir. Yerri Susatio, MT.

## ABSTRAK

Terdapat beberapa peristiwa rusaknya jembatan yang terjadi sebelum waktu yang telah diperkirakan sebelumnya. Salah satu hipotesis penyebab situasi ini adalah adanya getaran tambahan yang disebabkan oleh kendaraan besar seperti *super long truck* serta memiliki gaya yang sangat besar dan diteruskan atau ditransferkan ke jembatan. Panjang kendaraannya menyebabkan getaran tambahan karena perbedaan beda fasa dari ban depan dan ban belakang. metode yang digunakan untuk membuktikan hipotesa ini adalah simulasi untuk pemodelan sistem *bridge-vehicle* menggunakan program ANSYS Workbench 15.0. Terdapat tiga ketebalan yang digunakan yaitu tebal 2 meter, 1 meter, dan 0.5 meter. Sedangkan untuk variasi tumpuan, penulis memilih jenis *fixed support*, *knife-edge support*, dan *slider support*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat tambahan getaran yang diteruskan oleh kendaraan akibat panjang kendaraan. Hal ini terbukti dengan adanya osilasi yang ditunjukkan pada setiap varian respon deformasi total; dari *beam*. Total deformasi terbesar terdapat pada jenis tumpuan *slider support* dengan ketebalan 0.5 meter, yaitu sebesar 1.08 mm pada waktu ke 1.12 detik. *Ripple* pertama muncul pada waktu ke 0.84 detik.

**Kata kunci:** *beam*, tumpuan, model setengah mobil, deformasi total, ANSYS Workbench 15.0

*Halaman Ini Memang Dikосongkan*



## **BEAM RESPONSE ANALYSIS OF MOVING VEHICLE WITH HALF CAR MODELLING**

**Name** : Alinda Nurul Badriyah  
**NRP** : 2414.105. 036  
**Lecture** : Ir. Yerri Susatio, MT.

### **ABSTRACT**

*There were several tragedies concerning damages of bridge which are seem to be sooner than the predicted period. One of hypothesis in this situation is an addition of vibration caused by long vehicle such as super long truck which has huge force transferred into the bridge and its long body causes more vibration due to phase difference of front and rear tire. The selected method which is used in this problem is using a simulation for modeling a bridge-vehicle system using half car vehicle model. The simulation is done using ANSYS Workbench 15.0 with some variation such us the thickness of beam and its supports. There are 3 kind of variation used in the thickness variety which are 2 m, 1 m, and 0.5 m. While in supports variation, we have fixed support, knife-edge support, and slider support. The results show that there is addition of vibration caused by long vehicle. It is proved by an oscillation which is showed in every response of beam's total deformation. Highest total deformation is achieved in slider support beam of 0.5 thicknesses, 1.08 mm in 1.12 second. First ripple seen in responses is at 0.84 second. Meanwhile, response of knife-edge and fixed support beam show a similarity.*

**Keyword:** *beam, supports, half car, total deformation, ANSYS Workbench 15.0.*

*Halaman Ini Memang Dikongkan*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Getaran .....	5
2.2 <i>Beam</i> .....	5
2.3 Jenis-jenis <i>Beam</i> .....	7
2.4 Pemodealan Kendaraan Setengah Mobil .....	8
2.5 Beban, Defleksi, Sambungan, dan Tumpuan.....	9
2.6 Respon <i>Beam</i> dengan Pembebanan Berjalan Terhadap Waktu.....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 Pemodelan <i>Beam</i> .....	15
3.2 Variasi Ketebalan <i>Beam</i> .....	16
3.3 Variasi Tumpuan <i>Beam</i> .....	18
3.4 Simulasi Pemodelan <i>Beam</i> .....	18
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Respon <i>Fixed Support Beam</i> .....	25

4.2 Respon <i>Knife-Edge Support Beam</i> .....	31
4.3 Respon <i>Slider Support Beam</i> .....	37
4.4 Perbandingan Respon Beam dengan Variasi Modulus Elastisitas .....	43
4.5 Perbandingan Variasi Ketebalan pada Setiap jenis <i>Beam</i> .....	48
4.6 Perbandingan Variasi Tumpuan pada Setiap Ketebalan	50
4.7 Pembahasan.....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Representasi Skematik dari beam yang terkena defleksi planar <sup>[2]</sup>	6
<b>Gambar 2.2</b>	Defleksi yang terjadi pada <i>beam</i> dengan batas kondisi khusus <sup>[2]</sup> (a) <i>Beam</i> dengan penyangga sederhana (b) <i>Beam</i> dengan batas bergeser	7
<b>Gambar 2.3</b>	Jenis-jenis kondisi dari kombinasi batas <i>beam</i> <sup>[2]</sup> (a) beam dengan penyangga sederhana (b) beam cantilever (c) beam dengan penyangga bergeser	8
<b>Gambar 2.4</b>	Model dinamika setengah mobil <sup>[3]</sup>	9
<b>Gambar 2.5</b>	Beban dan Defleksi pada 2 Dimensi <sup>[4]</sup>	10
<b>Gambar 2.6</b>	Beban dan Defleksi pada 3 Dimensi <sup>[4]</sup>	10
<b>Gambar 2.7</b>	(a) Jenis sambungan bebas (b) Jenis sambungan yang diam atau tidak ada pergerakan <sup>[4]</sup>	11
<b>Gambar 2.8</b>	<b>a)</b> <i>Simple-supported beam</i> <b>(b)</b> <i>pin support beam</i> <b>(c)</b> <i>knife-edge support beam</i> <b>(d)</b> <i>slider support beam</i> <b>(e)</b> <i>pinned slider support beam</i> <sup>[4]</sup>	11
<b>Gambar 2.9</b>	Respon pada eksitasi step <sup>[4]</sup>	12
<b>Gambar 2.10</b>	Konvolusi Integral dari Respon	12
<b>Gambar 2.11</b>	<i>Beat Modulation</i> <sup>[4]</sup>	13
<b>Gambar 3.1</b>	Pemodelan beam pada ANSYS WORKBENCH 15.0	15
<b>Gambar 3.2</b>	Geometri ukuran panjang dan lebar <i>beam</i>	15
<b>Gambar 3.3</b>	Ketebalan 2 meter pada beam	16
<b>Gambar 3.4</b>	Ketebalan 1 meter pada beam	17
<b>Gambar 3.5</b>	Ketebalan 0.5 meter pada beam	17
<b>Gambar 3.6</b>	Pemilihan sistem analisis	19

<b>Gambar 3.7</b>	Bagian utama simulasi sistem <i>transient structural</i>	19
<b>Gambar 3.8</b>	Pemilihan karakteristik material dan engineering data pada model	21
<b>Gambar 3.9</b>	Pembuatan geometri pada permukaan <i>beam</i>	21
<b>Gambar 3.10</b>	Pengaturan <i>mesh</i> pada simulasi	22
<b>Gambar 3.11</b>	Pemodelan <i>beam</i>	23
<b>Gambar 3.12</b>	Pengaturan <i>force</i> pada model	23
<b>Gambar 3.13</b>	Pengaturan tumpuan pada <i>beam</i>	24
<b>Gambar 3.14</b>	Hasil deformasi total pada <i>beam</i>	24
<b>Gambar 4.1</b>	Kontur deformasi <i>fixed support beam</i> ketebalan 2 meter	25
<b>Gambar 4.2</b>	Respon <i>fixed support beam</i> ketebalan 2 meter	26
<b>Gambar 4.3</b>	Kontur deformasi <i>fixed support beam</i> ketebalan 1 meter	26
<b>Gambar 4.4</b>	Respon <i>fixed support beam</i> ketebalan 1 meter	27
<b>Gambar 4.5</b>	Kontur deformasi <i>fixed support beam</i> ketebalan 0.5 meter	27
<b>Gambar 4.6</b>	Respon <i>fixed support beam</i> ketebalan 0.5 meter	28
<b>Gambar 4.7</b>	Perbandingan model pada ketebalan 2 meter	29
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan model pada ketebalan 1 meter	30
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan model pada ketebalan 0.5 meter	30
<b>Gambar 4.10</b>	Kontur deformasi <i>knife-edge support beam</i> dengan ketebalan 2 meter	31
<b>Gambar 4.11</b>	Respon <i>knife-edge support beam</i> pada ketebalan 2 meter	32
<b>Gambar 4.12</b>	Kontur deformasi <i>knife-edge support beam</i> dengan ketebalan 1 meter	32
<b>Gambar 4.13</b>	Respon <i>knife-edge support beam</i>	33

	pada ketebalan 1 meter	
<b>Gambar 4.14</b>	Kontur deformasi <i>knife-edge support beam</i> dengan ketebalan 0.5 meter	33
<b>Gambar 4.15</b>	Respon <i>knife-edge support beam</i> pada ketebalan 0.5 meter	34
<b>Gambar 4.16</b>	Perbandingan model pada ketebalan 2 meter	35
<b>Gambar 4.17</b>	Perbandingan model pada ketebalan 1 meter	36
<b>Gambar 4.18</b>	Perbandingan model pada ketebalan 0.5 meter	36
<b>Gambar 4.19</b>	Kontur deformasi <i>slider support beam</i> pada ketebalan 2 meter	37
<b>Gambar 4.20</b>	Respon <i>slider support beam</i> pada ketebalan 2 meter	38
<b>Gambar 4.21</b>	Kontur deformasi <i>slider support beam</i> pada ketebalan 1 meter	39
<b>Gambar 4.22</b>	Respon <i>slider support beam</i> pada ketebalan 1 meter	39
<b>Gambar 4.23</b>	Kontur deformasi <i>slider support beam</i> pada ketebalan 0.5 meter	40
<b>Gambar 4.24</b>	Respon <i>slider support beam</i> pada ketebalan 0.5 meter	40
<b>Gambar 4.25</b>	Perbandingan model pada ketebalan 2 meter	41
<b>Gambar 4.26</b>	Perbandingan model pada ketebalan 1 meter	42
<b>Gambar 4.27</b>	Perbandingan model pada ketebalan 0.5 meter	42
<b>Gambar 4.28</b>	Respon <i>fixed support beam</i> dengan $E=10^{11}$ Pa	43
<b>Gambar 4.29</b>	Respon <i>fixed support beam</i> dengan $E=10^{10}$ Pa	44
<b>Gambar 4.30</b>	Respon <i>knife-edge support beam</i> dengan $E=10^{11}$ Pa	44
<b>Gambar 4.31</b>	Respon <i>knife-edge support beam</i>	45

	dengan $E=10^{10}$ Pa	
<b>Gambar 4.32</b>	Respon <i>slier support beam</i> dengan $E=10^{11}$ Pa	45
<b>Gambar 4.33</b>	Respon <i>slier support beam</i> dengan $E=10^{10}$ Pa	46
<b>Gambar 4.34</b>	Perbandingan E pada <i>fixed support beam</i>	46
<b>Gambar 4.35</b>	Perbandingan E pada <i>knife-edge support beam</i>	47
<b>Gambar 4.36</b>	Perbandingan E pada <i>slider support beam</i>	47
<b>Gambar 4.37</b>	Perbandingan ketebalan pada <i>beam fixed support</i>	48
<b>Gambar 4.38</b>	Perbandingan ketebalan pada <i>beam tumpuan di keempat ujung</i>	49
<b>Gambar 4.39</b>	Perbandingan ketebalan pada <i>beam tumpuan di keempat ujung</i>	49
<b>Gambar 4.40</b>	Perbandingan tumpuan beam pada ketebalan 2 meter	50
<b>Gambar 4.41</b>	Perbandingan tumpuan beam pada ketebalan 1 meter	51
<b>Gambar 4.42</b>	Perbandingan tumpuan beam pada ketebalan 0.5 meter	51
<b>Gambar 4.43</b>	Deformasi pada tumpuan <i>fixed</i> <sup>[8]</sup>	53
<b>Gambar 4.44</b>	Deformasi pada tumpuan <i>knife-edge</i> <sup>[8]</sup>	54
<b>Gambar 4.45</b>	Deformasi pada tumpuan <i>slider</i> <sup>[8]</sup>	54
<b>Gambar 4.46</b>	<i>Cross-sectional beam</i> <sup>[8]</sup>	55



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Rusaknya badan jalan jembatan yang menghubungkan jalan raya Denpasar – Gilimanuk di Kabupaten Jembrana, Bali pada tanggal 23 Januari 2016 kemarin terjadi di tengah-tengah padatnya arus kendaraan yang melewatinya<sup>[1]</sup>. Peristiwa ini terjadi luput dari perkiraan atau dugaan sebelumnya sehingga mengindikasikan bahwa jembatan rusak sebelum waktu yang diperkirakan. Hal ini dapat menjadi salah satu contoh penurunan kualitas struktur jembatan yang dipengaruhi oleh beberapa variabel yang tidak terukur atau tidak diketahui. Salah satu variabel yang tidak diketahui berasal dari getaran atau vibrasi. Vibrasi ini dapat berasal dari bumi tempat bertumpunya penyangga jembatan atau yang tersalurkan dari kendaraan-kendaraan yang melewatinya.

Struktur jembatan terdiri dari beberapa bagian, salah satunya adalah *beam*. *Beam* merupakan bagian lentur dari sebuah jembatan yang menerima kontak langsung dengan massa (kendaraan) yang berjalan di atasnya. *Beam* merupakan bagian dari struktur jembatan yang disubjekkan untuk menerima beban melintang yang menyebabkan bagian tersebut melengkung<sup>[2]</sup>. Pada penelitian-penelitian sebelumnya, digunakan beban statis pada nilai tertentu untuk mengetahui respon dari *beam*. Namun, pada kenyataan di lapangan, kendaraan-kendaraan yang melewati jembatan merupakan beban atau gaya yang berjalan (dinamis) sehingga dapat menimbulkan respon yang berbeda pada *beam*. Meskipun pada setiap kendaraan telah dilengkapi dengan sistem suspensi, namun masih terdapat getaran yang lolos dari kendaraan dan diteruskan ke *beam* jembatan.

Perbedaan massa pada berbagai jenis kendaraan yang melewati jembatan tentunya akan menghasilkan respon yang berbeda terhadap defleksi atau deformasi yang akan ditimbulkan pada *beam*. Pada tugas akhir ini, digunakan massa kendaraan truk peti kemas sebagai variabel tetap atau kontrol. Variabel lain yang mempengaruhi karakteristik vibrasi yang

akan terjadi pada *beam* adalah pemodelan kendaraan yang digunakan serta parameter *beam* jembatan. Kedua variabel ini, parameter *beam* dan pemodelan kendaraan akan menjadi variabel bebas yang akan dianalisis perbedaannya setiap variannya.

Pemodelan dilakukan secara simulasi komputasional berbasis metode *Finite Element* yang dapat menghitung respon dari *beam* dengan besaran fisis keluaran berupa besar deformasi dalam ranah waktu. Oleh karena itu, disusun tugas akhir dengan judul “Analisis Respon *Beam* Terhadap Pembebanan Kendaraan Berjalan Dengan Pemodelan Kendaraan Setengah Mobil” dan diharapkan mampu memberi informasi mengenai karakteristik vibrasi yang terjadi pada *beam* dan mengetahui responnya sehingga besarnya faktor perusak dan prediksi kerusakan *beam* (jembatan) yang berasal dari variabel tak terukur dapat diketahui.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang diambil dalam tugas akhir ini adalah bagaimana menganalisis respon *beam* pada jembatan terhadap variasi pemodelan kendaraan berjalan dan parameter *beam*.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar yang dibahas dalam penelitian ini tidak melebar maka diberikan batasan-batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

- Struktur jembatan yang dianalisis hanya sebatas bagian *beam*.
- Variabel kontrol yang diterapkan pada semua variasi simulasi adalah gaya (Force) dari kendaraan.
- Variasi simulasi berupa parameter *beam* dan pemodelan kendaraan
- Parameter *beam* yang digunakan adalah ketebalan dan jenis penumpu *beam* di kedua ujungnya.
- Variasi pemodelan kendaraan yang dibuat sebanyak dua jenis, pemodelan seperempat mobil dan setengah mobil.
- Simulasi komputasional pada pemodelan sistem *bridge-vehicle* menggunakan program ANSYS WORKBENCH 15.0.

#### **1.4 Tujuan**

Berdasarkan permasalahan yang telah diulas, penelitian ini bertujuan untuk :

- Mendesain dan membuat pemodelan sistem *bridge-vehicle* yang tepat.
- Menentukan variasi pemodelan yang akan dibandingkan.
- Mendapatkan respon *beam* terhadap jembatan dalam ranah waktu.
- Menganalisa respon.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian tugas akhir ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya dalam kalangan mahasiswa dan mampu membawa manfaat bagi pembangunan jembatan untuk mengetahui seberapa pengaruh variabel yang berasal dari vibrasi kendaraan terhadap *beam* jembatan.

*Halaman Ini Memang Dikосongkan*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Getaran**

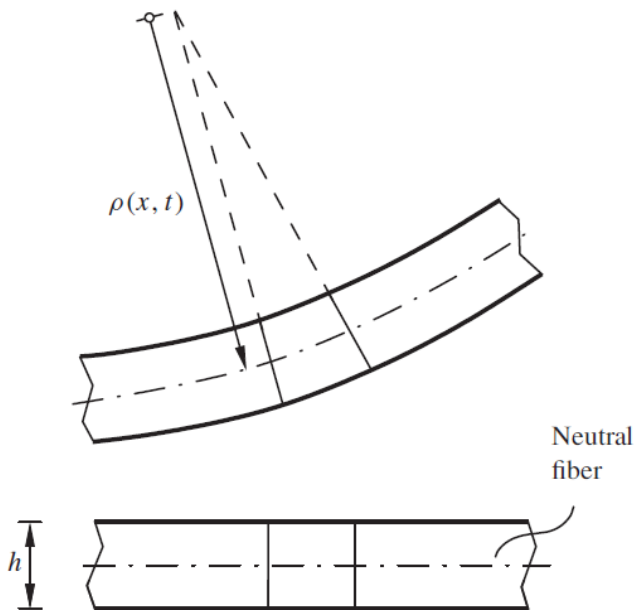
Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran. Ada dua kelompok getaran yang umum, yakni getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada di dalam sistem itu sendiri, dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuannya. Sementara getaran paksa adalah getaran yang disebabkan oleh gaya luar. Jika rangsangan tersebut berosilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan frekuensi natural sistem, maka akan didapat kondisi *resonansi*, dan osilasi besar yang berbahaya mungkin akan terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung atau sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan karena resonansi.

Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi didisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman itu kecil, maka pengaruhnya sangat kecil pada frekuensi natural sistem, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilaksanakan atas dasar tidak ada redaman. Sebaliknya redaman sangat penting sekali untuk membatasi amplitudo osilasi pada waktu resonansi<sup>[1]</sup>.

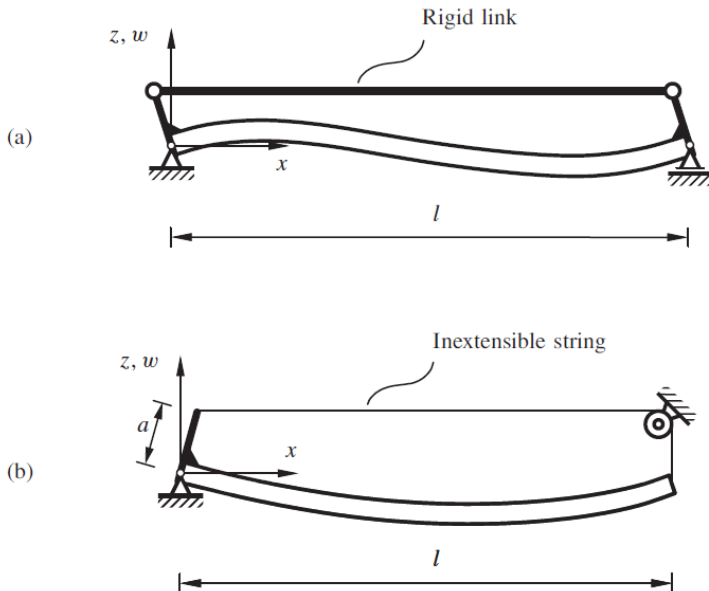
#### **2.2 Beam**

*Beam* merupakan suatu objek elastis yang ditujukan untuk menerima beban getaran transversal yang mengakibatkan pembengkokan atau patahan dari objek tersebut<sup>[4]</sup>. *Beam* biasanya ditemui dalam beberapa mesin atau struktur bangunan tertentu dengan transmisi vibrasi yang besar. Perbedaan *beam* dengan objek elastis lainnya adalah arah elastisitas apabila dikenai suatu beban atau gaya. *Beam* tidak hanya membengkok (melengkung)

namun juga patah. Jadi, ketika suatu *beam* dikenai suatu beban atau gaya, perpindahan posisi *beam* berupa derajat kelengkungan yang disebut juga defleksi planar dan panjang *displacement* atau penurunan atau kenaikan dari posisi awal. Salah satu contoh dari *beam* sederhana terdapat pada salah satu bagian dari struktur jembatan yaitu batang atau jalan tempat kendaraan melewati jembatan tersebut. Penjelasan diatas dapat dilihat pada **Gambar 2.1** dan **Gambar 2.2**.



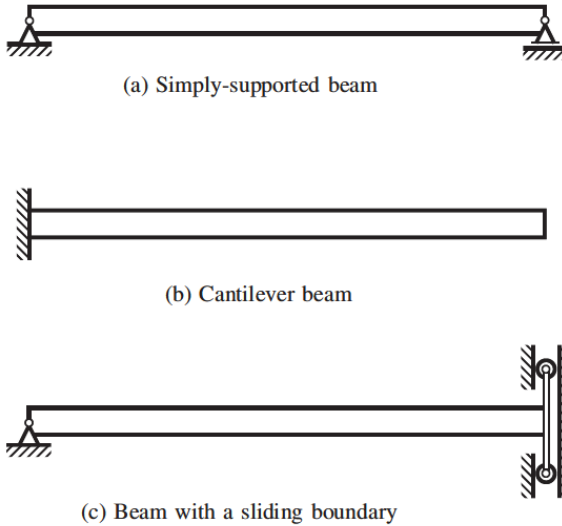
**Gambar 2.1** Representasi Skematik dari *beam* yang terkena defleksi planar<sup>[2]</sup>



**Gambar 2.2** Defleksi yang terjadi pada *beam* dengan batas kondisi khusus<sup>[2]</sup> (a) *Beam* dengan penyangga sederhana (b) *Beam* dengan batas bergeser

### 2.3 Jenis-Jenis *Beam*

Penggolongan jenis *beam* dilakukan berdasarkan perbedaan kondisi penyangga yang dimilikinya. beberapa keadaan yang biasa ditemui pada penyangga *beam* adalah kombinasi dari dijepit, diapit, bebas dan bergeser<sup>[2]</sup>. Perbedaan dari kombinasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Jenis-jenis kondisi dari kombinasi batas *beam*<sup>[2]</sup> (a) *beam* dengan penyangga sederhana (b) *beam cantilever* (c) *beam* dengan penyangga bergeser

Pada penelitian ini, akan digunakan jenis *beam* dengan batas yang mati atau penyangga sederhana yang diasumsikan tidak bergerak. Hal ini merupakan bentuk realisasi dari keadaan sebuah jembatan dengan penyangga yang tidak bergerak atau mati.

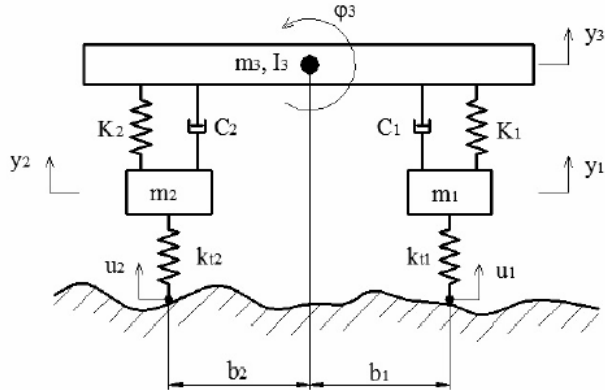
## 2.4 Pemodelan Kendaraan Setengah Mobil

Pemodelan kendaraan yang akan diasumsikan berjalan melewati jembatan merupakan model setengah mobil dengan empat derajat kebebasan. Pemodelan ini diwakilkan dengan dua ban yang ada pada mobil atau satu kendaraan beroda dua (motor).

**Gambar 2.4** menjelaskan konsep sistem suspensi yang ada pada kendaraan di masing-masing ban.



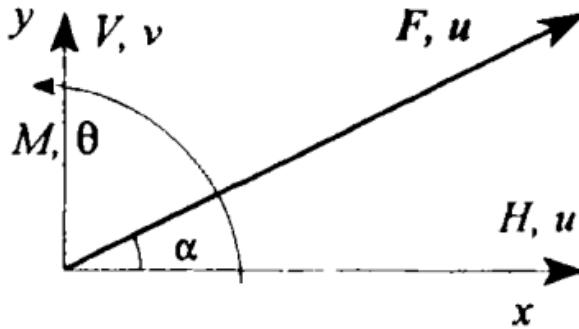
Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini dapat terlihat pada **Gambar 2.4** model setengah mobil yaitu massa dan jarak antara ban depan dan belakang. Pada gambar itu juga diperlihatkan bahwa badan mobil terikat suspensi pasif dengan pegas-pegas linear dan peredam *viscous*.



**Gambar 2.4** Model dinamika setengah mobil<sup>[3]</sup>

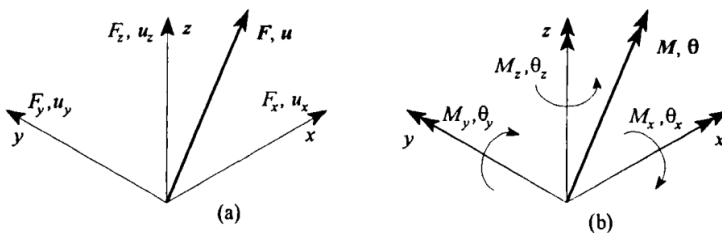
## 2.5 Beban, Defleksi, Sambungan, dan Tumpuan

Beberapa notasi akan sering dicantumkan atau disebutkan dalam penelitian ini. Maka dari itu, akan dijelaskan beberapa terminologi istilah-istilah yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Gaya (*force*) adalah aksi atau pengaruh yang diterapkan pada sebuah benda yang menciptakan efek pada benda tersebut. Sebuah momen gaya adalah aksi atau pengaruh yang diterapkan pada benda yang menciptakan efek pada benda itu di arah tertentu. Sedangkan beban (*load*) dapat atau diwujudkan sebagai gaya, momen gaya, gaya terdistribusi, atau momen gaya terdistribusi. Begitu pula dengan defleksi yang akan dapat diartikan sebagai perpindahan linear, rotasi atau perpindahan umum dari sebuah struktur atau komponen<sup>[4]</sup>.



**Gambar 2.5** Beban dan Defleksi pada 2 Dimensi<sup>[4]</sup>

Terdapat hubungan yang berbanding lurus antara besar gaya (*force*) terhadap defleksi yang terjadi pada beam. Terlihat pada **Gambar 2.5**, hubungan keduanya yang berada dalam satu garis linear. Apabila  $\mathbf{F}$  merupakan vektor dari force, maka  $\mathbf{u}$  merupakan vektor dari defleksi hasil dari force. Komponen dari vector  $\mathbf{F}$  adalah  $V$  dan  $H$  dalam arah sumbu  $x$  dan  $y$ . sedangkan komponen vertikal dan horizontal dari vector  $\mathbf{u}$  adalah  $v$  dan  $u$ . momen  $M$  dihasilkan dari rotasi .

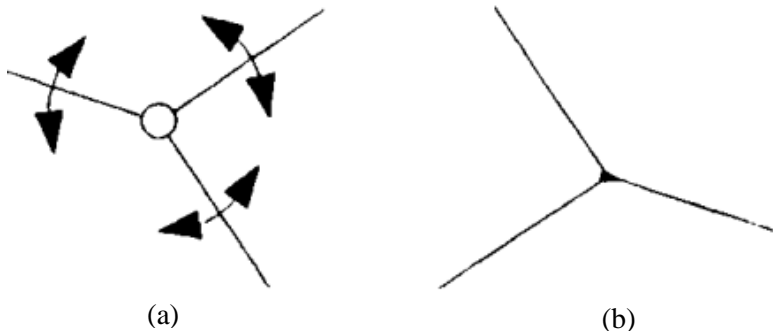


**Gambar 2.6** Beban dan Defleksi pada 3 Dimensi<sup>[4]</sup>

Hubungan antara beban (*force*) dan defleksi dalam arah 3 dimensi dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Komponen 3 dimensi dari vector force  $\mathbf{F}$  adalah  $F_x$ ,  $F_y$ , dan  $F_z$ . Sedangkan komponen 3

dimensi dari vektor defleksi  $\mathbf{u}$  adalah  $u_x$ ,  $u_y$ , dan  $u_z$ . terdapat dua macam jenis hubungan antara beban dan defleksi. **Gambar 2.6a** merupakan hubungan antara beban dan defleksi dalam 3 dimensi, sedangkan **Gambar 2.6b** merupakan *rotation vector*.

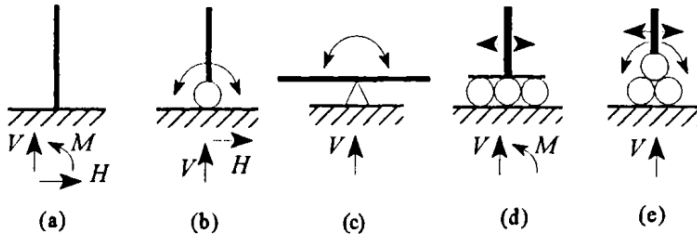
Sambungan dan tumpuan hampir memiliki fungsi yang sama yaitu menyerap atau membagikan kerja. Terdapat beberapa macam jenis sambungan dan tumpuan yang akan mempengaruhi hasil defleksi dari *beam*.



**Gambar 2.7** Jenis sambungan pada beam (a) *pin joint* (b) *rigid joint* <sup>[4]</sup>

Terdapat dua jenis sambungan pada beam yaitu *pin joint* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7a** dan *rigid joint* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7b**. Pada kenyataannya saat ini, struktur *truss* jembatan tidak ada yang sepenuhnya menggunakan salah satu jenis sambungan saja, melainkan campuran dari keduanya. *Truss* merupakan suatu struktur, terdiri dari beberapa *member* yang terhubung bersama untuk membentuk *framework*. Dapat juga dianggap sebagai penyanggah (tiang) dari suatu jembatan. *Pin joint* merupakan jenis sambungan yang bebas atau memungkinkan unsur-unsur dari sambungannya bergerak sesuai dengan arah sumbuinya. Sedangkan *rigid joint* merupakan jenis

sambungan yang mati sehingga tidak memungkinkan terjadinya gaya atau pergeseran di semua sumbu.

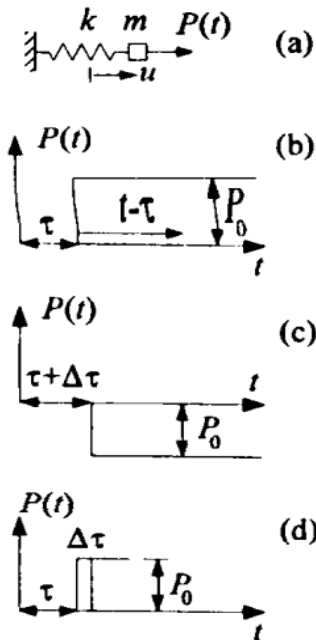


**Gambar 2.8** (a) *Simple-supported beam* (b) *pin support beam*  
 (c) *knife-edge support beam* (d) *slider support beam*  
 (e) *pinned slider support beam*<sup>[4]</sup>

Pada penelitian ini, akan digunakan 3 jenis tumpuan yang akan dikombinasikan, yaitu tumpuan yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8a** merupakan jenis tumpuan yang mati atau tidak memiliki defleksi baik translasi atau rotasi. **Gambar 2.8c** adalah gambar *knife-edge support beam*, jenis ini merupakan jenis tumpuan yang hampir sama dengan jenis (a) namun daerah yang statis atau tetapnya hanya berupa garis seperti ujung bilah pisau. **Gambar 2.8d** merupakan jenis tumpuan yang dapat bergerak atau bebas searah sumbu x.

## 2.6 Respon *Beam* dengan Pembebanan Berjalan Terhadap Waktu

Respon beam yang akan dihasilkan pada simulasi model berada dalam ranah waktu. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan analisis dan pada saat menerapkan keadaan-keadaan pemodelan yang diharapkan. Berikut ini akan dijelaskan beberapa respon yang akan dihasilkan dengan beberapa kondisi variable-variabelnya.



Gambar 2.9 Respon pada eksitasi step<sup>[4]</sup>

**Gambar 2.9a** menampilkan sebuah massa  $m$  yang terikat pada sebuah pegas dengan kekakuan  $k$  dan dikenai sebuah force  $P(t)$  yang tergantung waktu. Maka persamaan *displacement* untuk massa,  $u$ , adalah :

$$m \ddot{u} + k u = P(t) \quad (2.1)$$

Dimana  $\omega_n = \sqrt{k/m}$  adalah frekuensi natural dari system dan  $Q(t)$  adalah  $P(t)/m$ . sebuah force dengan intensitas yang tetap  $P_0$  diberikan pada saat  $t = \tau$ , jadi  $P(t)$  diberikan oleh fungsi step pada **Gambar 2.9b**. kondisi awal (saat  $t = \tau^-$ ) adalah pada saat massa tidak memiliki *displacement* dan kecepatan. Solusinya adalah :

$$u(t) = \frac{P_0}{k} \left[ 1 - \cos(\omega_n(t - \tau)) \right] \quad (2.2)$$

Dengan  $t = \tau^+$ . Serupa dengan keadaan dengan besaran force berupa  $-P_0$  yang diberikan pada waktu  $t = \tau^+$  seperti yang

ditampilkan pada **Gambar 2.9c**, solusi dari *displacement* nya akan menjadi :

$$\bar{u} \quad (2.3)$$

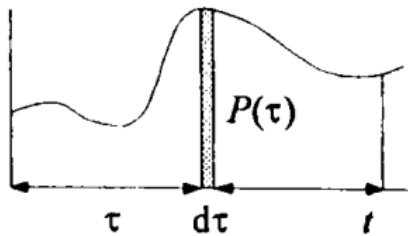
Kasus yang terjadi pada **Gambar 2.9d** terjadi pada saat besaran force  $P_0$  diberikan untuk interval waktu yang singkat. Hal tersebut berpengaruh pada respon berikutnya yang berarti penjumlahan dari dua contoh sebelumnya. Hal inilah yang menjadikan respon dinamis berbeda dengan respon statis dari sebuah analisis struktur beam. Solusinya menjadi :

$$\bar{u} + \int \bar{u} \quad s \quad (2.4)$$

Pada respon dari beragam besar.  $P(t)$  di **Gambar 2.10**, diperoleh *displacement* dengan mengintegalkan persamaan sesuai dengan waktu lamanya force tersebut diberikan, yaitu :

$$\bar{u} + \int \quad s \quad (2.5)$$

Solusi ini dikenal sebagai *Duhamel* atau konvolusi integral.



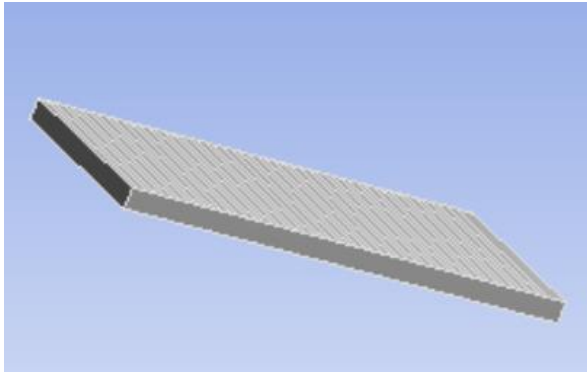
**Gambat 2.10** Konvolusi Integral dari Respon <sup>[4]</sup>

Nilai respon yang dihasilkan akan didapatkan dari perhitungan gaya yang diberikan pada permukaan *beam*. Sedangkan *sampling* nilai dapat diatur sesuai dengan seberapa luasan permukaan benda yang akan dikenai beban lalu dikonversi menjadi satuan waktu dan lamanya beban mengenai luasan daerah tersebut.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

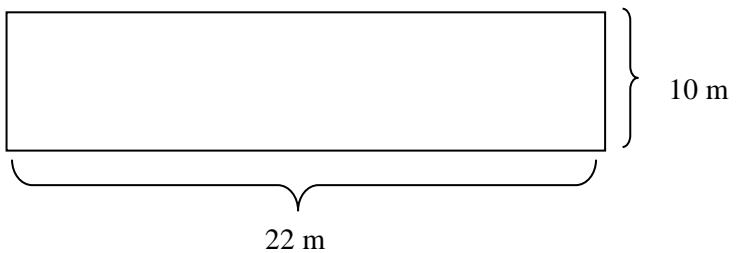
### 3.1 Pemodelan *Beam*

Langkah awal dalam simulasi sistem *bridge-vehicle* adalah dengan memodelkan beam jembatan atau badan jembatan yang akan dilewati kendaraan. Pemodelan fisis dilakukan langsung pada program ANSYS Workbench 15.0.



**Gambar 3.1** Pemodelan *beam* pada ANSYS WORKBENCH 15.0

**Gambar 3.1** menunjukkan pemodelan yang telah dibuat dengan panjang 22 meter dan lebar 10 meter. Permukaan beam telah dibagi menjadi 49 muka bagian kecil untuk mewakili setiap permukaan ban yang menyentuk jembatan.



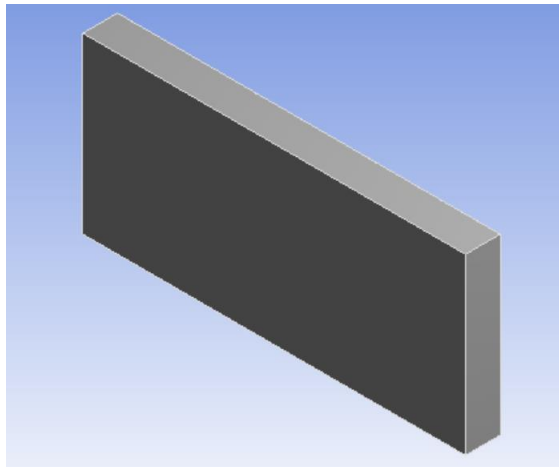
**Gambar 3.2** Geometri ukuran panjang dan lebar *beam*

Ukuran *beam* yang digunakan pada penelitian ini ditentukan dengan panjang sebesar 22 meter dan lebar 10 meter. Penentuan ukuran ini diambil dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Panjang *beam* harus mengimplementasikan jembatan yang dilalui oleh kendaraan besar seperti truk sehingga panjang jembatan harus dapat menampung kedua bagian ban (bagian dan bagian belakang) sebelum ban bagian depan meninggalkan jembatan.
- Panjang *beam* yang terlalu panjang dapat menyebabkan pembagian dan pemindahan *force* akan semakin rumit dan proses penyelesaian metode *finite element* yang digunakan akan semakin lama.
- Lebar ditentukan dengan melakukan observasi pada jembatan-jembatan sedang di daerah sekitar.

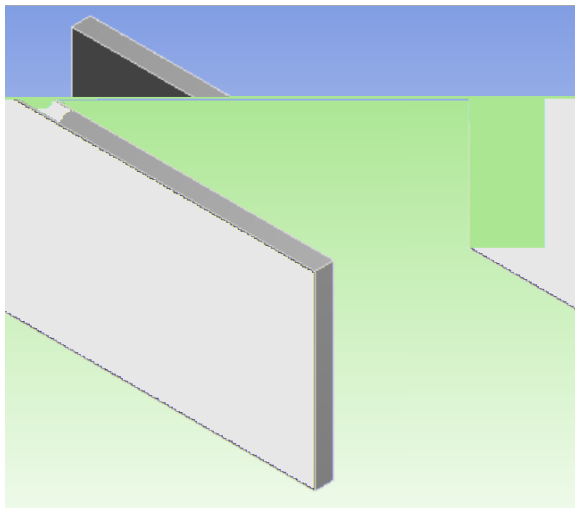
### 3.2 Variasi Ketebalan *Beam*

Ketebalan merupakan salah satu parameter *beam* yang divariasikan dalam penelitian ini. Ketebalan yang digunakan terdiri dari 2 meter, 1 meter dan 0.5 meter.

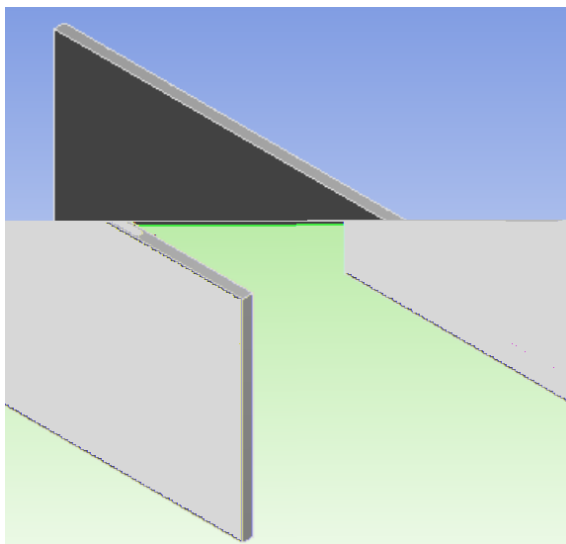


**Gambar 3.3** Ketebalan 2 meter pada *beam*





**Gambar 3.4** Ketebalan 1 meter pada *beam*



**Gambar 3.5** Ketebalan 0.5 meter pada *beam*

### 3.3 Variasi Tumpuan *Beam*

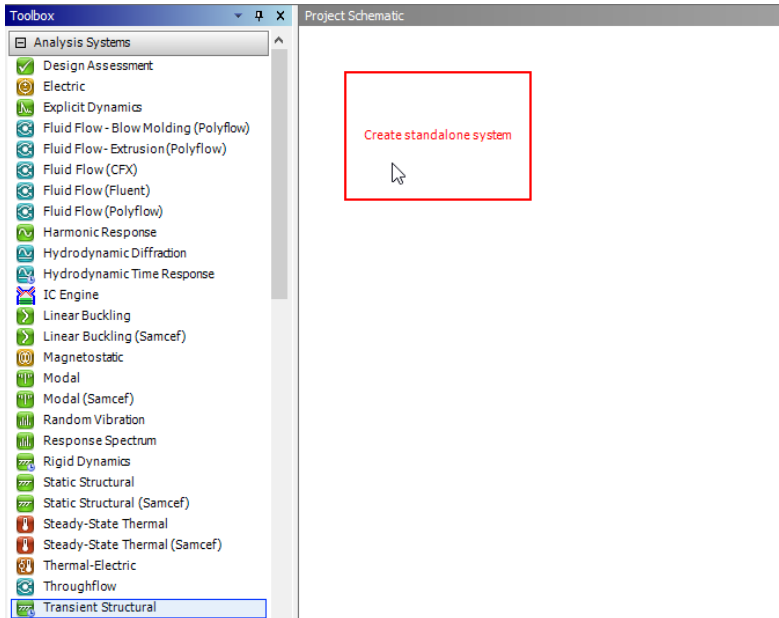
Digunakan tiga jenis kombinasi tumpuan pada setiap pemodelan. Berikut ini akan dijelaskan kombinasi-kombinasi pada setiap variasi.

- *Fixed Support Beam*  
Jenis ini terdiri dari jenis tumpuan *fixed support* pada kedua ujung *beam*.
- *Knife-Edge Support Beam*  
Jenis ini terdiri dari jenis tumpuan *knife-edge support beam* pada kedua ujung *beam*.
- *Slider Support Beam*  
Jenis ini terdiri dari dua jenis tumpuan *beam*. Pada ujung pertama, tempat kendaraan masuk pertama kali, adalah jenis *fixed support beam*. Sedangkan ujung satunya, tempat kendaraan keluar, merupakan jenis *slider support beam*.

### 3.4 Simulasi Pemodelan *Beam*

Langkah-langkah simulasi serta pemodelan akan dijelaskan dalam beberapa bagian, antara lain :

- a) Pemilihan sistem analisis  
Terdapat banyak sistem analisis yang disediakan oleh perangkat lunak ANSYS Workbench 15.0 yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan dan sistem yang akan dianalisis. Pada penelitian ini, digunakan sistem analisis *Structural Analysis*.



**Gambar 3.6** Pemilihan sistem analisis

b) Bagian-bagian utama simulasi



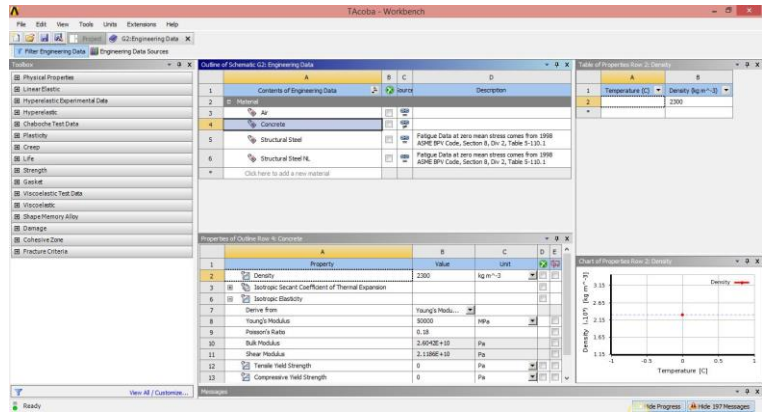
**Gambar 3.7** Bagian utama simulasi sistem *transient structural*

Bagian utama pemodelan menggunakan Ansys dapat dijelaskan oleh ketujuh bagian toolbox sistem.

1. Jenis sistem yang akan dimodelkan
2. Engineering data menyajikan pemilihan karakteristik dan data-data model yang akan dibuat.
3. Geometry merupakan bagian dari program Ansys yang digunakan untuk membuat geometri atau bentuk model yang diinginkan. Apabila kita ingin mengimport geometry dari program grafis lain, dapat dilakukan dengan mengubah tipe file menjadi STEP.
4. Model menentukan proses pembuatan dan pengaturan *mesh* yang kita inginkan.
5. Setup menyediakan berbagai gaya dan keadaan model yang kita kehendaki.
6. Solution merupakan tools yang digunakan untuk memilih hasil atau penyelesaian apa saja yang ingin kita dapatkan (contoh : deformasi, tegangan, regangan, dll)
7. Results menampilkan hasil-hasil penyelesaian yang telah dilakukan oleh Ansys.

c) *Engineering Data*

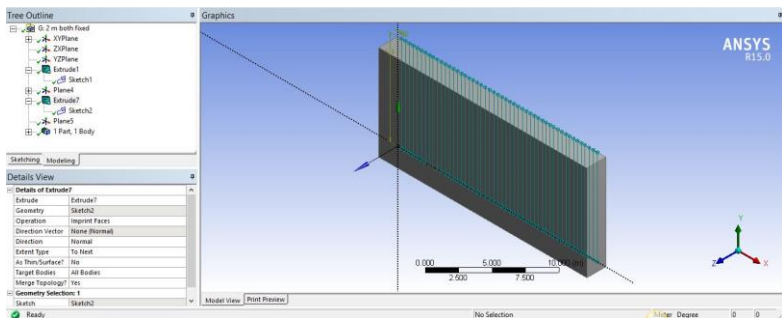
*Beam* merupakan salah satu bagian dari jembatan yaitu badan jalan jembatan. Untuk itu, data yang digunakan adalah *concrete* atau beton. Setelah kita memastikan bahwa jenis material concrete ada pada engineering data, kita dapat mengeluarkan jendela ini atau kembali pada Project Schematic.



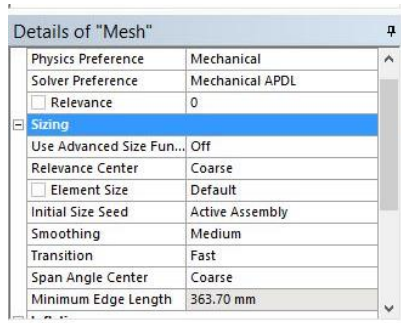
**Gambar 3.8** Pemilihan karakteristik material dan *engineering data* pada model

d) *Geometry*

Pada sesi *geometry* ini, kita membuat bentuk atau geometri dari *beam*. Karena kita akan membuat analisis transient (dinamis), kita harus membagi muka *beam* menjadi beberapa bagian (50 bagian) dengan menambahkan plane dan menggambar ulang diatas *beam* yang telah di-extrude.



**Gambar 3.9** Pembuatan geometri pada permukaan *beam*

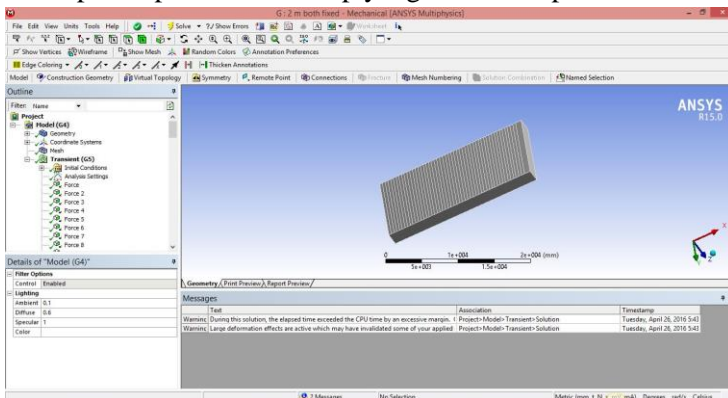
e) *Model*

**Gambar 3.10** Pengaturan *mesh* pada simulasi

Pada bagian in, kita dapat mengatur jumlah atau sifat dari *mesh* yang akan diterapkan untuk penyelesaian model yang dibuat.

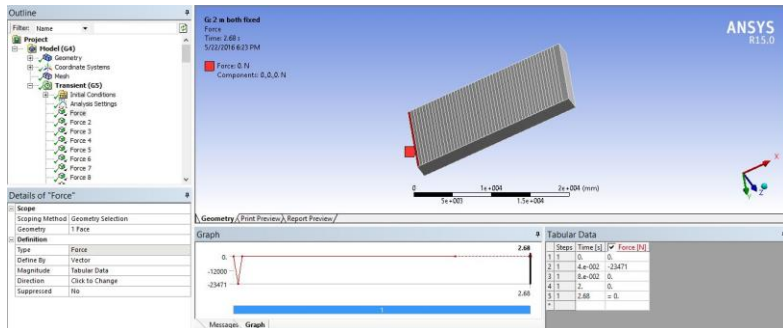
f) *Set Up*

Set Up merupakan salah satu bagian yang menyajikan berbagai keadaan baik gaya atau konstan yang akan dikenakan pada model yang akan kita buat. Berikut penampakan dari set-up yang dilakukan pada *beam*.



**Gambar 3.11** Pemodelan *beam*

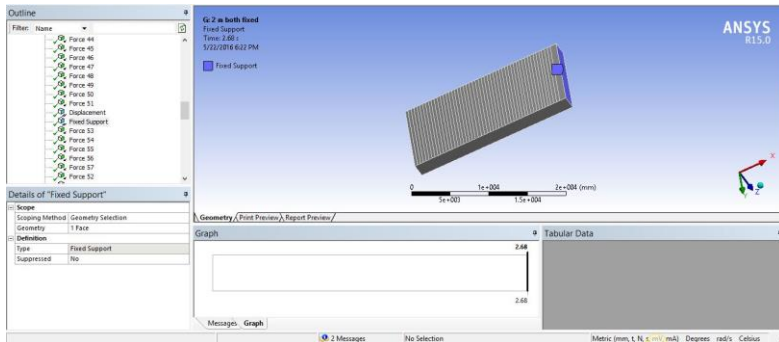
Kita dapat memasukkan berbagai gaya. Pada contoh kali ini, penulis memasukkan gaya berupa force dengan yang berpindah atau berjalan sesuai waktu



**Gambar 3.12** Pengaturan *force* pada model

Untuk tumpuan yang digunakan, kita dapat memilih berbagai macam tumpuan dengan cara klik kanan kemudian pilih support. Penulis menggunakan fix support atau tumpuan mati.

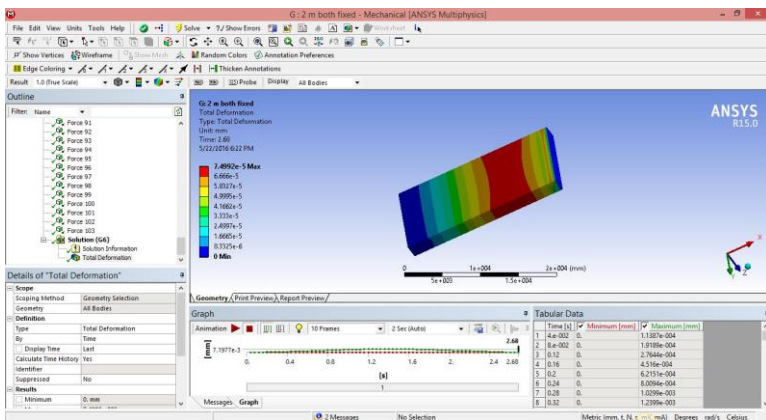
Pada bagian ini dimasukkan perbedaan waktu kedatangan ban depan dan ban belakang yang telah dihitung dan dikonversi dari jarak antara ban depan dan ban belakang. Jarak antara ban depan dan ban belakang adalah 7.65 meter. 7.65 meter dibagi pada setiap permukaan ban yang menyentuh jembatan sebesar 0.45 meter sebesar 17. Jadi setelah step ke 17 ban depan memasuki jembatan, ban kedua akan masuk, yaitu pada saat detik ke 0.68.



Gambar 3.13 Pengaturan tumpuan pada *beam*

g) *Solution*

Bagian solution memudahkan kita untuk mencari atau menampilkan penyelesaian apa saja yang dibutuhkan. Pada bagian ini penulis hanya ingin menampilkan solusi total deformasi yang terjadi pada *beam*.



Gambar 3.14 Hasil deformasi total pada *beam*



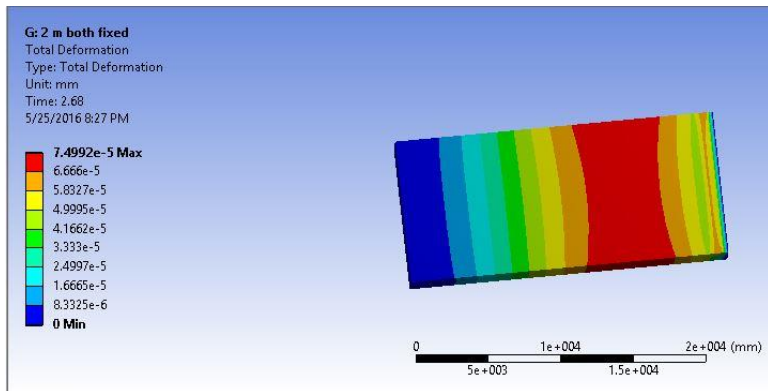
## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan tentang simulasi pemodelan *beam* dengan kendaraan berjalan, variasi parameter *beam*, dan verifikasi respon model setengah mobil. Salah satu parameter yang membedakan jenis *beam* adalah jenis tumpuannya. Dalam setiap jenis tumpuan akan dibandingkan lagi variasi ketebalan *beam*.

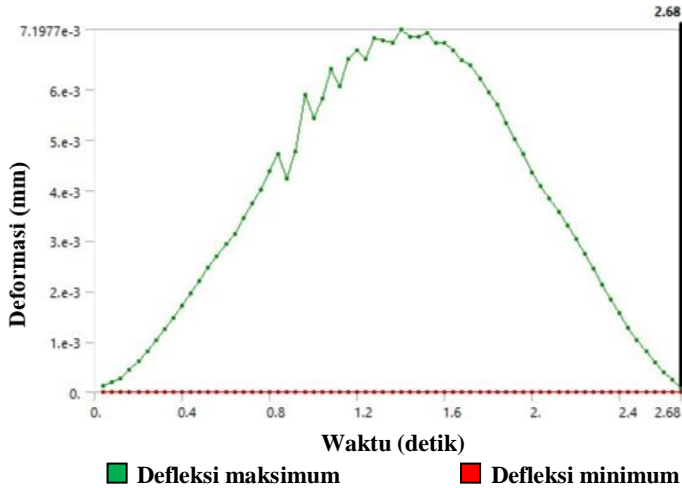
### 4.1 Respon *Fixed Support Beam*

Berikut ini adalah hasil respon *beam* dengan kedua ujung tumpuannya mati atau tidak ada perpindahan (deformasi) :

#### 4.1.1 Respon *Beam* Ketebalan 2 Meter



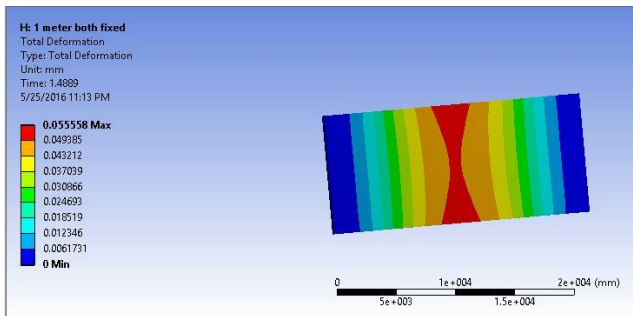
**Gambar 4.1** Kontur deformasi *fixed support beam* ketebalan 2 meter



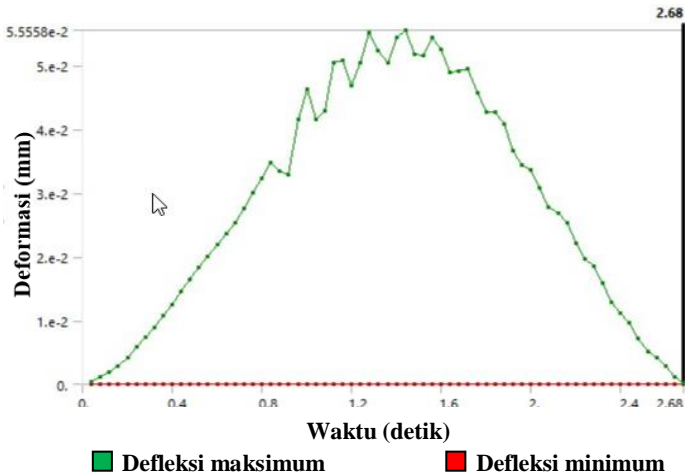
**Gambar 4.2** Respon *fixed support beam* ketebalan 2 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah  $7.20 \cdot 10^{-03}$  mm pada detik ke dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.84 ke detik 0.88 dengan nilai yang turun dari  $4.72 \cdot 10^{-03}$  mm ke  $7.24 \cdot 10^{-03}$  mm.

#### 4.1.2 Respon *Beam* Ketebalan 1 Meter



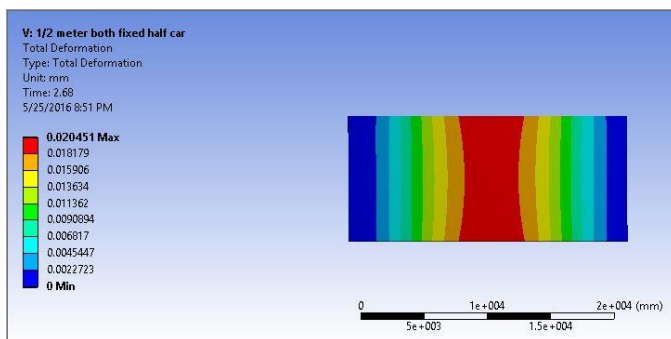
**Gambar 4.3** Kontur deformasi *fixed support beam* ketebalan 1 meter



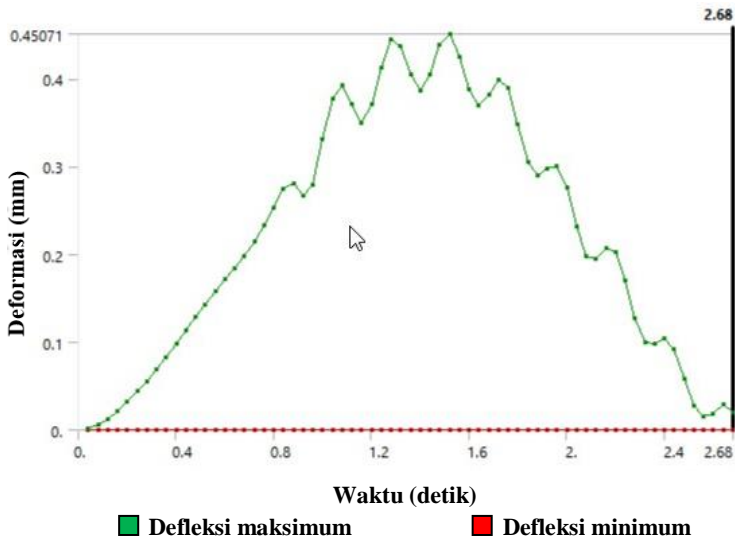
**Gambar 4.4** Respon *fixed support beam* ketebalan 1 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah  $7.20 \cdot 10^{-03}$  mm pada detik ke 1.44 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.84 ke detik 0.88 dengan nilai yang turun dari  $3.55 \cdot 10^{-03}$  mm ke  $3.28 \cdot 10^{-03}$  mm.

#### 4.1.3 Respon *Beam* Ketebalan 0.5 Meter



**Gambar 4.5** Kontur deformasi *fixed support beam* ketebalan 0.5 meter

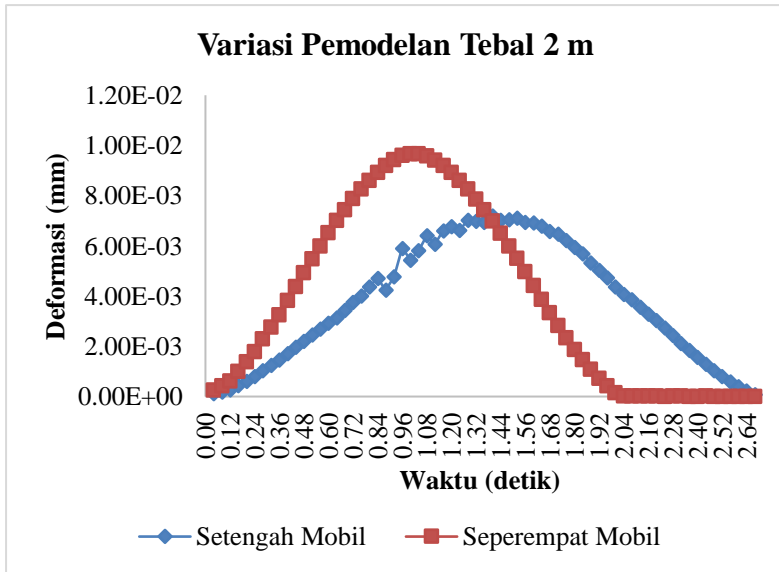


**Gambar 4.6** Respon *fixed support beam* ketebalan 0.5 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deforasinya nya adalah 0.451 mm pada detik ke 1.52 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.88 ke detik 0.92 dengan nilai yang turun dari 0.28 mm ke 0.26 mm.

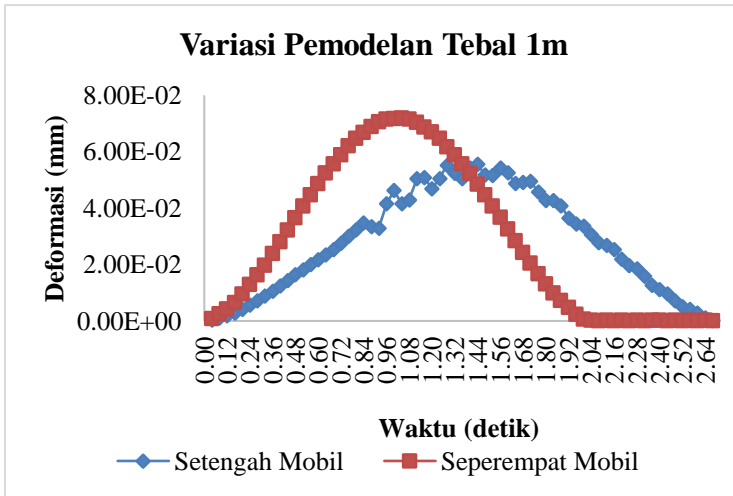
#### 4.1.4 Validasi Perbedaan Respon Model Setengah Mobil dan Seperempat Mobil pada *Fixed Support Beam*.

Validasi respon untuk pemodelan setengah mobil dilakukan dengan membandingkan respon yang diperoleh dari pemodelan setengah mobil dengan respon pemodelan mobil seperempat mobil. Berikut ini hasil perbandingan respon yang dilakukan untuk jenis *beam* dengan *fixed support*.



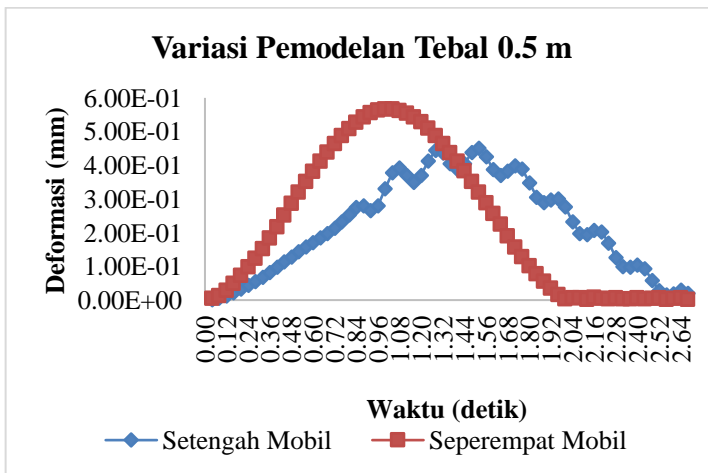
**Gambar 4.7** Perbandingan model pada ketebalan 2 meter

Pada **Gambar 4.7** terlihat pergeseran fasa pada respon deformasi *beam* dari pemodelan seperempat mobil yang dibandingkan dengan setengah mobil di semua variasi ketebalan. Pada pemodelan seperempat mobil *beam* dengan ketebalan 2 meter, titik maksimum deformasi terjadi pada detik ke 1 sampai 1.04. Namun pada pemodelan setengah mobil, puncak respon terdapat pada waktu ke 1.4 detik.



**Gambar 4.8** Perbandingan model pada ketebalan 1 meter

Untuk ketebalan 1 meter, titik maksimum deformasi pemodelan seperempat mobil terjadi pada detik ke 1.04. Namun pada pemodelan setengah mobil, puncak respon terdapat pada waktu ke 1.44 detik.



**Gambar 4.9** Perbandingan model pada ketebalan 0.5 meter

Sedangkan pada ketebalan 0.5 meter, titik maksimum deformasi terjadi pada detik ke 1 sampai 1.04. Namun pada pemodelan setengah mobil, puncak respon terdapat pada waktu ke 1.52 detik.

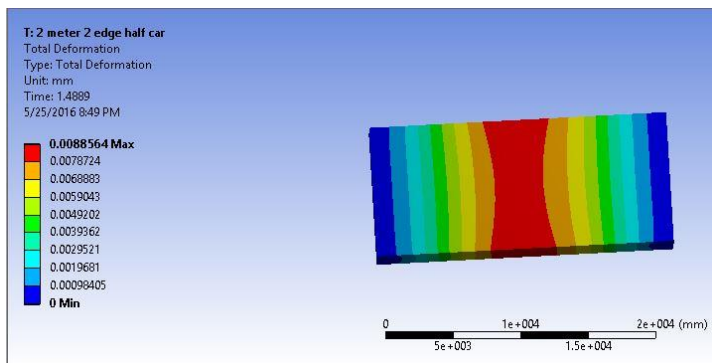
Terdapat perbedaan kedua pada setiap kombinasi ketebalan *beam* yang digunakan yaitu *trend* grafik yang berbeda. Semua variasi ketebalan model seperempat mobil memiliki *trend* yang halus atau tidak memiliki *ripple* sedangkan pemodelan setengah mobil memiliki *ripple*.

Hasil respon pemodelan setengah mobil tervalidasi karena terbukti berbeda dengan pemodelan seperempat mobil.

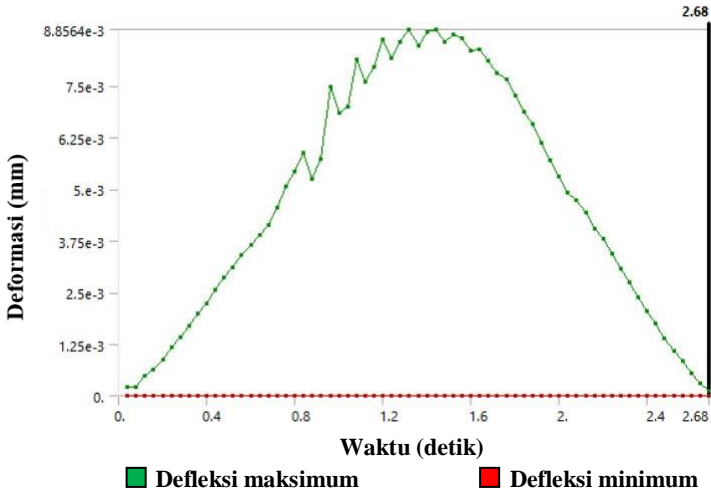
#### 4.2 Respon *Knife-Edge Support Beam*

Berikut ini adalah hasil respon *beam* dengan jenis *Knife-Edge Support* atau kedua tumpuannya terdiri dari dua ujung yang mati atau tidak ada pergeseran (deformasi) :

##### 4.2.1 Respon *Beam* Ketebalan 2 Meter



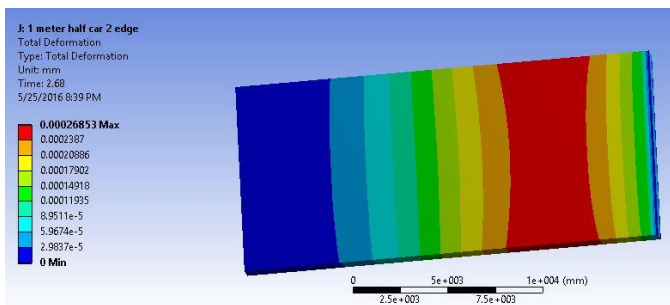
**Gambar 4.10** Kontur deformasi *knife-edge support beam* dengan ketebalan 2 meter



**Gambar 4.11** Respon *knife-edge support beam* pada ketebalan 2 meter

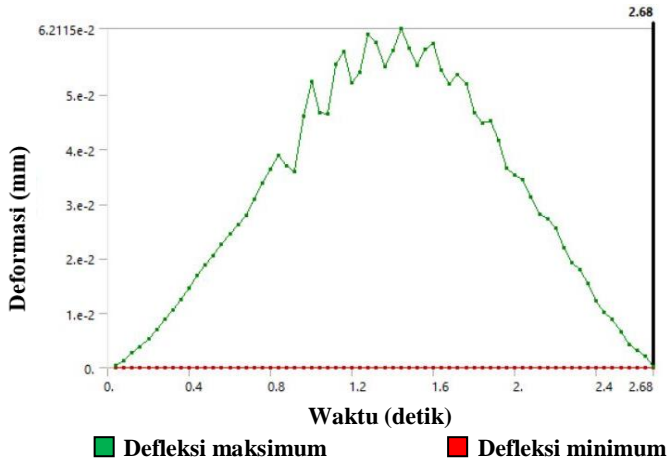
Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah  $8.86 \cdot 10^{-03}$  mm pada detik ke 1.44 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.84 ke detik 0.88 dengan nilai yang turun dari  $5.86 \cdot 10^{-03}$  mm ke  $5.23 \cdot 10^{-03}$  mm.

#### 4.2.2 Respon *Beam* Ketebalan 1 Meter



**Gambar 4.12** Kontur deformasi *knife-edge support beam* dengan ketebalan 1 meter

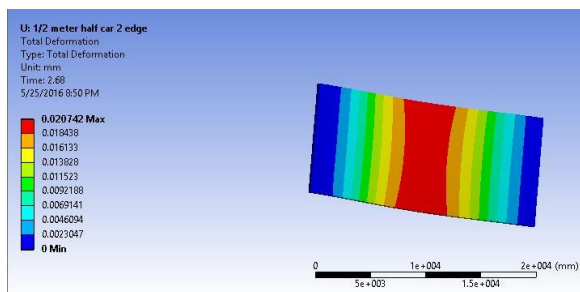




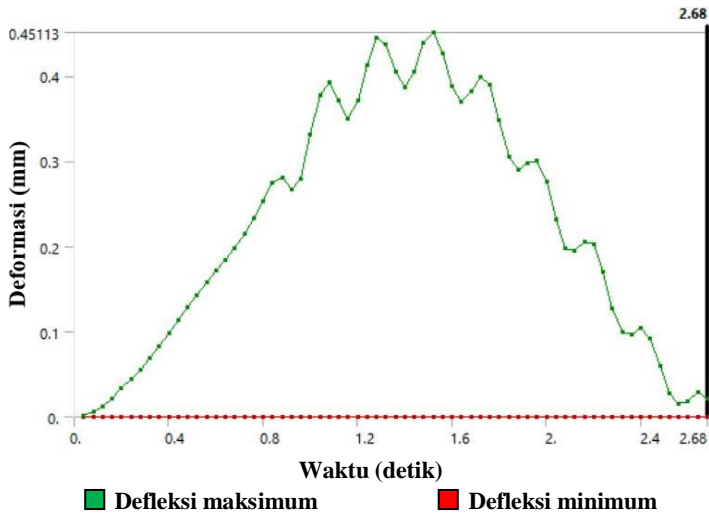
**Gambar 4.13** Respon *knife-edge support beam* pada ketebalan 1 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah  $6.21 \cdot 10^{-02}$  mm pada detik ke 1.44 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.84 ke detik 0.88 dengan nilai yang turun dari  $3.88 \cdot 10^{-02}$  mm ke  $3.71 \cdot 10^{-02}$  mm. Pada detik tersebut, beban baru yang berasal dari ban ke dua dari kendaraan masuk.

#### 4.2.3 Respon *Beam* Ketebalan 0.5 Meter



**Gambar 4.14** Kontur deformasi *knife-edge support beam* dengan ketebalan 0.5 meter

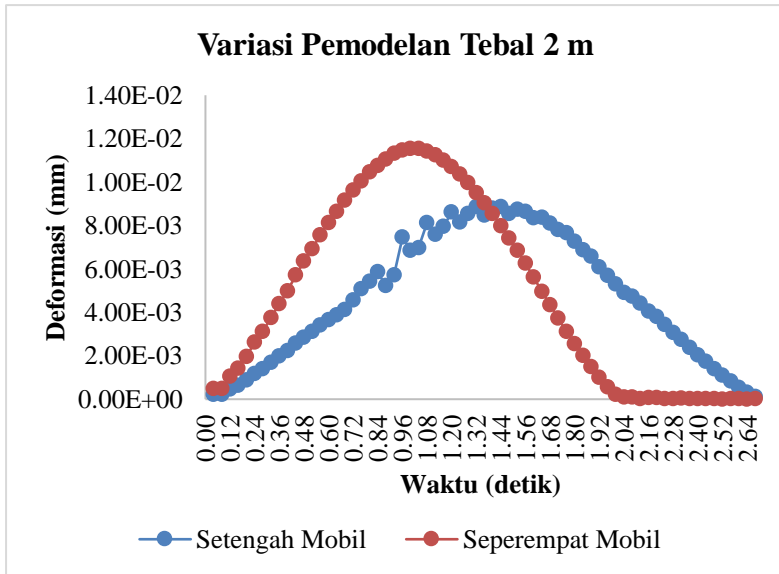


**Gambar 4.15** Respon *knife-edge support beam* pada ketebalan 0.5 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah 0.451 mm pada detik ke 1.52 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.88 ke detik 0.92 dengan nilai yang turun dari 0.28 mm ke 0.26 mm.

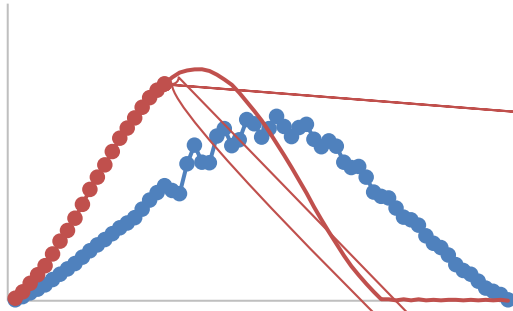
#### 4.2.4 Validasi Perbedaan Respon Model Setengah Mobil dan Seperempat Mobil pada *Knife-Edge Support Beam*

Berikut ini hasil perbandingan respon yang dilakukan untuk jenis *beam* dengan *knife-edge support beam*.



**Gambar 4.16** Perbandingan model pada ketebalan 2 meter

Pada **Gambar 4.16** terlihat pergeseran fasa pada respon deformasi *beam* dari pemodelan seperempat mobil yang dibandingkan dengan setengah mobil di semua variasi ketebalan. Pada pemodelan seperempat mobil *beam* dengan ketebalan 2 meter, titik maksimum deformasi terjadi pada detik 1.04. Namun pada pemodelan setengah mobil, puncak respon terdapat pada waktu ke 1.44 detik.



**Gambar 4.17** Perbandingan model pada ketebalan 1 meter

Untuk ketebalan 1 meter, titik maksimum deformasi pemodelan seperempat mobil terjadi pada detik ke 1.04. Namun pada pemodelan setengah mobil, puncak respon terdapat pada waktu ke 1.44 detik.

**Gambar 4.18** Perbandingan model pada ketebalan 0.5 meter

Sedangkan pada ketebalan 0.5 meter, titik maksimum deformasi terjadi pada detik ke 1.04. Namun pada pemodelan setengah mobil, puncak respon terdapat pada waktu ke 1.52 detik.

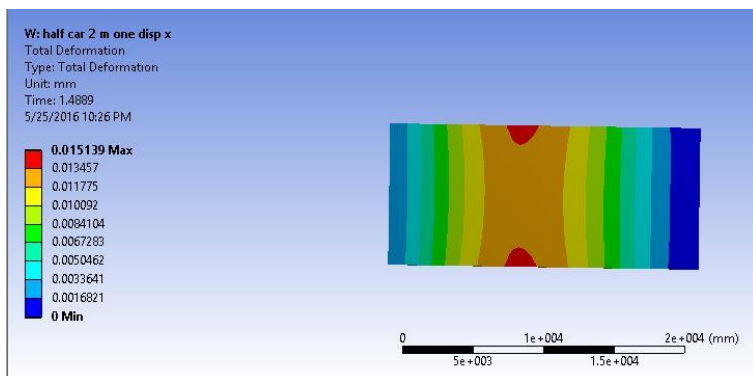
Perbedaan yang dapat dilihat dari jenis *beam* ini hampir sama dengan jenis *beam fixed support* yaitu perbedaan *trend* grafik kedua model dan titik deformasi terbesarnya. Semua variasi ketebalan model seperempat mobil memiliki *trend* yang halus atau tidak memiliki *ripple* sedangkan pemodelan setengah mobil memiliki *ripple*. Perbedaan titik deformasi terbesar pada jenis *beam* ini juga sama dengan jenis *beam fixed support*. Titik deformasi model seperempat mobil berada pada detik ke 1.04 pada ketiga ketebalan.

Hasil respon pemodelan setengah mobil tervalidasi karena terbukti berbeda dengan pemodelan seperempat mobil.

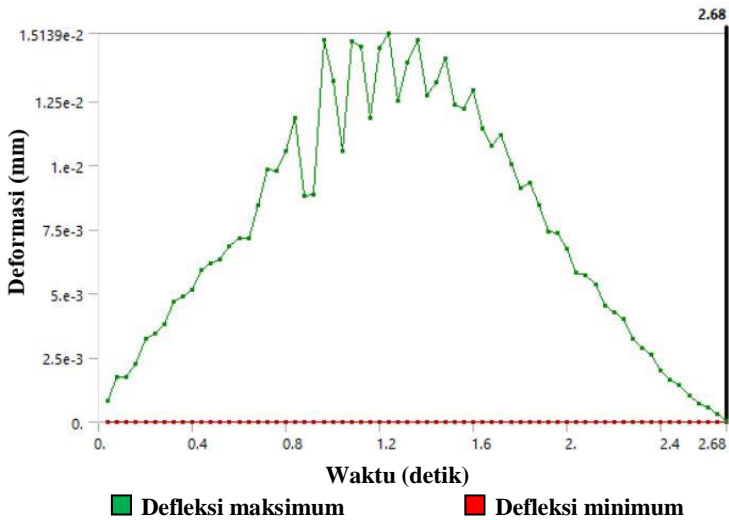
### 4.3 Respon *Slider Support Beam*

Berikut ini adalah hasil respon *beam* dengan salah satu ujung bebas :

#### 4.3.1 Respon *Beam* Ketebalan 2 Meter



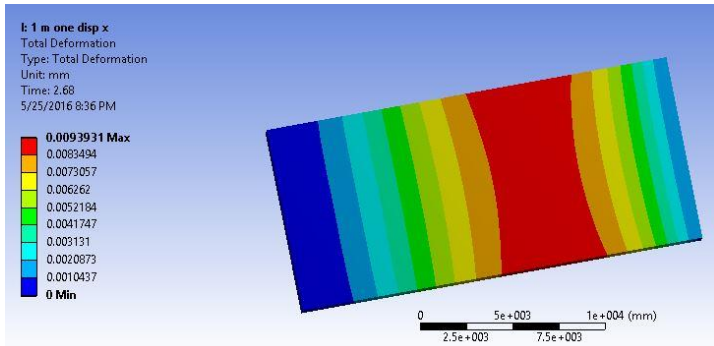
**Gambar 4.19** Kontur deformasi *slider support beam* pada ketebalan 2 meter



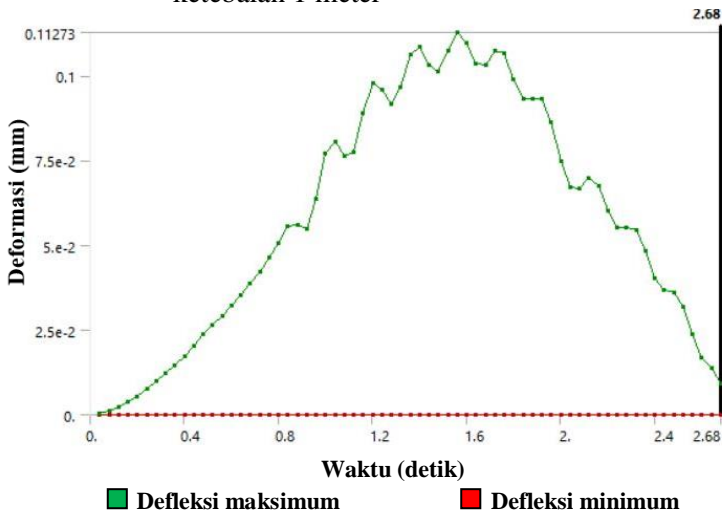
**Gambar 4.20** Respon *slider support beam* pada ketebalan 2 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deforasinya nya adalah  $1.51 \cdot 10^{-02}$  mm pada detik ke 1.24 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.84 ke detik 0.88 dengan nilai yang turun dari  $1.18 \cdot 10^{-02}$  mm ke  $8.8 \cdot 10^{-03}$  mm.

#### 4.3.2 Respon *Beam* Ketebalan 1 Meter



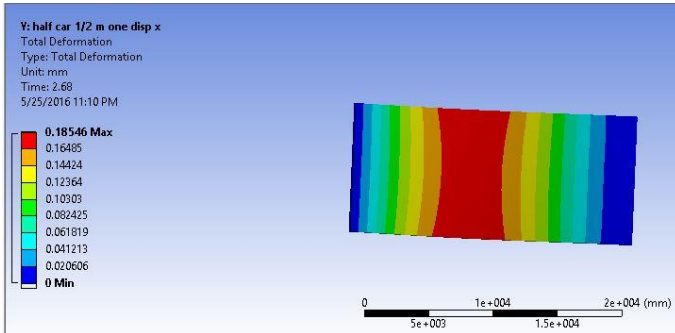
**Gambar 4.21** Kontur deformasi *slider support beam* pada ketebalan 1 meter



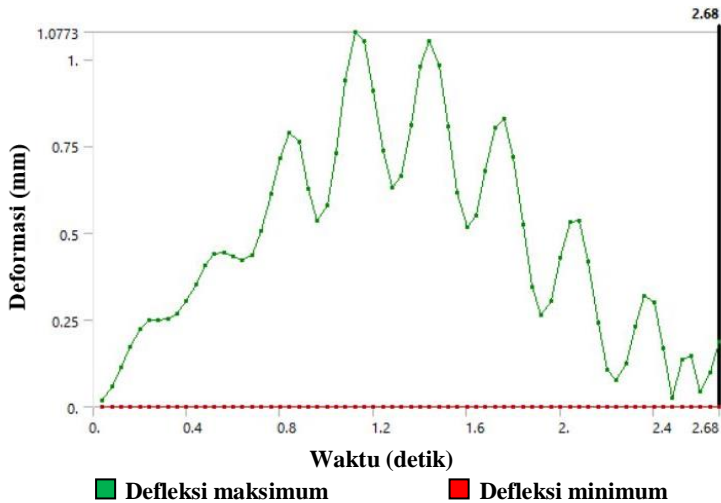
**Gambar 4.22** Respon *slider support beam* pada ketebalan 1 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah  $1.29 \cdot 10^{-02}$  mm pada detik ke 1.2 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.84 ke detik 0.88 dengan nilai yang turun dari  $8.65 \cdot 10^{-02}$  mm ke  $7.75 \cdot 10^{-02}$  mm.

### 4.3.3 Respon *Beam* Ketebalan 0.5 Meter



**Gambar 4.23** Kontur deformasi *slider support beam* pada ketebalan 0.5 meter



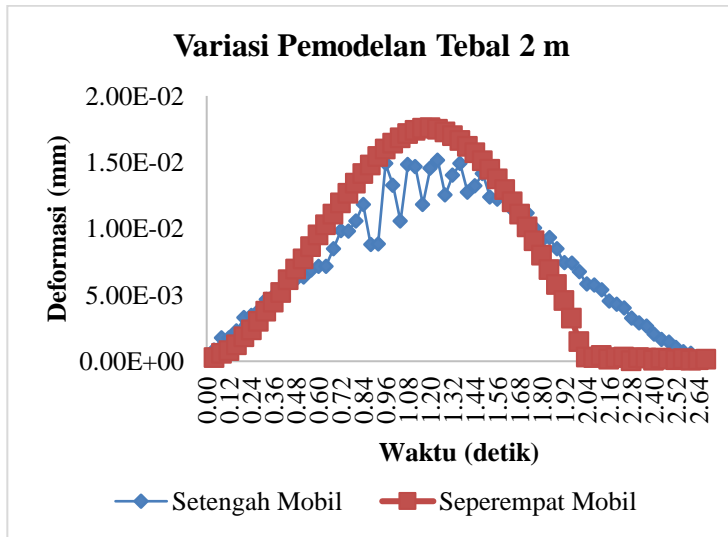
**Gambar 4.24** Respon *slider support beam* pada ketebalan 0.5 meter

Dari hasil respon yang ditampilkan, nilai maksimum deformasinya nya adalah 1.08 mm pada detik ke 1.12 dan waktu pertama respon mengalami *ripple* adalah detik ke 0.88 ke detik 0.92 dengan nilai yang turun dari 0.76 mm ke 0.63 mm.



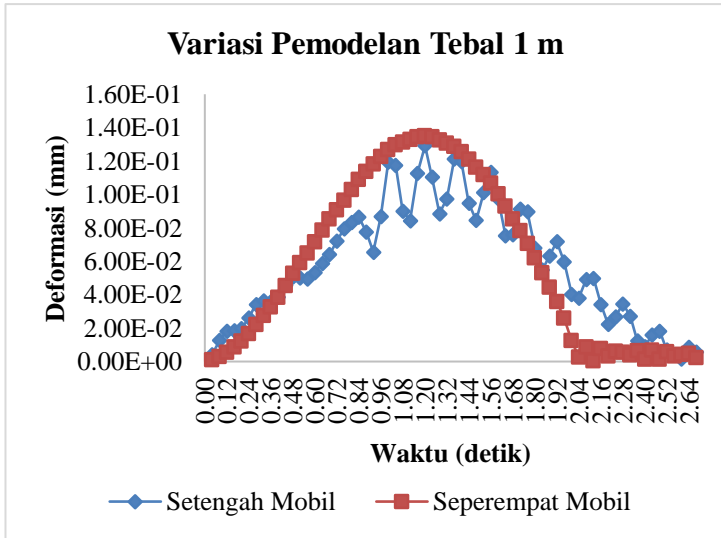
#### 4.3.4 Validasi Perbedaan Respon Model Setengah Mobil dan Seperempat Mobil pada *Slider Support Beam*

Berikut ini hasil perbandingan respon yang dilakukan untuk jenis *beam* dengan satu ujung bebas.

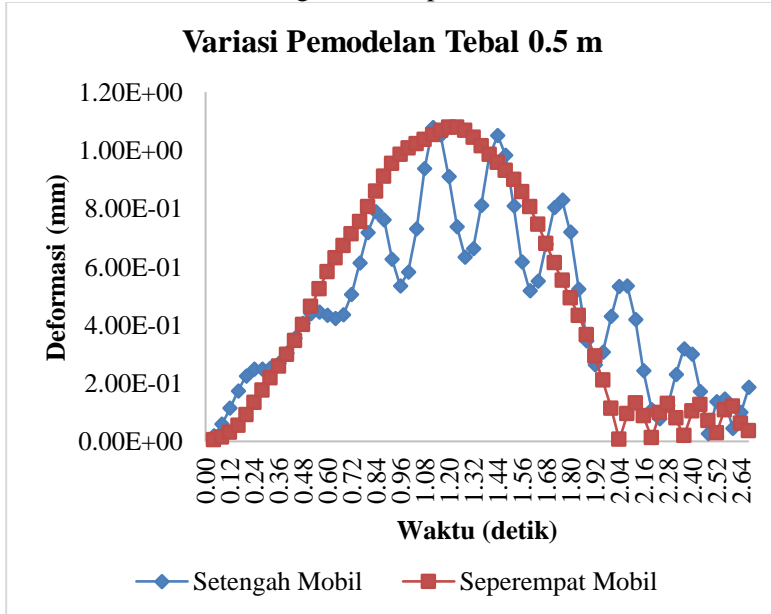


**Gambar 4.25** Perbandingan model pada ketebalan 2 meter

Berbeda dengan kedua jenis tumpuan sebelumnya, pada **Gambar 4.25** tidak terlihat terlalu terlihat perbedaan fasa dari hasil respon *beam* antara pemodelan seperempat dan setengah mobil. Meskipun begitu, nilai maksimum deformasi dari kedua pemodelan tersebut masih terletak pada titik waktu yang berbeda. Pemodelan seperempat mobil memiliki deformasi terbesar pada detik ke 1.04. Sedangkan pada pemodelan setengah mobil, deformasi terbesar terletak pada waktu ke 1.24 detik.



**Gambar 4.26** Perbandingan model pada ketebalan 1 meter

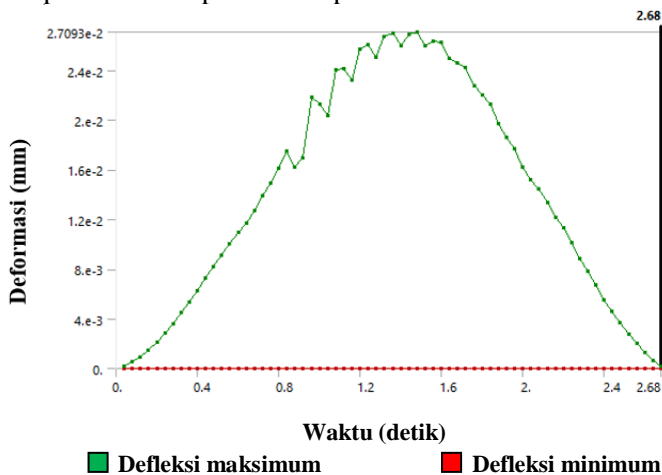


**Gambar 4.27** Perbandingan model pada ketebalan 0.5 meter

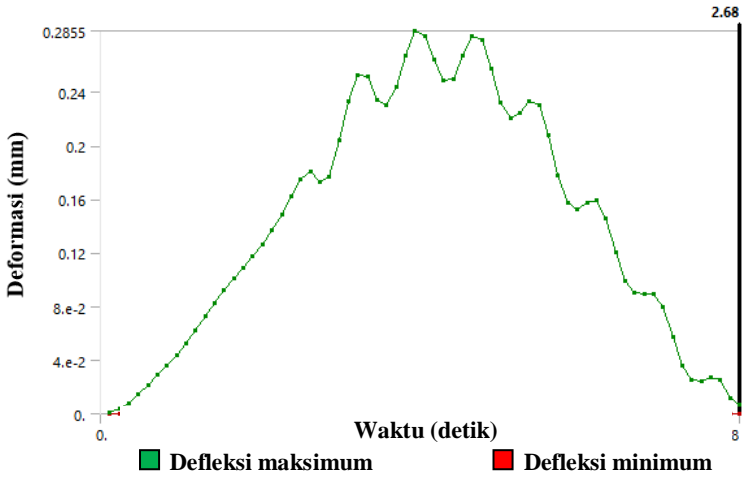
Berbeda dari kedua jenis sebelumnya, jenis *beam* ini hanya memiliki satu perbedaan antara respon pemodelan setengah mobil dan seperempat mobil. Perbedaannya adalah *trend* grafik antara kedua model. Pemodelan seperempat mobil memiliki bentuk grafik yang halus atau tidak memiliki *ripple*. Sedangkan pemodelan setengah mobil memiliki *ripple*. Hasil respon pemodelan setengah mobil tervalidasi karena terbukti berbeda dengan pemodelan seperempat mobil.

#### 4.4 Perbandingan Respon *Beam* dengan Variasi Modulus Elastisitas

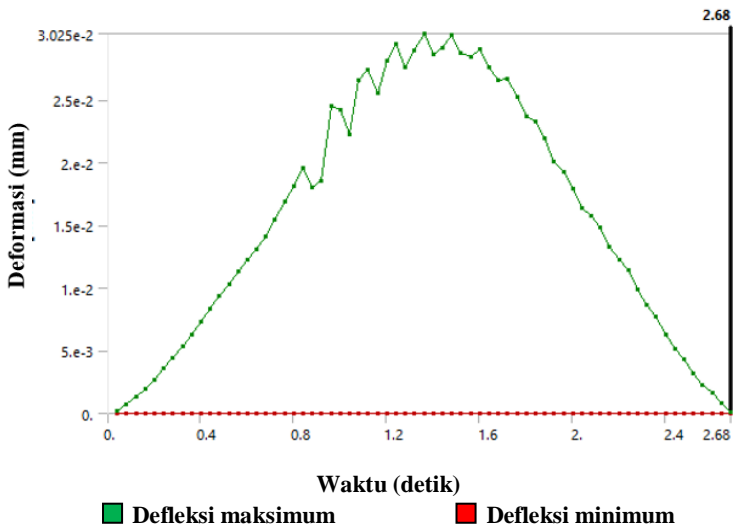
Telah dilakukan simulasi berikutnya pada setiap jenis tumpuan *beam* yang dianalisis pada penelitian ini, menggunakan tiga nilai modulus elastisitas yang berbeda. Nilai E (Modulus Elastisitas) pertama merupakan nilai yang digunakan pada semua model simulasi, sesuai dengan *database* Program ANSYS 15.0 yaitu sebesar 50000 MPa atau  $5 \cdot 10^{10}$  Pa. Sedangkan variasi kedua diubah nilai E nya menjadi 10000MPa atau  $1 \cdot 10^{10}$  Pa juga variasi ketiga menjadi 100000MPa atau  $10^{11}$  Pa. Berikut ini akan ditampilkan beberapa hasil respon dari *beam*.



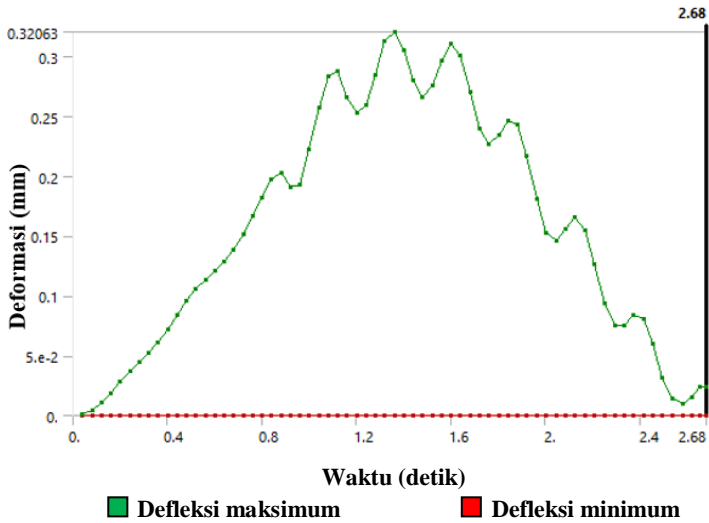
**Gambar 4.28** Respon *fixed support beam* dengan  $E=10^{11}$  Pa



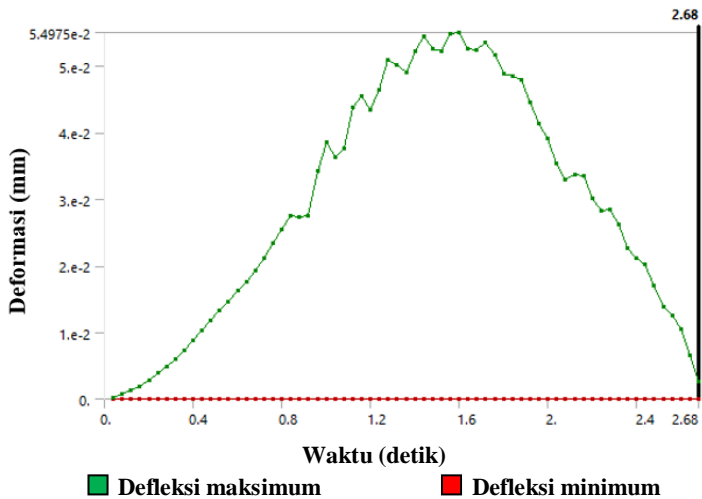
Gambar 4.29 Respon *fixed support beam* dengan  $E=10^{10}$  Pa



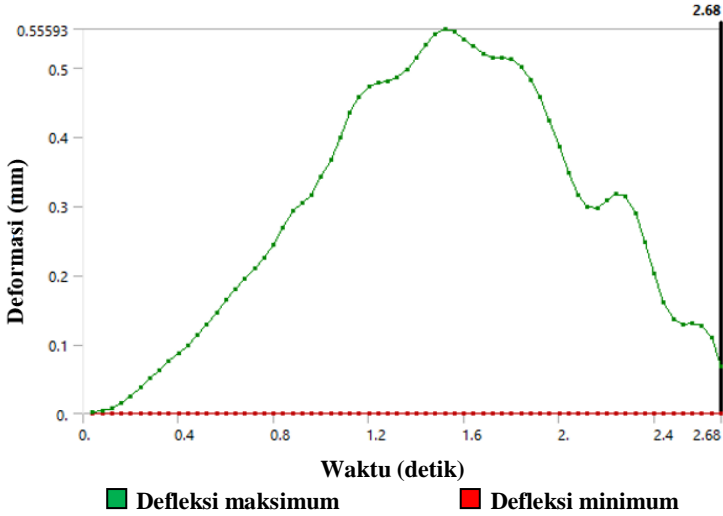
Gambar 4.30 Respon *knife-edge support beam* dengan  $E=10^{11}$  Pa



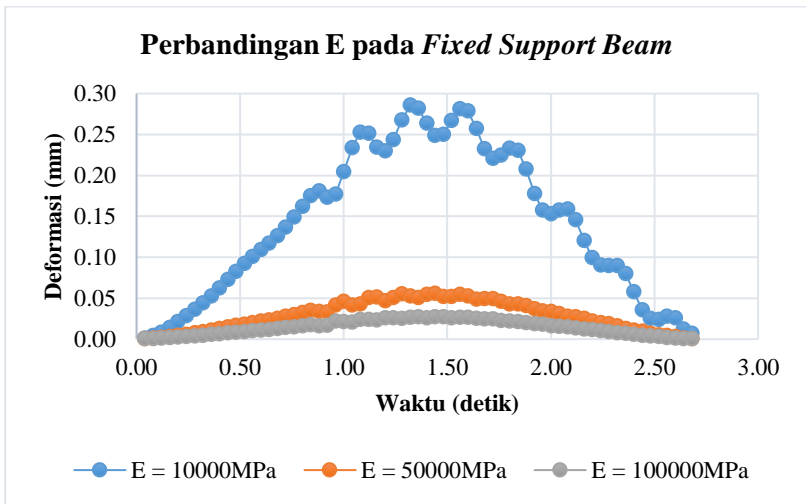
**Gambar 4.31** Respon *knife-edge support beam* dengan  $E=10^{10}$  Pa



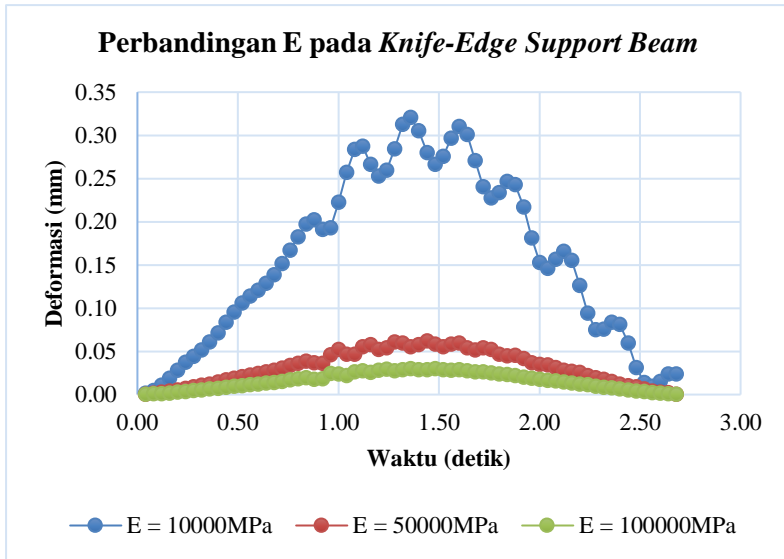
**Gambar 4.32** Respon *slier support beam* dengan  $E=10^{11}$  Pa



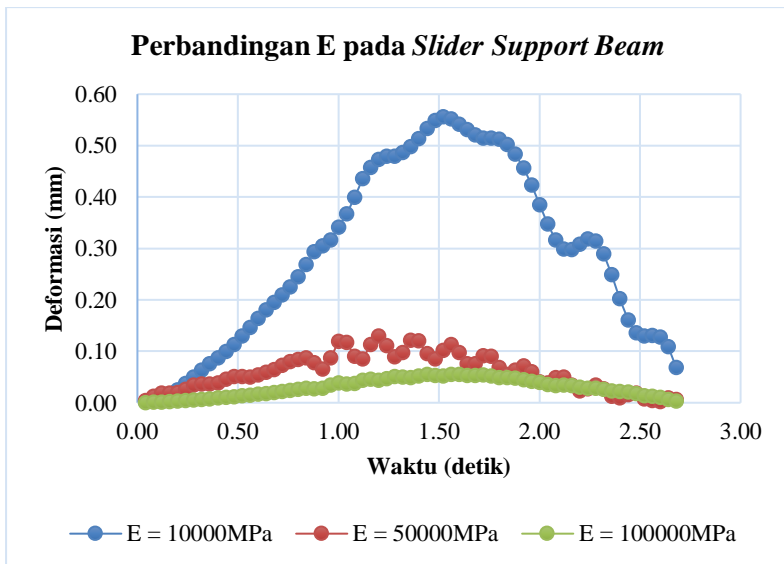
Gambar 4.33 Respon slier support beam dengan  $E=10^{10}$  Pa



Gambar 4.34 Perbandingan E pada fixed support beam



**Gambar 4.35** Perbandingan E pada *knife-edge support beam*



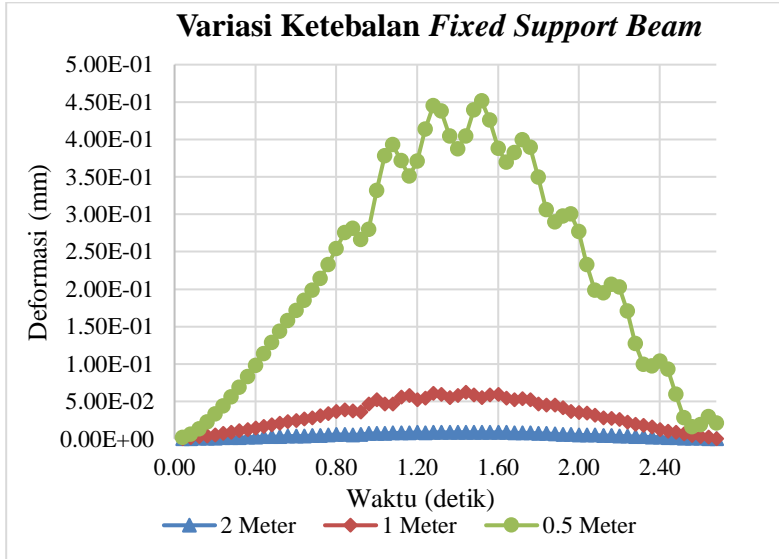
**Gambar 4.36** Perbandingan E pada *slider support beam*

Melalui hasil yang terlihat pada **Gambar 4.34, 4.35, dan 4.36**, terlihat hubungan antara Modulus Elastisitas ( $E$ ) dengan deformasi *beam*. Terlihat perbedaan yang sangat mencolok pada saat  $E$  diubah menjadi sangat kecil yaitu saat 10000 MPa atau  $10^{10}$  Pa. Namun, perubahan deformasi yang terjadi masih memiliki *trend* atau bentuk grafik yang sama di setiap variasi  $E$  yang digunakan.

Hal ini membuktikan bahwa besar defleksi *beam* bergantung pada modulus elastisitas ( $E$ ) yang digunakan. Hubungan yang berbanding terbalik diantara keduanya membuat hasil deformasi yang semakin besar apabila struktur *beam* memiliki nilai  $E$  yang semakin kecil.

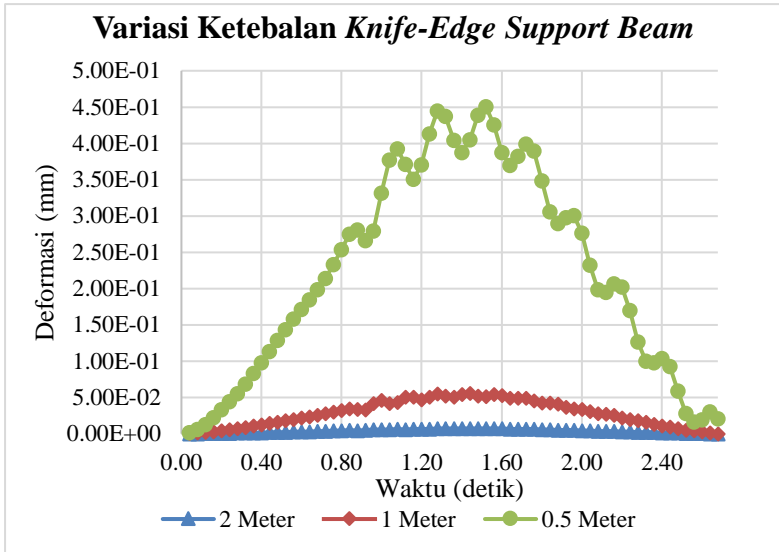
#### 4.5 Perbandingan Variasi Ketebalan pada Setiap jenis *Beam*

Ketebalan merupakan salah satu parameter *beam* yang akan dianalisis responnya. Berikut ini akan disajikan hasil perbandingan respon *beam* dengan variasi ketebalan.

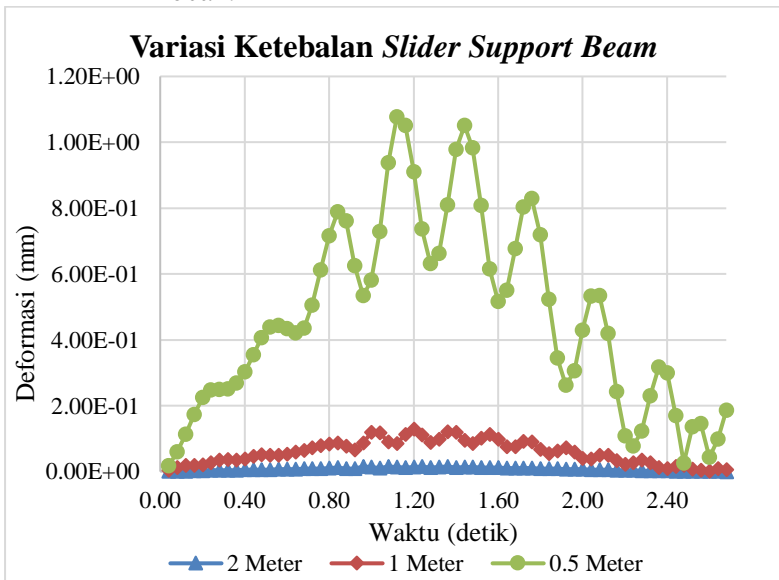


**Gambar 4.37** Perbandingan ketebalan pada *beam fixed support*





**Gambar 4.38** Perbandingan ketebalan pada *knife-edge support beam*

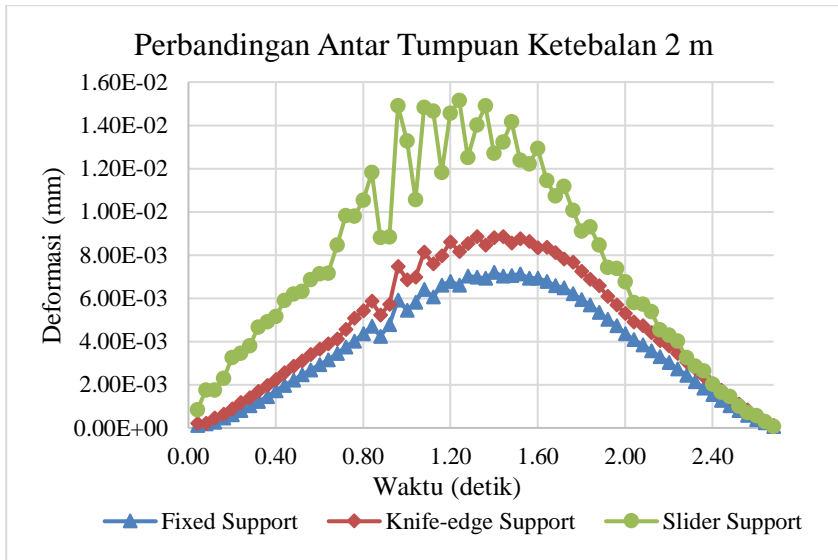


**Gambar 4.39** Perbandingan ketebalan pada *slider support beam*

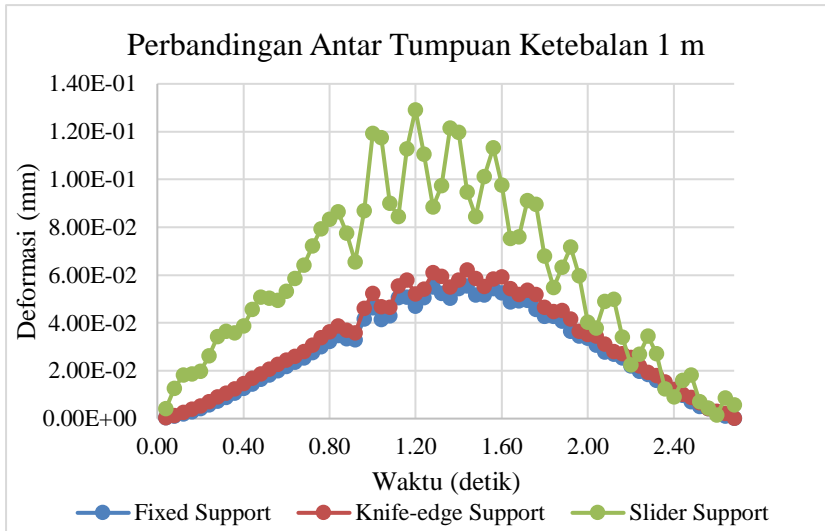
**Gambar 4.28, Gambar 4.29, dan Gambar 4.30** menunjukkan bahwa terdapat perbedaan respon antara tiga variasi ketebalan di setiap jenis tumpuan *beam*. Perbedaannya adalah besarnya nilai deformasi yang diperoleh dan deformasi terbesar dalam setiap ketebalan. Ketebalan 2 meter memiliki deformasi sangat kecil sehingga terlihat seperti garis lurus saja padahal masih ada deformasi yang terjadi pada ketebalan tersebut. Deformasi terbesar tentunya terjadi pada ketebalan 0.5 meter atau ketebalan tertipis pada *beam*.

#### 4.6 Perbandingan Variasi Tumpuan pada Setiap Ketebalan

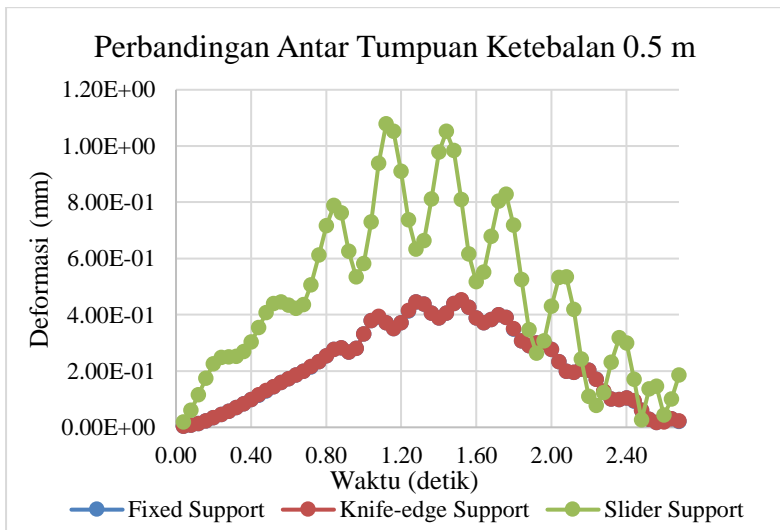
Berikut ini akan disajikan dampak perbedaan jenis tumpuan pada respon *beam* di setiap ketebalan.



**Gambar 4.40** Perbandingan tumpuan *beam* pada ketebalan 2 meter



**Gambar 4.41** Perbandingan tumpuan *beam* pada ketebalan 1 meter



**Gambar 4.42** Perbandingan tumpuan *beam* pada ketebalan 0.5 meter

Perbandingan yang sangat terlihat terjadi antara jenis tumpuan *beam* dengan satu ujung bebas dengan dua jenis lainnya. Sedangkan antara jenis *fixed support* dan tumpuan di keempat ujung tidak terlihat signifikan, bahkan pada ketebalan 0.5 meter, grafik *fixed support* tertutup seluruhnya oleh grafik jenis *beam* dengan tumpuan di keempat ujungnya.

Perbedaan terjadi pada besarnya deformasi keseluruhan dan deformasi terbesar yang terjadi pada setiap tumpuan. Deformasi terbesar terjadi pada jenis tumpuan *slider support beam*.

#### 4.7 Pembahasan

Terdapat salah satu ciri utama dalam respon pembebanan berjalan dengan pemodelan setengah mobil, adanya osilasi atau ripple pada beberapa bagian.

Osilasi ini disebabkan oleh datangnya gelombang baru yang diimplementasikan oleh ban belakang dari kendaraan yang membentuk gelombang sama yang mirip dengan gelombang yang dibuat oleh ban depan namun memiliki beda fasa yang berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa beban yang berjalan pada jembatan dengan hanya model setengah mobil, telah menambahkan getaran pada *beam* (jembatan).

Perbedaan antara hasil respon pemodelan setengah dan seperempat mobil yang telah diulas singkat sebelumnya terjadi karena pada dasarnya kedua gelombang yang merambat di jembatan sangat berbeda. Gelombang yang merambat pada *beam* dengan model seperempat mobil merupakan gelombang tunggal yang hanya memiliki satu fasa. Namun pada respon *beam* dengan pemodelan setengah mobil, terdapat dua gelombang yang merambat pada *beam* dengan waktu datang yang berbeda sehingga membuat respon pada model ini mengalami pergeseran fasa jika dibandingkan dengan pemodelan seperempat mobil.

Deformasi terbesar dari semua variasi adalah jenis pemodelan *beam* dengan tipe tumpuan *slider support* ketebalan 0.5 meter. Hal ini terjadi karena ujung *beam* yang bergerak bebas searah sumbu x, defleksi yang terjadi lebih besar sehingga besar

deformasi maksimum dan osilasi yang terjadi cenderung lebih besar daripada jenis lainnya.

Terdapat satu hubungan dalam teori elastisitas yaitu besar defleksi dari sebuah pegas, baik berupa kawat atau *beam*, adalah berbanding lurus dengan *force* ( $F$ ) yang diberikan kepada pegas tersebut <sup>[8]</sup>. Hubungan antara defleksi dari *beam* dan *force* adalah kekakuan *beam*, yang digambarkan dengan rumus berikut.

$$k = \frac{F}{\delta} \quad 4.1$$

Keterangan

$k$  = kekakuan *beam* (N/mm)

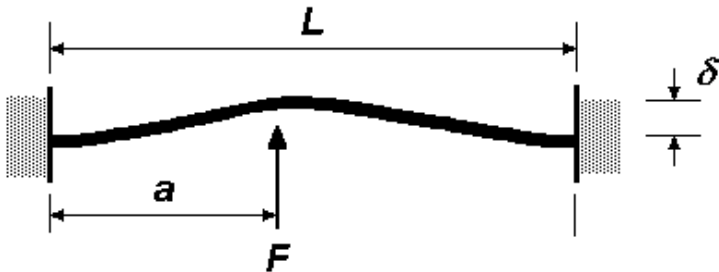
$F$  = *force* (N)

$\delta$  = defleksi (mm)

Matriks kekakuan *beam* dipengaruhi oleh panjang, material, dan bentuk cross-sectional dari *beam* <sup>[8]</sup>. Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan dari *beam* akan mempengaruhi besar defleksi yang akan terjadi pada *beam*.

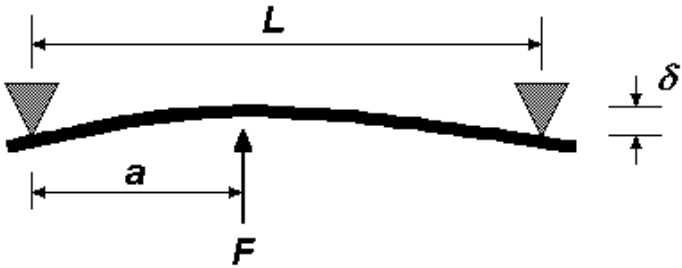
Penjelasan mengenai hubungan ketebalan *beam* dengan besar defleksi dari *beam* dapat pula diperoleh dengan melihat hubungan antara perhitungan defleksi secara manual dengan momen inersia dari *beam*.

Terdapat tiga rumus perhitungan manual defleksi dari *beam* untuk masing-masing jenis tumpuan *beam*.



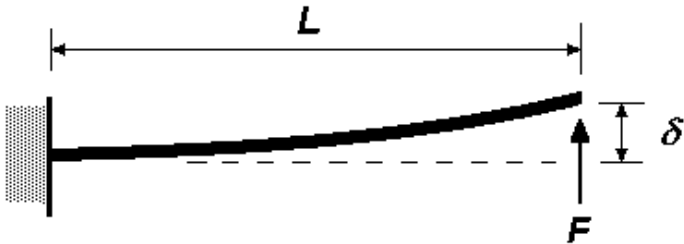
**Gambar 4.43** Deformasi pada tumpuan *fixed* <sup>[8]</sup>

$$\delta = \frac{2Fa^3(L-a)^2}{3EI(2a+L)^2} \quad 4.2$$



**Gambar 4.44** Deformasi pada tumpuan *knife-edge* <sup>[8]</sup>

$$\delta = \frac{Fa^2(L-a)^2}{3EIL} \quad 4.3$$



**Gambar 4.45** Deformasi pada tumpuan *slider* <sup>[8]</sup>

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad 4.4$$

Keterangan

$\delta$  = defleksi (mm)

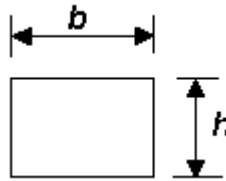
F = force (N)

E = modulus young

I = momen inersia

Dari gambar 4.34, 4.35, dan 4.36 serta persamaan 4.2, 4.3, dan 4.4, terlihat bahwa terdapat salah satu variabel yang

diperlukan dalam semua rumus dan mempengaruhi hasil perhitungan defleksi. Variabel tersebut adalah  $I$  atau momen inersia dari *beam*. Momen inersia dari *beam* dipengaruhi oleh bentuk *cross-sectional* dan ketebalan dari *beam* <sup>[8]</sup>. Momen inersia *beam* tidak dipengaruhi oleh material atau panjang dari *beam*, hanya bentuk balok atau silinder yang diperhatikan dalam hal ini.



**Gambar 4.46** *Cross-sectional beam* <sup>[8]</sup>

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad 4.5$$

Dimana  $h$  merupakan dimensi bidang lekukan yaitu arah dimana *force* diberikan. Dapat juga diartikan sebagai ketebalan *beam*.

Dari penjelasan tersebut dapat terlihat bahwa terdapat korelasi antara ketebalan *beam* dengan besar defleksi yang terjadi pada *beam* setelah dikenai *force* tertentu. Momen inersia pada perhitungan defleksi selalu berada pada posisi penyebut sehingga akan memiliki hasil yang berbanding terbalik dengan defleksi. Semakin besar momen inersia yang dimiliki oleh *beam*, semakin kecil defleksi yang dihasilkan. Sementara itu ketebalan *beam* ( $h$ ) memiliki posisi pembilang dalam persamaan 4.5, sehingga akan berbanding lurus dengan momen inersia, semakin besar ketebalan *beam*, maka momen inersianya pun akan semakin besar. Jadi, semakin tebal suatu *beam*, defleksi yang terjadi akan semakin kecil.

**Halaman ini memang dikosongkan**



**LAMPIRAN**  
**TABEL DEFORMASI MODEL**

**TABEL A Respon *Fixed Support Beam* Ketebalan 2 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	1.14E-04
8.00E-02	1.92E-04
0.12	2.76E-04
0.16	4.52E-04
0.2	6.22E-04
0.24	8.01E-04
0.28	1.03E-03
0.32	1.24E-03
0.36	1.46E-03
0.4	1.72E-03
0.44	1.97E-03
0.48	2.21E-03
0.52	2.46E-03
0.56	2.70E-03
0.6	2.93E-03
0.64	3.14E-03
0.68	3.44E-03
0.72	3.76E-03
0.76	4.02E-03
0.8	4.37E-03
0.84	4.72E-03
0.88	4.24E-03
0.92	4.78E-03
0.96	5.91E-03
1	5.44E-03
1.04	5.81E-03
1.08	6.41E-03
1.12	6.07E-03
1.16	6.61E-03
1.2	6.77E-03
1.24	6.62E-03
1.28	7.04E-03
1.32	6.98E-03
1.36	6.94E-03
1.4	7.20E-03
1.44	7.04E-03
1.48	7.06E-03
1.52	7.12E-03
1.56	6.94E-03
1.6	6.92E-03
1.64	6.79E-03
1.68	6.58E-03
1.72	6.49E-03
1.76	6.23E-03
1.8	5.94E-03
1.84	5.69E-03
1.88	5.34E-03
1.92	5.03E-03
1.96	4.73E-03
2	4.37E-03

2.04	4.08E-03
2.08	3.85E-03
2.12	3.57E-03
2.16	3.30E-03
2.2	3.03E-03
2.24	2.73E-03
2.28	2.44E-03
2.32	2.13E-03
2.36	1.84E-03

2.4	1.56E-03
2.44	1.28E-03
2.48	1.03E-03
2.52	8.02E-04
2.56	5.92E-04
2.6	3.98E-04
2.64	2.33E-04
2.68	7.50E-05

**TABEL B Respon *Fixed Support Beam* Ketebalan 1 meter**

Time (s)	Deformat ion (mm)
4.00E-02	3.77E-04
8.00E-02	1.09E-03
0.12	1.87E-03
0.16	2.88E-03
0.2	4.22E-03
0.24	5.76E-03
0.28	7.28E-03
0.32	8.87E-03
0.36	1.07E-02
0.4	1.25E-02
0.44	1.45E-02
0.48	1.64E-02
0.52	1.83E-02
0.56	2.01E-02
0.6	2.19E-02
0.64	2.35E-02

0.68	2.54E-02
0.72	2.77E-02
0.76	3.00E-02
0.8	3.23E-02
0.84	3.48E-02
0.88	3.35E-02
0.92	3.28E-02
0.96	4.16E-02
1	4.63E-02
1.04	4.15E-02
1.08	4.29E-02
1.12	5.05E-02
1.16	5.09E-02
1.2	4.69E-02
1.24	5.06E-02
1.28	5.51E-02
1.32	5.23E-02

1.36	5.04E-02
1.4	5.44E-02
1.44	5.56E-02
1.48	5.18E-02
1.52	5.16E-02
1.56	5.44E-02
1.6	5.26E-02
1.64	4.89E-02
1.68	4.92E-02
1.72	4.95E-02
1.76	4.57E-02
1.8	4.28E-02
1.84	4.27E-02
1.88	4.08E-02
1.92	3.66E-02
1.96	3.44E-02
2	3.36E-02

2.04	3.07E-02
2.08	2.78E-02
2.12	2.69E-02
2.16	2.53E-02
2.2	2.20E-02
2.24	1.97E-02
2.28	1.85E-02
2.32	1.59E-02
2.36	1.28E-02
2.4	1.11E-02
2.44	9.73E-03
2.48	7.16E-03
2.52	5.05E-03
2.56	4.18E-03
2.6	2.93E-03
2.64	1.10E-03
2.68	2.07E-04

**TABEL C Respon Fixed Support Beam Ketebalan 0.5 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	1.71E-03
8.00E-02	5.86E-03
0.12	1.25E-02
0.16	2.20E-02
0.2	3.29E-02
0.24	4.37E-02
0.28	5.53E-02
0.32	6.84E-02

0.36	8.26E-02
0.4	9.76E-02
0.44	0.11329
0.48	0.1285
0.52	0.14319
0.56	0.15756
0.6	0.17127
0.64	0.18451
0.68	0.19816
0.72	0.21394
0.76	0.23258

0.8	0.25351
0.84	0.27472
0.88	0.28039
0.92	0.26606
0.96	0.27951
1	0.33113
1.04	0.37722
1.08	0.39224
1.12	0.37083
1.16	0.35015
1.2	0.37061
1.24	0.41309
1.28	0.44419
1.32	0.43694
1.36	0.40409
1.4	0.38695
1.44	0.40455
1.48	0.43882
1.52	0.45071
1.56	0.4254
1.6	0.38713
1.64	0.36956
1.68	0.38219
1.72	0.39902

1.76	0.38904
1.8	0.34853
1.84	0.30533
1.88	0.28952
1.92	0.29764
1.96	0.30024
2	0.27608
2.04	0.2318
2.08	0.19809
2.12	0.19472
2.16	0.20637
2.2	0.20232
2.24	0.16982
2.28	0.12649
2.32	9.95E-02
2.36	9.74E-02
2.4	0.10374
2.44	9.25E-02
2.48	5.90E-02
2.52	2.77E-02
2.56	1.60E-02
2.6	1.88E-02
2.64	2.97E-02
2.68	2.05E-02

**TABEL D Respon *Knife-Edge Support Beam* Ketebalan 2 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	2.14E-04
8.00E-02	2.24E-04
0.12	4.73E-04
0.16	6.40E-04
0.2	8.86E-04
0.24	1.18E-03
0.28	1.40E-03
0.32	1.69E-03
0.36	1.98E-03
0.4	2.24E-03
0.44	2.57E-03
0.48	2.85E-03
0.52	3.11E-03
0.56	3.40E-03
0.6	3.66E-03
0.64	3.88E-03
0.68	4.12E-03
0.72	4.56E-03
0.76	5.07E-03
0.8	5.43E-03
0.84	5.86E-03
0.88	5.23E-03
0.92	5.73E-03
0.96	7.47E-03
1	6.85E-03
1.04	6.99E-03

1.08	8.14E-03
1.12	7.59E-03
1.16	7.97E-03
1.2	8.62E-03
1.24	8.16E-03
1.28	8.54E-03
1.32	8.85E-03
1.36	8.47E-03
1.4	8.80E-03
1.44	8.86E-03
1.48	8.55E-03
1.52	8.75E-03
1.56	8.64E-03
1.6	8.35E-03
1.64	8.36E-03
1.68	8.10E-03
1.72	7.81E-03
1.76	7.66E-03
1.8	7.26E-03
1.84	6.87E-03
1.88	6.58E-03
1.92	6.10E-03
1.96	5.70E-03
2	5.30E-03
2.04	4.91E-03
2.08	4.74E-03
2.12	4.42E-03
2.16	4.04E-03
2.2	3.80E-03

2.24	3.44E-03
2.28	3.06E-03
2.32	2.76E-03
2.36	2.38E-03
2.4	2.04E-03
2.44	1.74E-03

2.48	1.39E-03
2.52	1.10E-03
2.56	8.40E-04
2.6	5.48E-04
2.64	3.09E-04
2.68	1.22E-04

**TABEL E Respon *Knife-Edge Support Beam* Ketebalan 1 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	3.77E-04
8.00E-02	1.36E-03
0.12	2.66E-03
0.16	3.90E-03
0.2	5.27E-03
0.24	7.06E-03
0.28	8.98E-03
0.32	1.07E-02
0.36	1.24E-02
0.4	1.46E-02
0.44	1.68E-02
0.48	1.87E-02
0.52	2.06E-02
0.56	2.26E-02
0.6	2.45E-02
0.64	2.61E-02
0.68	2.80E-02
0.72	3.08E-02
0.76	3.38E-02

0.8	3.63E-02
0.84	3.88E-02
0.88	3.71E-02
0.92	3.60E-02
0.96	4.61E-02
1	5.24E-02
1.04	4.67E-02
1.08	4.65E-02
1.12	5.55E-02
1.16	5.79E-02
1.2	5.22E-02
1.24	5.41E-02
1.28	6.10E-02
1.32	5.96E-02
1.36	5.51E-02
1.4	5.80E-02
1.44	6.21E-02
1.48	5.86E-02
1.52	5.53E-02
1.56	5.83E-02

1.6	5.94E-02
1.64	5.44E-02
1.68	5.19E-02
1.72	5.38E-02
1.76	5.20E-02
1.8	4.66E-02
1.84	4.48E-02
1.88	4.52E-02
1.92	4.16E-02
1.96	3.66E-02
2	3.52E-02
2.04	3.45E-02
2.08	3.12E-02
2.12	2.81E-02

2.16	2.72E-02
2.2	2.55E-02
2.24	2.19E-02
2.28	1.93E-02
2.32	1.79E-02
2.36	1.54E-02
2.4	1.22E-02
2.44	1.02E-02
2.48	8.87E-03
2.52	6.54E-03
2.56	4.28E-03
2.6	3.11E-03
2.64	2.06E-03
2.68	2.69E-04

**TABEL F Respon *Knife-Edge Support Beam* Ketebalan 0.5 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	1.69E-03
8.00E-02	5.83E-03
0.12	1.26E-02
0.16	2.20E-02
0.2	3.30E-02
0.24	4.38E-02
0.28	5.54E-02
0.32	6.85E-02
0.36	8.27E-02

0.4	9.78E-02
0.44	0.11349
0.48	0.12869
0.52	0.14335
0.56	0.15769
0.6	0.17143
0.64	0.18472
0.68	0.19837
0.72	0.2141
0.76	0.23272
0.8	0.25372
0.84	0.27503

0.88	0.28074
0.92	0.26632
0.96	0.27967
1	0.33132
1.04	0.37756
1.08	0.39272
1.12	0.37131
1.16	0.35045
1.2	0.37076
1.24	0.41328
1.28	0.44457
1.32	0.43749
1.36	0.40458
1.4	0.3872
1.44	0.40462
1.48	0.43898
1.52	0.45113
1.56	0.42597
1.6	0.38756
1.64	0.36968
1.68	0.38215
1.72	0.39915
1.76	0.38946

1.8	0.34906
1.84	0.30561
1.88	0.28947
1.92	0.29751
1.96	0.30035
2	0.27648
2.04	0.23222
2.08	0.19821
2.12	0.19453
2.16	0.20619
2.2	0.20247
2.24	0.17024
2.28	0.12681
2.32	9.95E-02
2.36	9.71E-02
2.4	0.10358
2.44	9.27E-02
2.48	5.94E-02
2.52	2.79E-02
2.56	1.59E-02
2.6	1.85E-02
2.64	2.96E-02
2.68	2.07E-02

**TABEL G Respon Slider Support Beam Ketebalan 2 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	8.35E-04
8.00E-02	1.76E-03
0.12	1.74E-03

0.16	2.28E-03
0.2	3.26E-03
0.24	3.46E-03
0.28	3.80E-03
0.32	4.66E-03



0.36	4.92E-03
0.4	5.16E-03
0.44	5.90E-03
0.48	6.19E-03
0.52	6.32E-03
0.56	6.85E-03
0.6	7.13E-03
0.64	7.16E-03
0.68	8.45E-03
0.72	9.83E-03
0.76	9.79E-03
0.8	1.05E-02
0.84	1.18E-02
0.88	8.80E-03
0.92	8.84E-03
0.96	1.49E-02
1	1.33E-02
1.04	1.05E-02
1.08	1.48E-02
1.12	1.46E-02
1.16	1.18E-02
1.2	1.45E-02
1.24	1.51E-02
1.28	1.25E-02
1.32	1.40E-02
1.36	1.49E-02
1.4	1.27E-02
1.44	1.32E-02
1.48	1.42E-02
1.52	1.24E-02

1.56	1.22E-02
1.6	1.29E-02
1.64	1.14E-02
1.68	1.07E-02
1.72	1.12E-02
1.76	1.01E-02
1.8	9.11E-03
1.84	9.30E-03
1.88	8.45E-03
1.92	7.42E-03
1.96	7.37E-03
2	6.75E-03
2.04	5.80E-03
2.08	5.73E-03
2.12	5.37E-03
2.16	4.53E-03
2.2	4.28E-03
2.24	4.00E-03
2.28	3.25E-03
2.32	2.87E-03
2.36	2.63E-03
2.4	2.03E-03
2.44	1.64E-03
2.48	1.45E-03
2.52	1.02E-03
2.56	7.00E-04
2.6	5.68E-04
2.64	2.86E-04
2.68	6.21E-05

**TABEL H Respon Slider Support Beam Ketebalan 1 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	4.26E-03
8.00E-02	1.27E-02
0.12	1.83E-02
0.16	1.87E-02
0.2	1.97E-02
0.24	2.63E-02
0.28	3.43E-02
0.32	3.65E-02
0.36	3.58E-02
0.4	3.87E-02
0.44	4.57E-02
0.48	5.07E-02
0.52	5.03E-02
0.56	4.95E-02
0.6	5.34E-02
0.64	5.87E-02
0.68	6.42E-02
0.72	7.22E-02
0.76	7.94E-02
0.8	8.35E-02
0.84	8.65E-02
0.88	7.75E-02
0.92	6.55E-02
0.96	8.68E-02
1	0.11933
1.04	0.11744
1.08	9.01E-02
1.12	8.45E-02
1.16	0.11278
1.2	0.1292
1.24	0.1105
1.28	8.86E-02
1.32	9.75E-02
1.36	0.12146
1.4	0.11983
1.44	9.48E-02
1.48	8.45E-02
1.52	0.10113
1.56	0.11328
1.6	9.76E-02
1.64	7.52E-02
1.68	7.60E-02
1.72	9.13E-02
1.76	8.97E-02
1.8	6.80E-02
1.84	5.49E-02
1.88	6.32E-02
1.92	7.17E-02
1.96	5.97E-02
2	4.04E-02
2.04	3.79E-02
2.08	4.91E-02
2.12	4.99E-02
2.16	3.41E-02

2.2	2.25E-02
2.24	2.68E-02
2.28	3.46E-02
2.32	2.72E-02
2.36	1.25E-02
2.4	8.99E-03
2.44	1.59E-02

2.48	1.83E-02
2.52	7.02E-03
2.56	4.30E-03
2.6	1.59E-03
2.64	8.73E-03
2.68	5.69E-03

**TABEL I Respon Slider Support Beam Ketebalan 0.5 meter**

Time (s)	Deformation (mm)
4.00E-02	1.76E-02
8.00E-02	5.87E-02
0.12	0.11355
0.16	0.17325
0.2	0.22459
0.24	0.24744
0.28	0.24815
0.32	0.25125
0.36	0.2685
0.4	0.30239
0.44	0.35345
0.48	0.40595
0.52	0.43806
0.56	0.44375
0.6	0.43331
0.64	0.4211
0.68	0.43478
0.72	0.50441
0.76	0.61147

0.8	0.71603
0.84	0.78815
0.88	0.76132
0.92	0.62524
0.96	0.53369
1	0.58055
1.04	0.72861
1.08	0.93733
1.12	1.0773
1.16	1.0512
1.2	0.90954
1.24	0.73674
1.28	0.63156
1.32	0.66227
1.36	0.80975
1.4	0.97802
1.44	1.0506
1.48	0.98225
1.52	0.80779
1.56	0.61572
1.6	0.51652

1.64	0.54995
1.68	0.67712
1.72	0.80319
1.76	0.8284
1.8	0.71798
1.84	0.52324
1.88	0.34495
1.92	0.26209
1.96	0.30553
2	0.42928
2.04	0.53248
2.08	0.53428
2.12	0.41815
2.16	0.24222

2.2	0.10803
2.24	7.67E-02
2.28	0.12283
2.32	0.22993
2.36	0.31725
2.4	0.2987
2.44	0.16984
2.48	2.53E-02
2.52	0.13529
2.56	0.1453
2.6	4.33E-02
2.64	9.84E-02
2.68	0.18546

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan kepada semua pemodelan dan variasi yang dibuat, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Simulasi pemodelan sistem *bridge-vehicle* telah berhasil dilakukan dengan ukuran geometri utama yaitu panjang *beam* 22 meter dan lebar 10 meter.
- Respon *beam* terhadap beban berjalan telah didapatkan dengan nilai deformasi terbesar yang berbeda di setiap variasinya, kecuali variasi *foxed support* dan *knife-edge support* tebal 0.5 meter memiliki nilai deformasi terbesar yang sama yaitu 0.451 mm.
- Deformasi terbesar terlihat pada pemodelan *beam* jenis *slider support beam* karena ujung *beam* yang bergerak bebas searah sumbu x, defleksi yang terjadi lebih besar sehingga besar deformasi maksimum dan osilasi yang terjadi cenderung lebih besar daripada jenis lainnya
- Osilasi pada respon terjadi karena resonansi dua gelombang getaran dari dua beban yang sama dengan beda fasa yang berbeda menghasilkan gelombang baru yang memiliki *ripple*.
- Perbedaan ketebalan pada *beam* mengakibatkan berubahnya nilai deformasi maksimum dari setiap titik pada *beam*. Hal tersebut didukung oleh teori perhitungan defleksi *beam* yang dipengaruhi oleh momen inersia, semakin besar momen inersia maka semakin kecil defleksi. Sedangkan momen inersia juga dipengaruhi oleh ketebalan, semakin tebal *beam*, semakin besar momen inersianya. Jadi, semakin tebal suatu *beam*, semakin kecil defleksi yang terjadi.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk kedepannya agar bisa penelitian ini lebih menghasilkan hasil yang lebih baik adalah :

- Melakukan penelitian secara eksperimen yang melibatkan pengukuran getaran secara langsung pada *beam* jembatan.
- Menganalisa variasi lain yaitu perbedaan panjang kendaraan serta kecepatannya pada saat melintasi jembatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Willian T. Thomson, "*Theory of Vibration with Applications*", second ed. Department of Mechanical and Enviromental Engineering University of California, California, 1981.
- [2] Arifian DaGupta and Peter Hagedorn, "*Vibration and waves in continuous mechanical system*", London: Wiley, 2007.
- [3] Gogaa Vladimír, etall, "*Optimization of vehicle suspension parameters with use of evolutionary*," *MMaMS 2012*, vol. 48, pp. 174-179, 2012
- [4] Renton D. John, "*Elastic Beams and Frames*", Departement of Engineering Science University of Oxford. Oxford. 2002
- [5] Zaman Musharraf, "*Dynamic response of cable-stayed bridges to moving vehicles using the structural impedance method*," *Applied Math Modelling*, 1996.
- [6] Chondros TG, Dimarogonas AD, Yao J. "*Vibration of a beam with a breathing crack*". *J Sound Vib* 2001;239(1):57–67.
- [7] Pugno N, Surace C, Ruotolo R. "*Evaluation of the non-linear dynamic response to harmonic excitation of a beam with several breathing cracks*". *J Sound Vib* 2000;235(5):749–62.
- [8] Elliot Russ, "*Deflection of Beams*", *Beam*, 2010, 14 Juli 2016, <http://www.clag.org.uk>

**Halaman ini memang dikosongkan**



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Alinda Nurul Badriyah ini lahir di Karawang, 22 tahun yang lalu tepatnya pada tanggal 10 Mei tahun 1994. Lahir dan besar di tanah sunda tidak membatasi keinginannya untuk tinggal dan merantau sejak usia muda. Penulis menamatkan sekolah menengah atasnya di kota Jombang, yaitu di SMAN 3 Jombang dan memilih serta menkuni jurusan IPA hingga akhirnya mengantarkannya menimba ilmu pada jenjang

vokasi di D3 Metrologi dan Instrumentasi Teknik Fisika ITB. Banyak pengalaman dan organisasi yang ditekuni penulis, salah satunya menjadi Direktur Teknis periode 2012-2013 di Radio Kampus ITB. Selain menjadi teknisi, penulis juga mendalami profesi *announcer* selama 2 tahun bergabung dalam Radio Kampus ITB. Setelah selesai mendapatkan ijazah D3, penulis berkesempatan untuk meneruskan kuliah di strata satu di Teknik Fisika ITS. Setelah 1 tahun merasakan perkuliahan di ITS, penulis juga berkesempatan untuk menjadi asisten laboratorium vibrastic dan menjadi asisten mata kuliah Matematika Rekayasa 2 kelas A. Penulis dapat dihubungi melalui email [alinda.badriyah@gmail.com](mailto:alinda.badriyah@gmail.com) atau dapat juga melalui akun facebook Alinda Nurul Badriyah.