



**TUGAS AKHIR - RC-09-1380**

**STUDI PERILAKU DINAMIS STRUKTUR  
JEMBATAN PENYEBERANGAN ORANG (JPO)  
AKIBAT BEBAN MANUSIA BERGERAK  
STUDI KASUS : JEMBATAN GANTUNG**

**ADI SATRIA PUTRA  
NRP 3107 100 127**

**Dosen Pembimbing  
Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D  
Data Iranata, ST., MT., Ph.,D**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2012**



FINAL PROJECT - RC-09-1380

# A STUDY OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF FOOT BRIDGE STRUCTURE SUBJECTED TO HUMAN WALKING LOAD

ADI SATRIA PUTRA  
NRP 3107 100 127

Supervisor  
Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D  
Data Iranata, ST., MT., Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planing  
Depuluh Nopember Insitute of Technology  
Surabaya 2012

**STUDI PERILAKU DINAMIS STRUKTUR JEMBATAN  
PENYEBERANGAN ORANG (JPO) AKIBAT BEBAN  
MANUSIA BERGERAK  
STUDI KASUS : JEMBATAN GANTUNG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Struktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ADI SATRIA PUTRA**  
**NRP. 3107 100 127**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Endah W. S. Ph.D.  (Pembimbing I)

2. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing II)



**SURABAYA**  
**JULI, 2012**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Beban Dinamis .....	5
2.2 Getaran Bebas .....	8
2.3 Jembatan Penyeberangan Orang.....	10
<b>BAB III METODOLOGI</b>	
3.1 Uraian Tahapan Studi .....	13
3.2 Rancangan Studi .....	15
3.3 Lokasi Studi .....	17
<b>BAB IV PERENCANAAN DAN KONTROL STRUKTUR</b>	
4.1 Data-Data Perencanaan.....	19

4.2	Data-Data Teknis .....	19
4.2.1	Jembatan Penyeberangan Orang .....	19
4.2.2	Spek Jembatan Gantung .....	19
4.3	Pemodelan Struktur Jembatan .....	20
4.4	Pembebanan Struktur JPO Gantung .....	45
4.5	Cek Desain Struktur Jembatan .....	63
4.6	Tahapan Pembebanan dalam Analisa Struktur .....	64
4.6.1	Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan .....	64
4.7	Penentuan Wilayah Gempa .....	67
4.7.1	Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa .....	68
4.8	Beban Gempa Jembatan .....	69
4.9	Kontrol Tegangan Balok Memanjang .....	70
4.10	Check Design Element Struktur .....	72

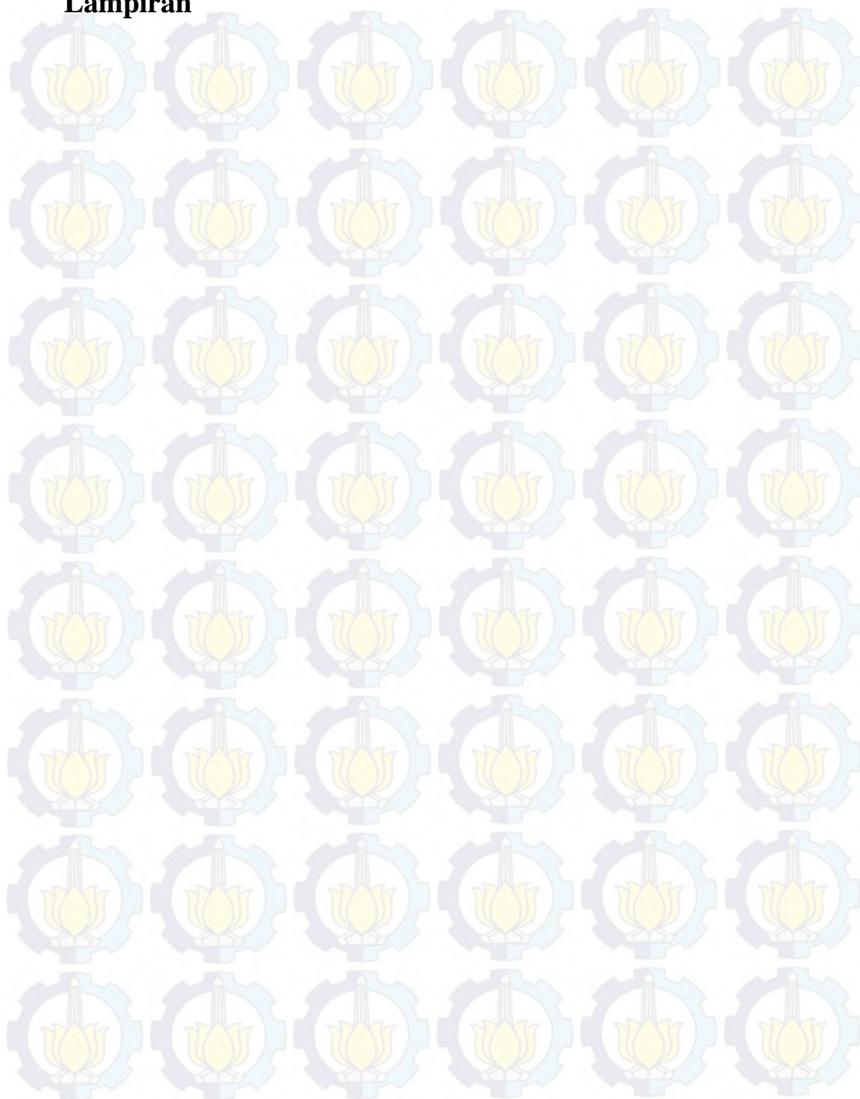
## **BAB V ANALISA DINAMIS STRUKTUR**

5.1	Natural Frekuensi .....	89
5.2	Mode Shape .....	89
5.3	Beban Statis .....	120
5.4	Beban Manusia .....	121
5.4.1	Manusia Sebagai Sumber Beban .....	121
5.4.2	Pengaruh Tindakan Pejalan Kaki .....	123
5.4.3	Beban Manusia Pada Struktur JPO .....	126
5.5	Deformed Shape .....	128
5.6	Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis .....	137
5.7	Displacement Struktur JPO Akibat Beban Dinamis .....	141

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1	Kesimpulan .....	153
6.2	Saran .....	154

**Daftar Pustaka**  
**Lampiran**





## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel Grid Lines.....	22
Tabel 4.2 Tabel Panjang Kabel .....	35
Tabel 4.3 Tabel Define Load Pattern .....	45
Tabel 4.4 Tabel Beban Manusia.....	46
Tabel 4.5 Koefisien Seret $C_w$ .....	66
Tabel 4.6 Kecepatan Angin Rencana .....	66
Tabel 4.7 Check Design Ikatan Angin .....	72
Tabel 4.8 Check Design Balok Melintang .....	79
Tabel 4.9 Kontrol Lendutan .....	87
Tabel 5.1 Koefisien Fourier dan Sudut Fase .....	124
Tabel 5.2 F(t) Berdasarkan Fungsi Waktu .....	125
Tabel 5.3 Frekuensi Alami dan Mode Shape .....	136
Tabel 5.4 Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis .....	148
Tabel 5.5 Perbandingan Nilai Frekuensi .....	149



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Periode Gelombang .....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir .....	14
Gambar 3.2 Lokasi Studi .....	17
Gambar 4.1 Menu Start Pada Windows .....	20
Gambar 4.2 Menu New Model Pada SAP 2000.....	21
Gambar 4.3 Tampilan Grid Only Pada SAP 2000 .....	21
Gambar 4.4 Tampilan Grid Setelah di Edit .....	23
Gambar 4.5 Tampilan Menu Define Material .....	24
Gambar 4.6 Tampilan Menu Material Property Data.....	24
Gambar 4.7 Tampilan Menu Frame Properties .....	25
Gambar 4.8 Tampilan Menu Cable Section .....	26
Gambar 4.9 Tampilan Menu Cable Section Data.....	26
Gambar 4.10 Tampilan Menu Frame Properties .....	27
Gambar 4.11 Tampilan Menu Add New Property.....	27
Gambar 4.12 Tampilan Menu SD Section Data.....	28
Gambar 4.13 Tampilan Menu Section Designer .....	28
Gambar 4.14 Tampilan Menu Shape Properties.....	29
Gambar 4.15 Tampilan Menu Frame Properties .....	30
Gambar 4.16 Tampilan Menu Add New Property.....	30
Gambar 4.17 Tampilan Menu Area Sections.....	31
Gambar 4.18 Tampilan Menu Shell Section Data .....	31
Gambar 4.19 Tampilan Plan X,Z pada SAP 2000.....	32
Gambar 4.20 Tampilan Hasil Draw Element Phylon.....	33
Gambar 4.21 Tampilan Menu Joint Restraint .....	33
Gambar 4.22 Tampilan Menu Properties of Object.....	34
Gambar 4.23 Tampilan Menu Properties of Object.....	34
Gambar 4.24 Tampilan Plane X,Z SAP 2000 .....	35

Gambar 4.25 Hasil Draw element kabel vertikal Ø16 mm.....	36
Gambar 4.26 Tampilan Menu Replicate.....	36
Gambar 4.27 Tampilan Hasil Replicate (Mirror) .....	37
Gambar 4.28 Tampilan Menu Replicate.....	37
Gambar 4.29 Tampilan Hasil Replicate (Copy) .....	38
Gambar 4.30 Tampilan Plane X,Z SAP 2000 .....	38
Gambar 4.31 Tampilan Menu Propeties of Object .....	39
Gambar 4.32 Tampilan Menu Cable Geometry .....	39
Gambar 4.33 Tampilan Hasil Replicate (Mirror) .....	40
Gambar 4.34 Tampilan Hasil Replicate (Copy) .....	41
Gambar 4.35 Tampilan Plane X,Y SAP 2000.....	41
Gambar 4.36 Hasil Draw Element Balok Melintang .....	42
Gambar 4.37 Hasil Draw Element Ikatan Angin.....	42
Gambar 4.38 Hasil Draw Element Deck Jembatan .....	43
Gambar 4.39 Hasil Draw Element Deck Jembatan .....	43
Gambar 4.40 Tampilan Menu Assign Automatic Area Mesh....	44
Gambar 4.41 Hasil Akhir Pemodelan Struktur Jembatan.....	44
Gambar 4.42 Tampilan Menu Define Load Pattern.....	45
Gambar 4.43 Tampilan Menu Define Time History Funtions ...	47
Gambar 4.44 Time History Funtion Definition.....	48
Gambar 4.45 Define Response Spectrum Functions .....	48
Gambar 4.46 Response Spectrum Function Definition .....	49
Gambar 4.47 Function Graph Response Spectrum .....	49
Gambar 4.48 Tampilan Menu Define Vehicles .....	50
Gambar 4.49 Tampilan Menu General Vehicle Data .....	50
Gambar 4.50 Tampilan Menu General Vehicle Data .....	51
Gambar 4.51 Tampilan Menu Define Vehicle Classes.....	51
Gambar 4.52 Tampilan Menu Vehicle Class Data.....	52

Gambar 4.53 Tampilan Menu Define Lanes.....	52
Gambar 4.54 Tampilan Menu Bridge Lane Data .....	53
Gambar 4.55 Tampilan Define Load Pattern .....	53
Gambar 4.56 Multi Step Bridge Live Load .....	54
Gambar 4.57 Tampilan Menu Define Load Case.....	55
Gambar 4.58 Tampilan Menu Load Case Data.....	55
Gambar 4.59 Tampilan Menu Load Case Data.....	56
Gambar 4.60 Load Case Data Linier Multi Step Static.....	56
Gambar 4.61 Tampilan Menu Load Case Data.....	57
Gambar 4.62 Load Case Data Response Spectrum .....	58
Gambar 4.63 Load Case Data Nonlinier Static .....	58
Gambar 4.64 Tampilan Menu Difine Load Cases .....	59
Gambar 4.65 Tampilan Menu Difine Load Combinations .....	59
Gambar 4.66 Difine Load Combination Data .....	60
Gambar 4.67 Difine Load Combinations .....	60
Gambar 4.68 Tampilan Menu Select Sections .....	61
Gambar 4.69 Select Section Deck .....	61
Gambar 4.70 Area Uniform Loads to Frames.....	62
Gambar 4.71 Area Uniform Loads to Frames.....	62
Gambar 4.72 3D View JPO Gantung.....	63
Gambar 4.73 Grafik Pembebanan Untuk Pejalan Kaki.....	65
Gambar 4.74 Peta Wilayah Gempa Indonesia .....	68
Gambar 4.75 Koefisien gempa dasar (C) .....	69
Gambar 4.76 Check Design Kabel Penggantung Ø16 .....	83
Gambar 4.77 Design Kabel Penggantung Ø 2” .....	84
Gambar 5.1 Mode 1 JPO Gantung.....	90
Gambar 5.2 Mode 2 JPO Gantung.....	91
Gambar 5.3 Mode 3 JPO Gantung.....	92

Gambar 5.4 Mode 4 JPO Gantung.....	93
Gambar 5.5 Mode 5 JPO Gantung.....	94
Gambar 5.6 Mode 6 JPO Gantung.....	95
Gambar 5.7 Mode 7 JPO Gantung.....	96
Gambar 5.8 Mode 8 JPO Gantung.....	97
Gambar 5.9 Mode 9 JPO Gantung.....	98
Gambar 5.10 Mode 10 JPO Gantung.....	99
Gambar 5.11 Mode 11 JPO Gantung.....	100
Gambar 5.12 Mode 12 JPO Gantung.....	101
Gambar 5.13 Mode 13 JPO Gantung.....	102
Gambar 5.14 Mode 14 JPO Gantung.....	103
Gambar 5.15 Mode 15 JPO Gantung.....	104
Gambar 5.16 Mode 16 JPO Gantung.....	105
Gambar 5.17 Mode 17 JPO Gantung.....	106
Gambar 5.18 Mode 18 JPO Gantung.....	107
Gambar 5.19 Mode 19 JPO Gantung.....	108
Gambar 5.20 Mode 20 JPO Gantung.....	109
Gambar 5.21 Mode 21 JPO Gantung.....	110
Gambar 5.22 Mode 22 JPO Gantung.....	111
Gambar 5.23 Mode 23 JPO Gantung.....	112
Gambar 5.24 Mode 24 JPO Gantung.....	113
Gambar 5.25 Mode 25 JPO Gantung.....	114
Gambar 5.26 Mode 26 JPO Gantung.....	115
Gambar 5.27 Mode 27 JPO Gantung.....	116
Gambar 5.28 Mode 28 JPO Gantung.....	117
Gambar 5.29 Mode 29 JPO Gantung.....	118
Gambar 5.30 Mode 30 JPO Gantung.....	119
Gambar 5.31 Grafik Periode Berjalan Time History.....	122

Gambar 5.32 Grafik $F(t)$ Berdasarkan Fungsi Waktu 0.6 s .....	126
Gambar 5.33 Lintasan Pada Struktur JPO .....	127
Gambar 5.34 Deformed Shape JPO saat $t = 0$ s .....	128
Gambar 5.35 Deformed Shape JPO saat $t = 4$ s .....	128
Gambar 5.36 Deformed Shape JPO saat $t = 8$ s .....	129
Gambar 5.37 Deformed Shape JPO saat $t = 12$ s .....	129
Gambar 5.38 Deformed Shape JPO saat $t = 16$ s .....	130
Gambar 5.39 Deformed Shape JPO saat $t = 20$ s .....	130
Gambar 5.40 Deformed Shape JPO saat $t = 24$ s .....	131
Gambar 5.41 Deformed Shape JPO saat $t = 28$ s .....	131
Gambar 5.42 Deformed Shape JPO saat $t = 32$ s .....	132
Gambar 5.43 Deformed Shape JPO saat $t = 36$ s .....	132
Gambar 5.44 Deformed Shape JPO saat $t = 40$ s .....	133
Gambar 5.45 Deformed Shape JPO saat $t = 44$ s .....	133
Gambar 5.46 Deformed Shape JPO saat $t = 48$ s .....	134
Gambar 5.47 Deformed Shape JPO saat $t = 52$ s .....	134
Gambar 5.48 Deformed Shape JPO saat $t = 56$ s .....	135
Gambar 5.49 Deformed Shape JPO saat $t = 60$ s .....	135
Gambar 5.50 Frekuensi JPO gantung pada jarak 4 m .....	137
Gambar 5.51 Frekuensi JPO gantung pada jarak 8 m .....	138
Gambar 5.52 Frekuensi JPO gantung pada jarak 12 m .....	138
Gambar 5.53 Frekuensi JPO gantung pada jarak 16 m .....	139
Gambar 5.54 Frekuensi JPO gantung pada jarak 20 m .....	139
Gambar 5.55 Frekuensi JPO gantung pada jarak 24 m .....	140
Gambar 5.56 Frekuensi JPO gantung pada jarak 28 m .....	140
Gambar 5.57 Frekuensi JPO gantung pada jarak 32 m .....	141
Gambar 5.58 Frekuensi JPO gantung pada jarak 36 m .....	141
Gambar 5.59 Frekuensi JPO gantung pada jarak 40 m .....	142

Gambar 5.60 Frekuensi JPO gantung pada jarak 44 m .....	142
Gambar 5.61 Frekuensi JPO gantung pada jarak 48 m .....	143
Gambar 5.62 Frekuensi JPO gantung pada jarak 52 m .....	143
Gambar 5.63 Frekuensi JPO gantung pada jarak 56 m .....	144
Gambar 5.64 Frekuensi JPO gantung pada jarak 60 m .....	144
Gambar 5.65 Frekuensi JPO gantung pada jarak 64 m .....	145
Gambar 5.66 Frekuensi JPO gantung pada jarak 68 m .....	145
Gambar 5.67 Frekuensi JPO gantung pada jarak 72 m .....	146
Gambar 5.68 Frekuensi JPO gantung pada jarak 76 m .....	146
Gambar 5.69 Frekuensi JPO gantung pada jarak 80 m .....	147
Gambar 5.70 Frekuensi JPO gantung pada jarak 84 m .....	147
Gambar 5.71 Displacement Manusia Berjalan.....	150
Gambar 5.72 Displacement Beban Hidup Merata.....	150

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah S.W.T, berkat petunjuk dan kemudahan dari-Nya, Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Studi Perilaku Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Manusia Bergerak.**

Penulis Menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Endah Wahyuni ST., M.Sc., Ph.D dan Data Iranata, ST., MT, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Catur Arif Prastyanto, ST. M.Eng. selaku dosen wali.
3. Budi Suswanto, ST., MT, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
4. Dr. Ir. Edijatno, selaku Koordinator Komisi Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
5. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan.
6. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
7. Teman-teman seprjuangan S-50 (angkatan 2007), dan semua rekan mahasiswa Teknik Sipil FTSP-ITS lainnya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2012

Penulis



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

# **STUDI PERILAKU DINAMIS STRUKTUR JEMBATAN PENYEBERANGAN ORANG (JPO) AKIBAT BEBAN MANUSIA BERGERAK**

**Nama Mahasiswa : ADI SATRIA PUTRA**  
**NRP : 3107 100 127**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP - ITS**  
**Dosen Konsultasi : Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D**  
**Data Iranata, ST., MT., Ph.D**

## **Abstrak**

Jembatan penyeberangan orang menurut lokasinya bisa berada di jalan raya yang padat lalu lintasnya, stasiun kereta api/bus, ataupun untuk menyeberangi sungai. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penelitian tentang pengaruh beban manusia bergerak bersamaan. Dalam merencanakan struktur JPO apabila beban manusia bergerak tidak mempertimbangkan beban dinamis, maka bisa menjadi penyebab kegagalan struktur.

JPO di Indonesia yang merencanakan dengan pedoman SNI hanya memperhitungkan beban hidup sebagai beban statis, bukan beban dinamis. Uji kasus dilakukan untuk menganalisa contoh JPO di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang. Didapat beberapa kesimpulan mengenai kelakuan dinamis dari struktur JPO. Untuk frekuensi alami dari jembatan dapat mengacu kepada ketentuan dari British Standart.

Setelah frekuensi JPO akibat beban dinamis manusia terdefinisi, maka antara frekuensi alami dan frekuensi akibat beban dinamis manusia dibandingkan. Dengan didapatkannya beberapa kesimpulan, maka diharapkan kelakuan dinamis struktur jembatan penyeberangan orang akibat beban manusia yang bergerak bisa lebih dipahami.

Displacement maksimum pada JPO akibat beban dinamis manusia berjalan sebesar 44,90 mm terjadi ketika beban manusia mencapai ujung jembatan ( waktu tempuh  $t = 60$  s ). Sedangkan

displacement maksimum akibat beban hidup merata terjadi di tengah bentang jembatan sebesar 82,054 mm. Nilai ini lebih rendah daripada nilai ijin lendutan yang terjadi pada jembatan yaitu 168 mm.

Sehingga dapat dikatakan bahwa secara JPO gantung tersebut secara kekuatan memenuhi syarat, tetapi secara kenyamanan masih kurang, sehingga perlu perkuatan, agar kekakuan struktur JPO gantung lebih tinggi dan menyebabkan meningkatnya nilai frekuensi.

***Kata kunci: beban hidup, manusia bergerak, dinamis, jembatan penyeberangan***

# A STUDY OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF FOOT BRIDGE STRUCTURE SUBJECTED TO HUMAN WALKING LOAD

**Name** : ADI SATRIA PUTRA  
**NRP** : 3107 100 127  
**Major** : Civil Engineering FTSP - ITS  
**Supervisor** : Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D  
Data Iranata, ST., MT., Ph.D

## Abstract

*Pedestrian bridge people according to their location could be on highways that are dense and several railway station/bus, or to cross the river. This study aims to do research on the influence of human loads moving in unison. In planning the structure of human moving expenses if the JPO is not considering dynamic load, then it could be the cause of the failure of the structure.*

*Pedestrian bridge in indonesia planned guidelines only reckon with sni ioads iive as ioads static not ioads dynamic. Test case done to analyzed samples jpo in sub-district Ngantang Malang. Some conclusions about behaviour obtained dynamically from structures of the JPO. For natural frequency of bridge may also refer to the terms of the British Standard.*

*After the frequency due to load dynamic human JPO undefined, then between natural frequency and frequency due to load dynamic human comparison. With some conclusion, he obtained the expected behavior of the dynamic structure of the pedestrian bridge due to the human person the burden of moving can be better understood.*

*Maximum Displacement due to dynamic loads on the JPO human walking of 44.90 mm occurs when humans reached the end of the bridge load (travel time  $t = 60$  s). Whereas the maximum displacement due to the burden of life occurs in the*

*middle of span evenly bridge of 82,054 mm. This value lower than the value of a permit deflection happened on the bridge that is, 168 mm.*

*So it can be said that a suspension bridge in force qualify, but it is still less comfort, So we needed bracing, to stiffness structure jpo higher and leads to the increasing the value of the frequency.*

***Keywords: live load, human move, dynamic, a pedestrian bridge.***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Transportasi merupakan sektor pendukung dalam setiap aktivitas manusia baik kegiatan pekerjaan rutin, bisnis, pendidikan, sosial dan lain sebagainya. Sebagai prasarana pendukung, transportasi harus mendapatkan pelayanan yang baik sehingga diperoleh sistem pergerakan yang efektif dan efisien bagi pengguna transportasi.

Peningkatan sistem transportasi memerlukan penanganan yang menyeluruh, mengingat bahwa transportasi timbul karena adanya perpindahan manusia dan barang. Meningkatkan perpindahan tersebut dituntut penyediaan fasilitas penunjang laju perpindahan manusia dan barang yang memenuhi ketentuan keselamatan bagi pejalan kaki dimana pejalan kaki merupakan salah satu komponen lalu lintas yang sangat penting baik di pedesaan maupun di perkotaan. Keberadaan pejalan kaki tersebut memerlukan fasilitas bagi pejalan kaki, termasuk fasilitas penyeberangan jalan, sungai, danau atau jurang seperti Jembatan Penyeberangan Orang (JPO), dimana JPO tersebut dipasang apabila diharuskan tidak ada pertemuan sebidang antara arus pejalan kaki dengan arus lalu lintas. Agar pejalan kaki mau menggunakan JPO, JPO harus dijamin keamanan dan jarak berjalan tidak bertambah terlalu jauh (Malkamah, 1995:58)

Desain JPO biasanya menggunakan prinsip yang sama dengan jembatan untuk kendaraan. Tetapi karena biasanya lebih ringan dari jembatan kendaraan, pada desain JPO biasanya mempertimbangkan getaran dan efek dinamik dari penggunaannya, pengguna disini adalah manusia itu sendiri, yang diasumsikan sebagai beban hidup yang bergerak, sehingga pada kondisi tertentu ketika sekumpulan manusia yang melakukan aktifitas seperti bersorak dengan irama tertentu, melakukan olah raga

seperti senam, berjalan bersamaan dan berlari dengan kecepatan tertentu akan mengakibatkan terjadinya getaran pada struktur (Ellis, 2004; Brownjohn, 2007).

Tata cara desain jembatan sudah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), tetapi belum menyangkut pengaruh beban manusia berjalan pada jembatan penyeberangan orang. Dalam SNI hanya diperhitungkan beban hidup sebagai beban statis, bukan merupakan beban dinamis. Padahal pengaruh terbesar pada jembatan penyeberangan tersebut adalah akibat manusia bergerak yang menghasilkan reaksi vertikal dan horizontal yang bisa menimbulkan getaran pada jembatan. Melihat kondisi-kondisi yang pernah terjadi seperti disebut diatas, maka diperlukan adanya studi lebih lanjut tentang adanya beban dinamis dari manusia pada perencanaan Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) di Indonesia.

Tugas akhir dengan topik “**Studi Perilaku Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Manusia Bergerak**” ini bermaksud menambah referensi yang sebelumnya sudah ada agar dapat diketahui perilaku struktur jembatan penyeberangan orang akibat beban dinamis manusia dengan studi kasus pada JPO yang berbeda dengan sebelumnya, yaitu jembatan gantung pejalan kaki dengan beban manusia yang bergerak bersamaan dengan selisih waktu dan lintasan yang berbeda sehingga studi ini dapat diharapkan dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku dinamis struktur jembatan penyeberangan orang.
2. Berapa nilai frekuensi alami dan respon struktur jembatan penyeberangan orang akibat beban dinamis manusia dengan standar British Standard.

3. Bagaimana perilaku jembatan penyeberangan orang yang mengalami getaran akibat beban dinamis manusia.

### **1.3 Batasan Masalah**

Dengan terbatasnya waktu penelitian, maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Beban manusia bergerak dimodelkan dalam model beban yang diperoleh berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya.
2. Hanya dilakukan studi numerik dengan bantuan software SAP2000.
3. Jembatan yang dianalisa diambil dari JPO Desa Selorejo Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang.
4. Jembatan yang diteliti adalah jembatan penyeberangan orang dengan satu bentang, seperti yang banyak ditemui sebagai struktur jembatan penyeberangan di Indonesia.
5. Tidak membahas tentang pondasi jembatan.
6. Beban dinamis yang digunakan adalah beban dinamis manusia berjalan.
7. Beban yang dipakai adalah beban akibat banyak orang yang berjalan pada jembatan penyeberangan dengan waktu dan lintasan yang berbeda.

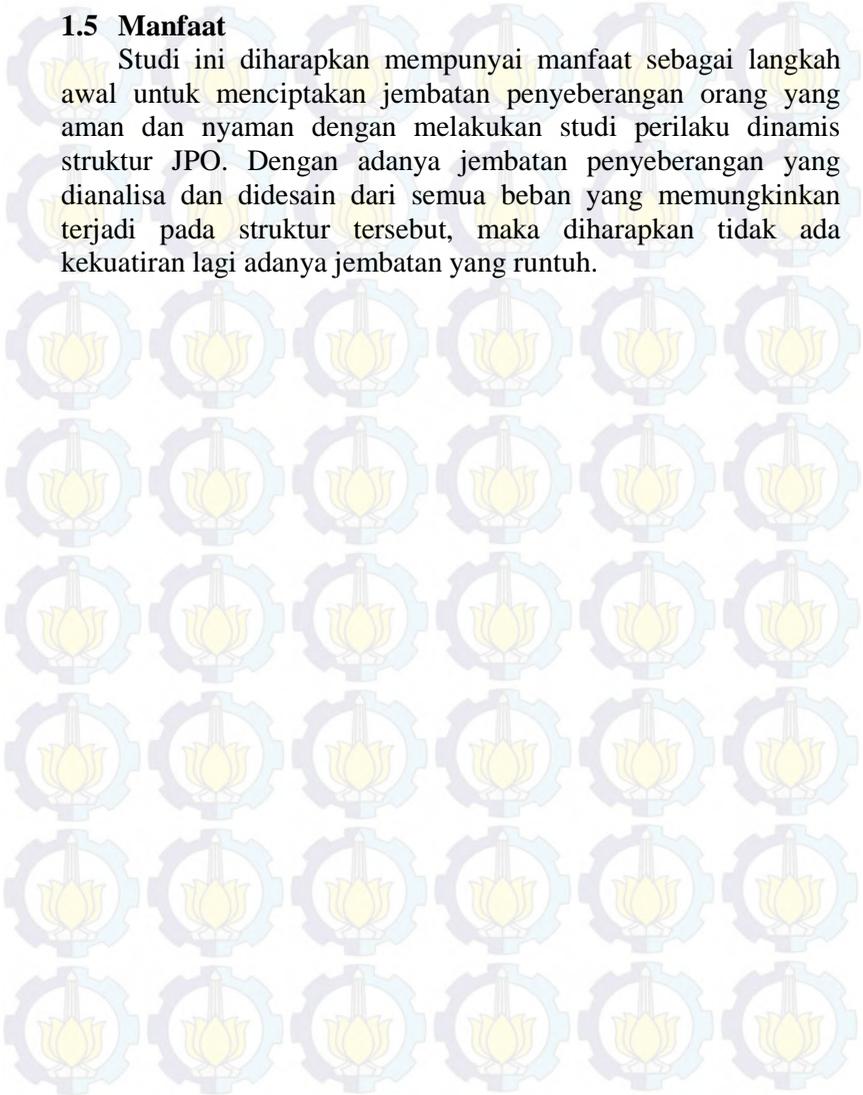
### **1.4 Tujuan**

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk memperhitungkan beban hidup manusia bergerak pada perencanaan jembatan penyeberangan orang. Tujuan rinci dari studi ini bisa diuraikan sebagai berikut:

1. Mengkaji perilaku dinamis jembatan penyeberangan orang.
2. Mengetahui nilai frekuensi alami dan respon struktur dengan British Standart.
3. Mengkaji perilaku JPO yang mengalami getaran yang disebabkan oleh beban dinamis manusia tersebut.

### **1.5 Manfaat**

Studi ini diharapkan mempunyai manfaat sebagai langkah awal untuk menciptakan jembatan penyeberangan orang yang aman dan nyaman dengan melakukan studi perilaku dinamis struktur JPO. Dengan adanya jembatan penyeberangan yang dianalisa dan didesain dari semua beban yang memungkinkan terjadi pada struktur tersebut, maka diharapkan tidak ada kekuatiran lagi adanya jembatan yang runtuh.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beban Dinamis**

Vibrasi adalah getaran yang terjadi pada suatu struktur yang bergerak mengacu pada titik keseimbangan. Manusia akan menerima level tertentu dari vibrasi tergantung pada lingkungan dan aktifitas yang mereka lakukan.. Umumnya, beberapa kriteria digunakan dalam mendesain berdasarkan tingkatan dari: a) frekuensi alami; b) karakteristik damping dan c) maksimum lendutan dan kecepatan yang terjadi. Manusia adalah sensor yang sensitif terhadap vibrasi. Setengah amplitudo dari 1.00mm atau kecepatan 0.5%g akan mengganggu manusia di tempat yang sepi seperti di rumah atau kantor. Jika lingkungan menjadi ramai seperti di *shopping mall* atau di jembatan penyeberangan, maka toleransi menjadi naik. Ketika manusia melakukan aktifitas seperti dalam konser musik, berdansa atau aerobik, level toleransi akan naik lebih lanjut. Kesensitifan juga akan bervariasi tergantung waktu vibrasi dan jarak dari sumber vibrasi (Wyatt, 1989).

British Standard BS 5400 (BSI, 1978) adalah standard yang pertama kali memperhatikan kemungkinan masalah vibrasi pada jembatan. Ide ini kemudian banyak diadopsi di beberapa kode, dan tahun 1989, International Standardization Organization mengeluarkan standard ISO 2631-2 (1989) yang meliputi beberapa lingkup vibrasi pada bangunan yang kemudian diadopsi dengan British Standard. Standard tersebut membatasi kecepatan untuk vibrasi-vibrasi sebagai fungsi waktu dan frekuensi, baik arah longitudinal maupun transversal dari manusia berdiri, duduk dan posisi tidur.

Suatu konsesus di Eropa pada tahun 1993 mengatakan bahwa frekuensi pada kelompok yang melakukan loncatan dan tetap sinkron adalah antara 1.5 Hz sampai 2.8Hz. Untuk itu Litter

(2003) meneliti tentang frekuensi yang disebabkan oleh manusia meloncat pada kelompok pada batasan 2.8Hz. Dilakukan pengujian empat orang dalam satu kelompok melakukan loncatan dengan waktu tertentu pada frekuensi dari 1 Hz sampai 3.4 Hz dengan memberikan musik yang sudah diketahui frekuensinya. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadinya sinkronisasi yang baik adalah pada frekuensi lebih cepat dari 2.8 Hz sehingga 2.8Hz bukan batasan atas dari beban akibat loncatan. Peneliti tersebut juga melakukan pengujian pada lantai untuk berdansa dan dalam melakukan desain untuk lantai dansa sudah diatur dalam BS6399 bagian 1 (BSI, 1996) bahwa lantai harus didesain dengan frekuensi alami tidak kurang dari 5 Hz.

Ellis (2004) meneliti tentang beban kelompok meloncat dengan menggunakan analisis numerikal. Analisa ini didasarkan atas hasil eksperimen dari 64 orang yang meloncat secara kelompok dan individu. Model dasar dari beban berkelompok yang bergerak ini didasarkan atas asumsi bahwa beban tersebut merupakan beban harmonis yang merupakan perkalian dari beban individu dan tambahan dari faktor pembebanan dinamik yang diselesaikan dengan menggunakan analisa Fourier, yang merupakan sebuah subjek yang mempelajari fungsi trigonometri yang lebih sederhana. Berdasarkan beban load individual dan eksperimen pada kelompok orang yang melakukan jumping diperoleh kesimpulan bahwa beban berkelompok bisa diaplikasikan sebagai model beban dinamis struktur.

Vibrasi pada lantai gedung akibat beban manusia berjalan telah dilakukan oleh Wahyuni (2009a) tepatnya pada lantai komposit. Beban manusia berjalan secara individu dibagi atas berjalan normal, cepat dan lambat. Model beban berjalan didasarkan dari penelitian Bachmann (1995) yang kemudian dikembangkan dengan membuat model matematis. Setelah dibuat model matematis maka dilakukan aplikasi beban pada struktur lantai komposit untuk mengetahui respon dinamis yang terjadi

dan dibandingkan dengan hasil pengetesan pada lantai tersebut akibat beban manusia berjalan. Ellis (2003) mengembangkan model beban berjalan sekelompok manusia, yang berbeda dengan model beban individu. Dilakukan pengetesan mengetahui respon dinamis pada lantai akibat 32 orang yang berjalan dengan tempo yang berbeda. Diketahui bahwa response dinamik (kecepatan) akibat sekelompok manusia akan meningkat sesuai dengan meningkatnya jumlah manusia dalam pengetesan dan diketahui pula bahwa peningkatan tersebut tidak linier dengan beban berjalan individu.

Brownjohn (2007) meneliti tentang modal mass di jembatan penyeberangan berdasarkan hasil eksperimen dari beban manusia dalam mempengaruhi perilaku dinamis struktur. Pada sistem jembatan yang memerlukan damping massa, maka modal mass sangat diperlukan dalam memperhitungkan vibrasi. Biasanya perhitungan masa tersebut dilakukan dengan eksperimen yang mahal, dan tidak praktis, sehingga dengan diberikannya suatu metode untuk memperkirakan modal mass akan sangat membantu. Metode ini didasarkan dari database hasil orang yang melompat, berjalan atau bergoyang pada pengetesan di laboratorium, sehingga untuk pengetesan di luar diberikan factor tambahan. Metode ini dievaluasi di empat jembatan penyeberangan orang, yang ditemukan keakuratan metode ini dengan kesalahan sekitar 15% untuk modal mass dimana gaya vertikal yang mendominasi. Metode yang ditawarkan ini dapat digunakan untuk struktur secara umum dimana resonansi akibat beban manusia yang perlu diperhatikan pada jembatan penyeberangan termasuk pula dalam memperhitungkan pelat lantai.

Wahyuni (2009a) telah membahas tentang respon dinamik pada lantai akibat beban manusia berjalan yang berupa kecepatan dan perpindahan. Respon dinamik lantai tersebut dibandingkan antara hasil pengetesan dan teoritis. Respon dinamik pada balok

beton bertulang di atas dua perletakan yang diakibatkan oleh beban manusia jumping (meloncat-loncat) dengan frekuensi lompatan tertentu juga di kaji pada Wahyuni (2007). Diketahui bahwa jenis loncatan dari orang yang ditest akan sangat mempengaruhi respon yang terjadi. Apakah seseorang meloncat dan kembali ke lantai dengan tumitnya, ataukah dengan ujung jari, ataukah dengan telapak kaki, yang pertama kali menyentuh lantai, akan memberikan perbedaan hasil. Setelah dilakukan berkali-kali maka diperoleh hasil yang memuaskan untuk mengetahui respon akibat manusia meloncat dan kemudian membandingkan dengan teori yang sudah ada.

Dari penelitian sebelumnya tersebut sudah diperoleh hasil yang menggembirakan untuk mengetahui respon struktur akibat beban manusia bergerak secara individu, sedangkan manusia yang bergerak secara kelompok atau bersamaan akan dikaji lebih lanjut dalam penelitian ini. Demikian pula dengan struktur yang pada penelitian sebelumnya, pengetesan dilakukan pada struktur jembatan penyeberangan baja dan beton maka pada penelitian ini akan dilakukan pengetesan pada struktur jembatan penyeberangan yang berbeda yaitu jembatan gantung .

## 2.2 Getaran Bebas

Sistem struktur akan mengalami getaran bebas jika sistem struktur tersebut mengalami gangguan dari posisi keseimbangan statiknya dan bergetar bebas tanpa adanya beban dinamik luar. Gangguan tersebut berupa peralihan lateral awal dan kecepatan awal.

Persamaan dinamik getaran bebas tanpa redaman adalah :

$$m\ddot{u} + k u = 0$$

Dimana :

m= massa struktur

k = kekakuan lateral

u = peralihan lateral

Karena struktur bergetar bebas, maka dalam persamaan diatas, pada suku sebelah kanan tidak ada gaya luar yang tergantung waktu yaitu  $p(t)$ .

Solusi umum persamaan getaran bebas adalah :

$$u = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

$$\dot{u} = -A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t$$

Gangguan awal berupa  $u(0)$  pada saat  $t=0$  dan  $\dot{u}(0)$  pada saat  $t=0$ . Dari persamaan diatas jika dimasukkan syarat awal tersebut maka didapat koefisien A dan B yaitu :

$$A = u(0) \qquad B = \frac{\dot{u}(0)}{\omega}$$

sehingga respon getaran bebas adalah :

$$u(t) = u(0) \cos \omega_n t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} \sin \omega_n t$$

$$\dot{u}(t) = \frac{d[u(t)]}{dt} \qquad \ddot{u}(t) = \frac{d[\dot{u}(t)]}{dt} = \frac{d^2[u(t)]}{dt^2}$$

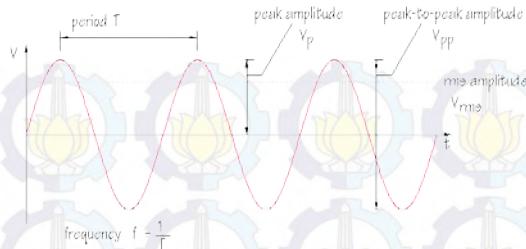
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{n}} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$$

Waktu yang diperlukan oleh sistem untuk melakukan satu kali getaran disebut periode getar alami  $T_n$  (*natural period of vibration*) dan berhubungan dengan frekuensi getar alami  $\omega_n$ . Periode getar alami dinyatakan sebagai berikut :

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \text{ (dt)}$$

Jumlah getaran yang dilakukan setiap detiknya disebut frekuensi  $f_n$  (*natural cyclic frequency*), dinyatakan sebagai berikut :

$$f_n = \frac{1}{T_n} \left[ \text{Hz} / \frac{\text{cyc}}{\text{sec}} \right] \qquad f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}$$



**Gambar 2.1** Periode Gelombang

Properti getaran alami hanya tergantung dari massa dan kekakuan struktur. Untuk 2 buah system dengan massa yang sama tetapi berbeda kekakuannya, sistem dengan kekakuan yang lebih besar mempunyai frukuensi alami yang lebih besar dan periode getar lebih pendek. Dan jika 2 buah struktur dengan kekakuan yang sama tetapi berbeda massanya, sistem dengan massa lebih besar mempunyai frekuensi alami lebih kecil dan periode getar lebih panjang, Hauksson (2005).

### 2.3 Jembatan Penyeberangan Orang

Fugueiredo dan lainnya (2008) mengembangkan model pembebanan yang akan mempengaruhi beban di jembatan penyeberangan orang. Pengaruh dari tumit manusia ketika berjalan juga dimasukkan dalam model beban. Dilakukan studi dari beberapa jembatan penyeberangan orang dengan tipe komposit dengan panjang jembatan antara 10-35 meter.

Pembebanan pada jembatan penyeberangan orang akibat beban manusia merupakan beban harmonik. Beban harmonik ini didasarkan atas interaksi antara beban satu kaki ketika berjalan dan simultan dengan satu kaki lagi yang tidak membebani. Model load dalam studi ini dinyatakan dalam bentuk matematis dimana amplitude terbesar adalah ditengah, dan frekuensi adalah dimisalkan sama dengan fundamental frekuensi alami jembatan. Model pembebanan dinamis yang biasanya dimodelkan secara

matematis dengan *Series Fourier* (Ellis, 2004) kemungkinan tidak sesimple series tersebut, karena adanya pengaruh tumit manusia ketika berjalan sehingga ada waktu *transient* dari model pembebanannya. Pengaruh tumit manusia dalam model beban ini dibuat faktor 1.12, namun demikian perlu ditekankan bahwa nilai ini sangat terpengaruh atau berbeda antara satu orang dengan yang lainnya.

Analisa dinamis dilakukan pada pemodelan numerik jembatan yang mempunyai panjang berbeda. Untuk maksud perhitungan secara praktis, analisa linear time-domain dilakukan dalam studi ini. Respon dinamik dari jembatan penyeberangan orang tersebut ditentukan dari frekuensi alami, penurunan, kecepatan dan percepatan yang terjadi akibat beban manusia berjalan.

Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa standard (ISO, 1989) untuk mendesain jembatan penyeberangan orang menghasilkan nilai yang tidak aman karena mereka didasarkan atas penyederhanaan model beban. Dideteksi dari tipe jembatan ini dapat mencapai tingkat getaran yang tinggi yang berarti ketidak nyamanan dari pengguna jembatan dan terutama keselamatannya.



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Uraian Tahapan Studi**

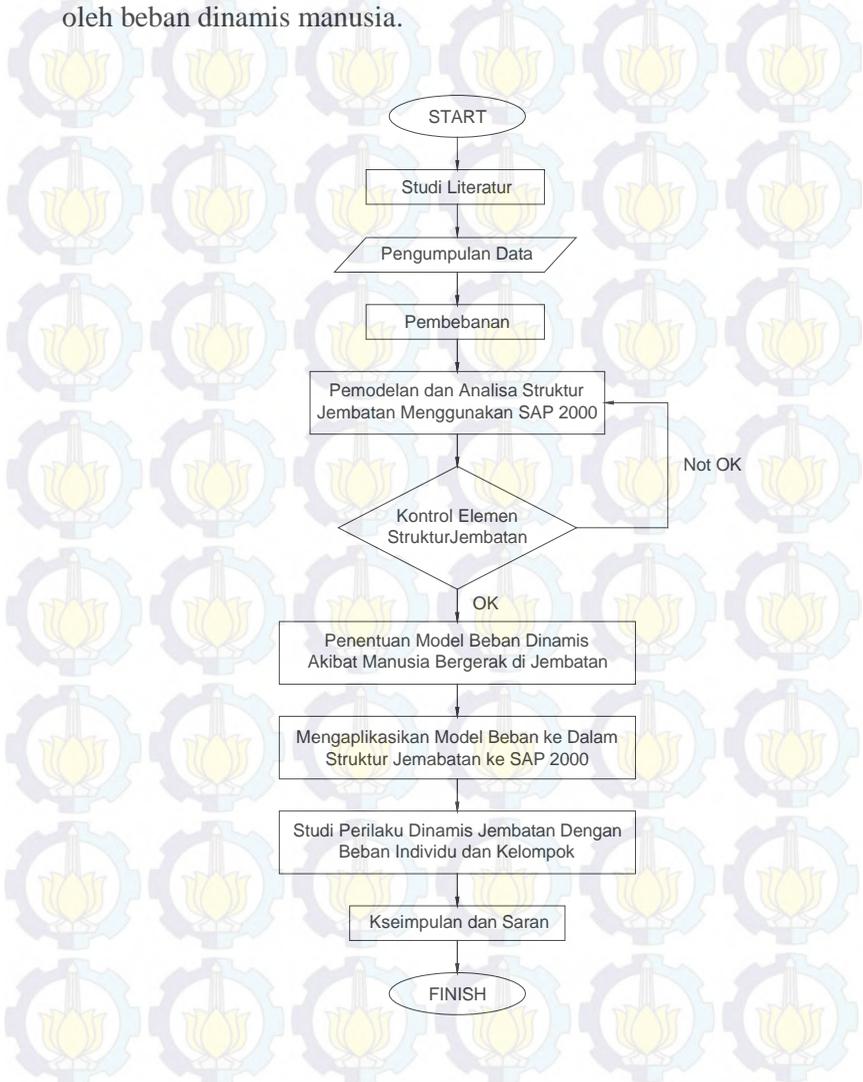
Tugas akhir ini akan dilaksanakan dengan studi literatur, melakukan kajian tentang pembebanan hidup akibat manusia bergerak. Metodologi penelitian dalam hal ini dengan sendirinya sudah termasuk didalam proses penelitian itu sendiri melalui cara berfikir kritis, logis dan aplikatif, misalnya dalam pembuktian teorema atau teori. Setelah kajian teoritik, kemudian akan dilakukan kajian numerik yang diuji dengan beberapa contoh dari struktur jembatan penyeberangan orang.

Pertama yang akan dilakukan adalah mengumpulkan data eksisting beberapa jembatan penyeberangan orang di Kabupaten Malang. Jembatan yang dipilih adalah jembatan gantung untuk pejalan kaki. Lalu mulai memodelkan struktur jembatan penyeberangan dengan menggunakan program SAP 2000. Setelah struktur jembatan sudah dapat dimodelkan, dilanjutkan dengan melakukan analisa struktur. Dengan melakukan analisa, dapat diketahui perilaku dinamis struktur jembatan yang biasa disebut dengan *free vibration*.

Tahap selanjutnya adalah akan dilakukan pembuatan model beban akibat manusia berjalan, dengan melakukan beberapa pengetestan dari hubungan manusia berjalan dengan struktur. Model beban manusia tersebut akan dibuat secara matematis sehingga bisa diterapkan dalam perhitungan analisa struktur jembatan. Pembebanan ini akan dihitung secara dinamis, sehingga akibat orang yang berjalan akan menghasilkan reaksi vertikal dan horisontal dan yang berubah terhadap waktu.

Dari pengujian ini dapat dilihat respon dinamis jembatan akibat beban dinamis manusia. Dan sebagai tujuan akhir dalam

penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur jembatan penyeberangan orang yang mengalami getaran yang disebabkan oleh beban dinamis manusia.



**Gambar 3.1** Diagram alir studi perilaku dinamis struktur JPO

### 3.2 Rancangan Studi

Rancangan studi ini meliputi yang pertama adalah melakukan studi tentang beban dinamis manusia pada struktur jembatan penyeberangan berdasarkan penelitian sebelumnya dan jurnal yang membahas tentang pengaruh beban dinamis manusia terhadap struktur jembatan penyeberangan.

Tahapan yang kedua adalah mengumpulkan data – data eksisting jembatan penyeberangan orang yang berada di Kabupaten Malang. Tipe struktur jembatan yang digunakan adalah jembatan gantung untuk pejalan kaki. Adapun data – data yang dibutuhkan meliputi :

1. Panjang bentang
2. Lebar jembatan
3. Jarak gelagar melintang
4. Jarak gelagar memanjang
5. Diameter kabel
6. Batang penggantung
7. Dimensi pylon
8. Gambar struktur

Setelah data terkumpul, tahapan ketiga adalah memodelkan struktur jembatan penyeberangan dengan menggunakan program SAP2000. dengan menganalisa pemodelan strrktur jembatan dapat diketahui *free vibration* (getaran bebas) dari struktur jembatan.

Tahap keempat adalah pembuatan pemodelan manusia berjalan sebagai beban dinamis pada struktur yang didapatkan dari studi literatur dan penelitian pendahuluan yang sudah dilakukan pengusul. Model beban dianamis manusia berupa model individu dan kelompok. Ellis2004 telah memodelkan beban individu dengan persamaan:

$$F(t) = G \left( 1 + \sum_{n=1}^l r_n \sin(2nf_n \pi t + \phi_n) \right)$$

Dimana :

F (t) = waktu variasi beban

G = berat individu

n = jumlah masa Fourier

rn = koefisien Fourier (atau dinamis load factor)

Tp = periode beban siklik atau kebalikan dari siklik frekuensi

φn = fase lag masa n

Program SAP2000 versi 14 akan digunakan sebagai alat bantu untuk menganalisa pembebanan manusia bergerak dengan metode *Time Domain*. Setelah dilakukan beberapa uji numerik, maka akan dibuat model beban dinamis tersebut secara matematis sehingga beban tersebut dapat digunakan dalam analisa struktur jembatan.

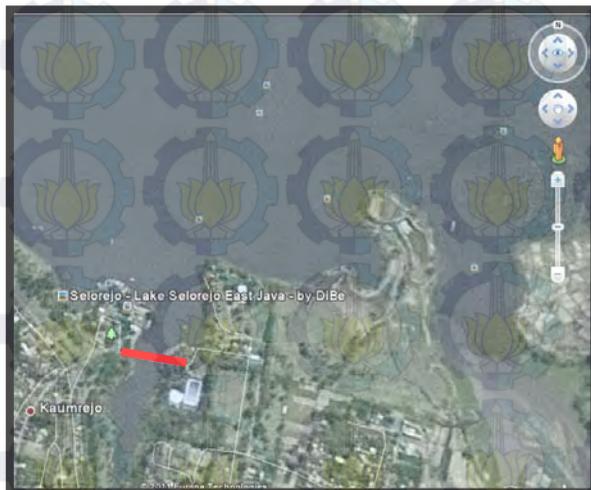
Setelah pembuatan pemodelan beban secara matematis maka rancangan penelitian *kelima* adalah melakukan analisa modal dari struktur jembatan penyeberangan dengan menggunakan software *finite element analisis* SAP 2000. Beberapa tipe jembatan penyeberangan orang yaitu tipe jembatan beton dan baja di Surabaya akan dianalisa kelakuan dinamis strukturnya dengan membuat beberapa tipe jembatan tersebut dengan panjang jembatan yang berbeda. Perbedaan panjang jembatan ini akan berguna sebagai gambaran umum dari kelakuan dinamis jembatan penyeberangan orang. *Mode shape* dan *natural frequency* dari jembatan tersebut akan di kaji sehingga dapat diperoleh batasan nilai frekuensi alami pada jembatan-jembatan tersebut. Batasan ini berhubungan dengan frekuensi beban manusia yang bergerak, dimana pada batasan frekuensi tertentu manusia akan mengalami kesulitan melakukan pergerakan. Pembatasan nilai frekuensi alami struktur ini sangat penting, karena dengan melihat batasan,

perencana akan mengetahui apakah frekuensi alami strukturnya berada pada batasan dimana struktur yang dibuat tersebut akan mengalami atau tidak mengalami resonansi. Kalau mengalami resonansi maka akan berakibat akan kegagalan struktur.

Setelah mengetahui model beban dan kelakuan alami jembatan penyeberangan, maka dibuat rancangan penelitian *keenam* adalah melakukan uji secara numerik dari model beban yang diaplikasikan pada jembatan-jembatan yang telah dianalisa sebelumnya. Dari rancangan keenam ini akan diketahui perilaku dinamis dari struktur jembatan penyeberangan orang, akibat beban dinamis manusia.

### 3.3 Lokasi Studi

Lokasi studi JPO pada tugas akhir ini berada di Desa Selorejo Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang, untuk peta lokasi bisa dilihat pada *Gambar.3.2*.



**Gambar 3.2** Lokasi Studi



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB IV**

### **PERENCANAAN DAN KONTROL STRUKTUR JPO**

#### **4.1 Data-data Perencanaan**

Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa kelakuan dinamis struktur jembatan penyeberangan. Namun sebelum melakukan analisa kelakuan dinamis struktur jembatan, dilakukan terlebih dahulu *check design* struktur jembatan gantung. Karena apabila ada pada perencanaan sebelumnya ada suatu kesalahan, maka akan mempengaruhi pada analisa numeriknya. Maka dari itu terlebih dahulu dilakukan *check design* terhadap struktur jembatan gantung.

#### **4.2 Data-data Teknis**

Konstruksi jembatan yang akan dicek adalah konstruksi jembatan gantung :

##### **4.2.1 Jembatan Penyeberangan Orang**

Nama Jembatan : Jembatan Penyeberangan Orang  
Lokasi : Desa Selorejo Kecamatan Ngantang  
Kabupaten Malang  
Tipe Jembatan : Jembatan Gantung  
Fungsi : Akses pejalan kaki untuk  
menyeberangi danau ngantang  
Panjang total : 84 m, terdiri dari 1 bentang.  
Lebar total : 2 m

##### **4.2.2 Spek Jembatan Gantung**

- Mutu baja : BJ37
- Kayu : Kelas I
- Pelat lantai : Papan 3cm x 20cm x 200cm
- Balok Memanjang : Kayu 6cm x 10cm
- Balok Melintang : *Double canal* 75x40x5x7
- Ikatan Angin : Siku 50x50x5
- Besi Penggantung : 16mm

- Wire rope : 2Ø1" (wire steel)
- Pylon : WF 600x300x12x20

### 4.3 Pemodelan Struktur Jembatan

1. Buka jendela SAP 2000 pada menu start, maka akan di tampilkan jendela SAP 2000 sebagai berikut :



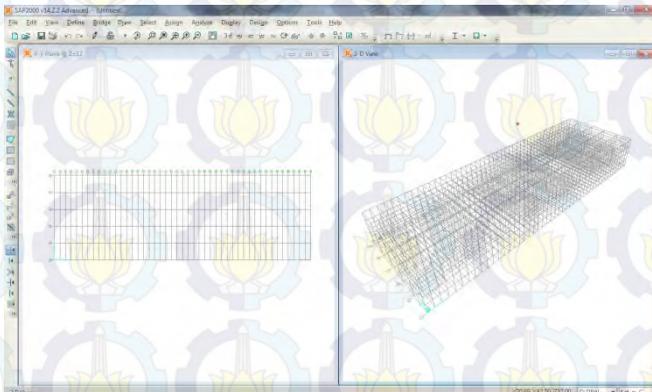
*Gambar 4.1* Menu Start Pada Windows

2. Rubah satuan global SAP 2000 yang berada pada jendela sebelah kanan bawah menjadi ( kgf.m ). Kemudian pilih menu file – *new model*, maka akan muncul tampilan sbb :



**Gambar 4.2** Menu New Model Pada SAP 2000

3. Kemudian pilih *grid only* pada tampilan tersebut, maka akan ditampilkan kotak isian sbb :



**Gambar 4.3** Tampilan Grid Only Pada SAP 2000

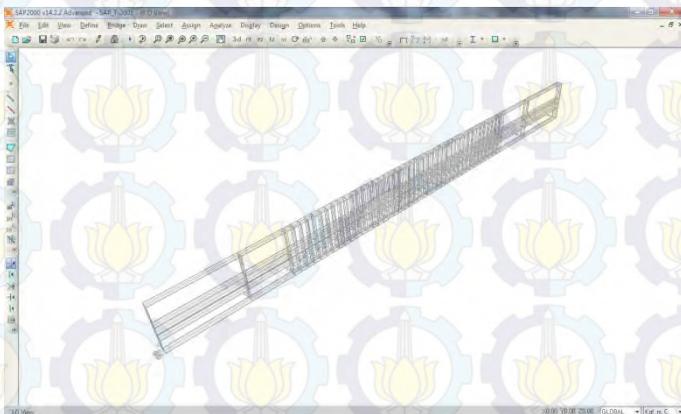
4. Edit grid data dengan cara klik kiri dua kali pada grid, kemudian akan ditampilkan tabel grid data. Setelah itu rubah grid data sesuai dengan jarak desain rencana sbb :

**Table 4.1** Tabel Grid Lines

TABLE: Grid Lines					
CoordSys	AxisDir	GridID	XRYZCoord	LineType	BubbleSize
Text	Text	Text	m	Text	m
GLOBAL	X	A	0	Primary	0,875
GLOBAL	X	B	21	Primary	
GLOBAL	X	C	33	Primary	
GLOBAL	X	D	35	Primary	
GLOBAL	X	E	37	Primary	
GLOBAL	X	F	39	Primary	
GLOBAL	X	G	41	Primary	
GLOBAL	X	H	43	Primary	
GLOBAL	X	I	45	Primary	
GLOBAL	X	J	47	Primary	
GLOBAL	X	K	49	Primary	
GLOBAL	X	L	51	Primary	
GLOBAL	X	M	53	Primary	
GLOBAL	X	N	55	Primary	
GLOBAL	X	O	57	Primary	
GLOBAL	X	P	59	Primary	
GLOBAL	X	Q	61	Primary	
GLOBAL	X	R	63	Primary	
GLOBAL	X	S	65	Primary	
GLOBAL	X	T	67	Primary	
GLOBAL	X	U	69	Primary	
GLOBAL	X	V	71	Primary	
GLOBAL	X	W	73	Primary	
GLOBAL	X	X	75	Primary	
GLOBAL	X	Y	77	Primary	
GLOBAL	X	Z	79	Primary	
GLOBAL	X	AA	81	Primary	
GLOBAL	X	AB	83	Primary	
GLOBAL	X	AC	85	Primary	
GLOBAL	X	AD	87	Primary	
GLOBAL	X	AE	89	Primary	
GLOBAL	X	AF	91	Primary	
GLOBAL	X	AG	93	Primary	
GLOBAL	X	AH	95	Primary	
GLOBAL	X	AI	97	Primary	
GLOBAL	X	AJ	99	Primary	
GLOBAL	X	AK	101	Primary	
GLOBAL	X	AL	103	Primary	
GLOBAL	X	AM	105	Primary	
GLOBAL	X	AN	107	Primary	
GLOBAL	X	AO	109	Primary	

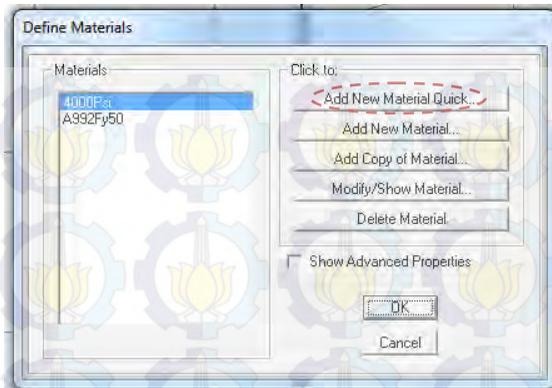
GLOBAL	X	AP	111	Primary	
GLOBAL	X	AQ	113	Primary	
GLOBAL	X	AR	115	Primary	
GLOBAL	X	AS	117	Primary	
GLOBAL	X	AT	131	Primary	
GLOBAL	X	AU	152	Primary	
GLOBAL	Y	1	0	Primary	
GLOBAL	Y	2	0,15	Primary	
GLOBAL	Y	3	0,65	Primary	
GLOBAL	Y	4	1,15	Primary	
GLOBAL	Y	5	1,65	Primary	
GLOBAL	Y	6	1,8	Primary	
GLOBAL	Z	Z1	0	Primary	
GLOBAL	Z	Z2	4	Primary	
GLOBAL	Z	Z3	6	Primary	
GLOBAL	Z	Z4	8	Primary	
GLOBAL	Z	Z5	14	Primary	

Perubahan grid setelah di edit adalah sbb :



**Gambar 4.4** Tampilan Grid Setelah di Edit

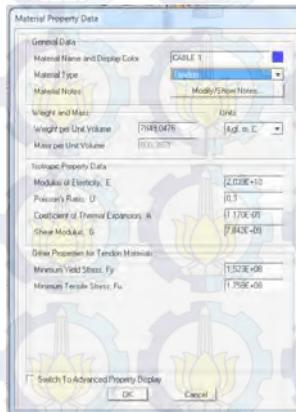
5. Mendefinisikan material dengan cara klik menu *define – material*, kemudian akan ditampilkan tabel pilihan material sbb :



**Gambar 4.5** Tampilan Menu Define Material

Pilih *add new material*, kemudian buat material untuk :

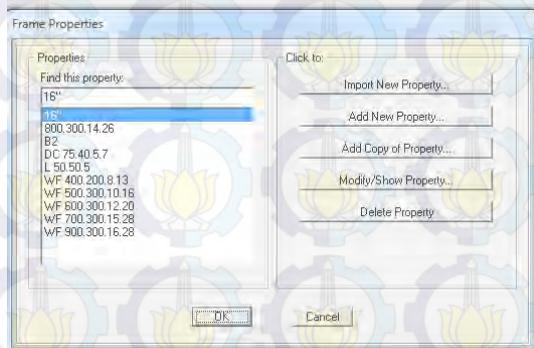
- Material baja BJ 37 dengan type material steel (untuk material balok melintang dan phylon).
- Material kayu dengan type material other (untuk material balok memanjang).
- Material kabel dengan type material tendon (untuk kabel penggantung).



**Gambar 4.6** Tampilan Menu Material Property Data

Untuk *properties material* di masukkan sesuai dengan spesifikasi material.

6. Mendefinisikan penampang element struktur dengan cara klik menu define – section properties – frame section/cable section/area section maka akan ditampilkan kotak pilihan sbb :



**Gambar 4.7** Tampilan Menu Frame Properties

Pilih *add new properties*, kemudian masukkan dimensi element struktur sesuai dengan desain rencana.

Balok melintang : Double Channel 75.40.5.7

Balok memanjang : Kayu 6/10 cm

Kabel penggantung : Ø16 mm ( wire rope )

Kabel utama : 2 x 1 inchi

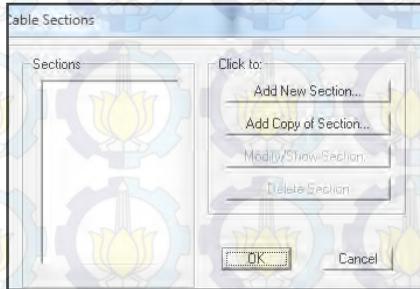
Phylon : WF 600.300.12.20

Penghub. Phylon : WF 400.200.8.13

Contoh :

Membuat penampang kabel Ø 1 inci :

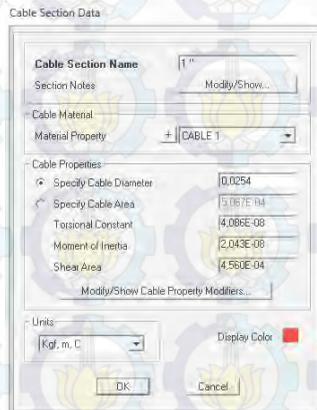
- Klik menu *define – frame section – cable section*, maka akan ditampilkan tab sebagai berikut :



**Gambar 4.8** Tampilan Menu Cable Section

- Pilih *add new section*

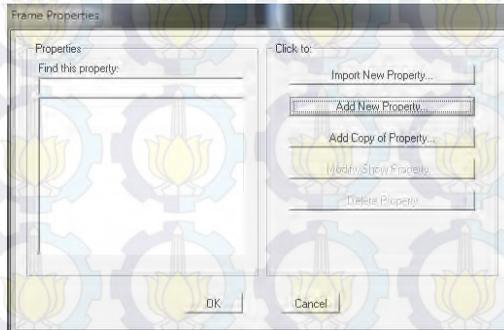
Pada tab isikan *cable section name* 1" & *material property* pilih CABLE 1 sesuai yang didefinisikan sebelumnya. Untuk *cable property* isikan *specify cable diameter* 25,4 cm. Setelah itu klik OK.



**Gambar 4.9** Tampilan Menu Cable Section Data

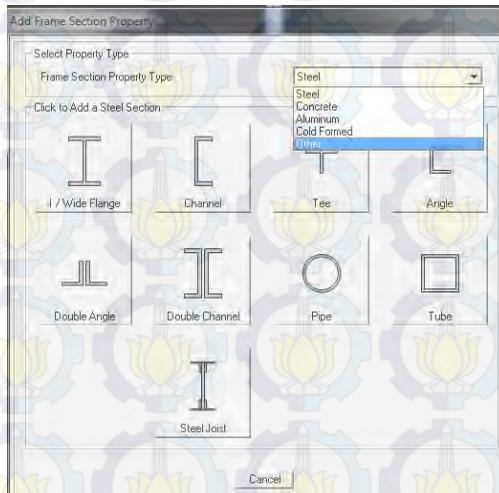
Membuat penampang balok memanjang ( kayu ) :

- Klik menu *define – frame section – frame section*, maka akan ditampilkan tab sebagai berikut :



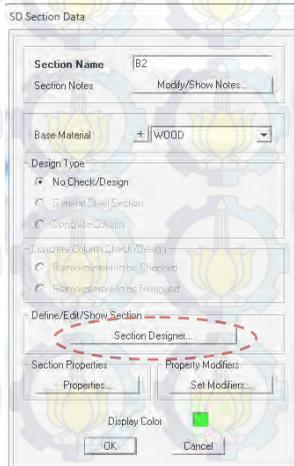
**Gambar 4.10** Tampilan Menu Frame Properties

- Pilih *add new property*, maka akan ditampilkan tab sbb :



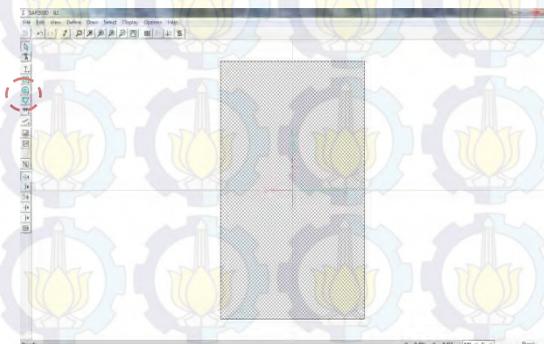
**Gambar 4.11** Tampilan Menu Add New Property

- Pada tab isikan *add new property*, pilih *frame section property OTHER – SECTION DESIGNER*. Isikan *section name* B2 dan *base material* WOOD sesuai yang didefinisikan pada *define material*.



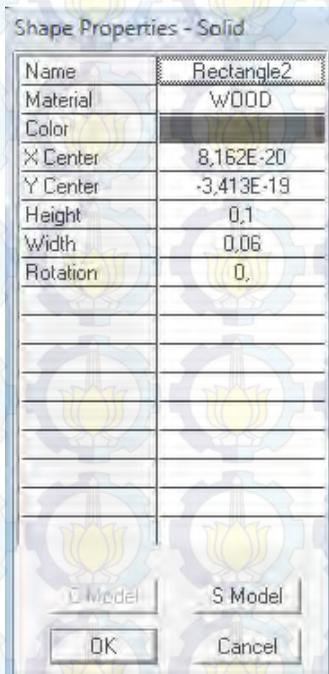
**Gambar 4.12** Tampilan Menu SD Section Data

- Klik *section designer*, maka akan muncul jendela *section designer* sbb :



**Gambar 4.13** Tampilan Menu Section Designer

- *Draw section* menggunakan *icon draw solid shape - rectangle*, kemudian klik 1 kali pada tengah koordinat. Setelah itu klik kanan penampang maka akan ditabelkan isian sbb :

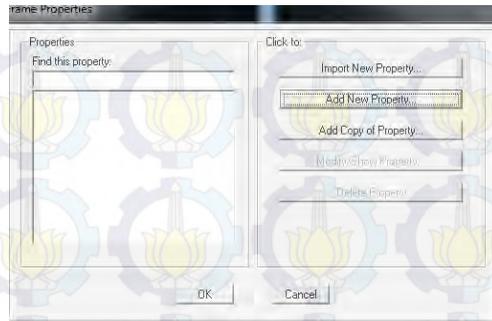


**Gambar 4.14** Tampilan Menu Shape Properties

Isikan material WOOD, height 10 cm, width 6 cm kemudian klik OK.

Membuat penampang phylon ( WF 600.300.12.20 ) :

- Klik menu *define – frame section – frame section*, maka akan ditampilkan tab sebagai berikut :



**Gambar 4.15** Tampilan Menu Frame Properties

- Pilih *add new property*, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.16** Tampilan Menu Add New Property

- Pada tab isikan *add new property*, pilih *frame section property STEEL- WIDE FLANGE*. Isikan section name *PHYLON* dan pilih material *STEEL* sesuai yang didefinisikan pada *define material*.
- Isikan dimensi profil pada kotak isian *dimensions* sesuai dengan spesifikasi, setelah itu klik *OK*.

- Ulangi dengan cara yang sama untuk profil baja yang lainnya seperti profil balok melintang Double Channel 75.40.5.7

Membuat penampang deck jembatan ( deck kayu  $t = 2 \text{ cm}$  ) :

- Klik menu *define – frame section – area section*, maka akan ditampilkan tab sebagai berikut :



**Gambar 4.17** Tampilan Menu Area Sections

- Pilih *add new section*, maka akan ditampilkan tab sbb :



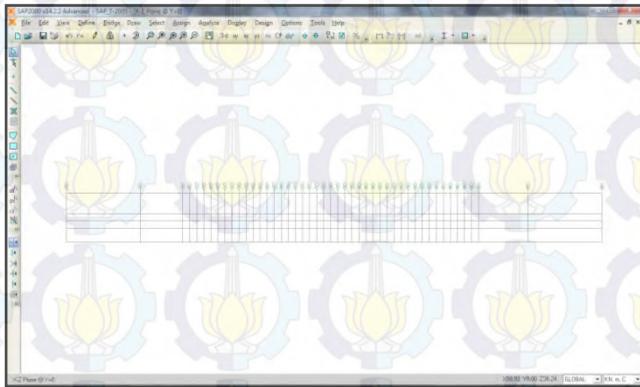
**Gambar 4.18** Tampilan Menu Shell Section Data

- Pada tab isikan *section name* DECK & pilih type SHELL THIN. Material name WOOD kemudian isikan *material angel* 0 & thickness untuk *membrane* 2 cm dan *bending* 2 cm. Setelah semua selesai klik OK.

7. Draw model pada grid yang tampil di layar SAP 2000.

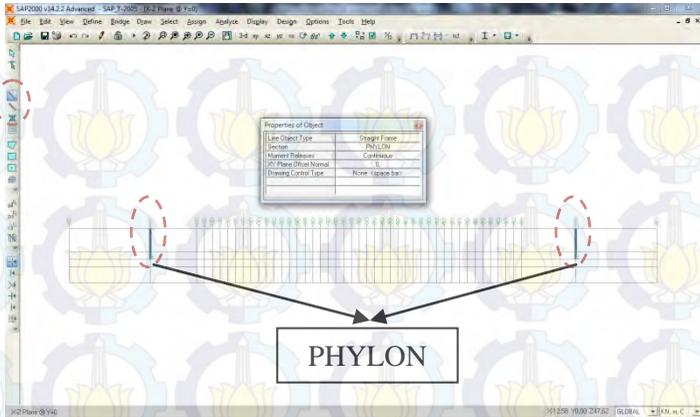
a. Draw element PHYLON

- Atur grid pada jendela SAP 2000 sebagai X,Z plan dengan Y = 0 dengan icon XZ di sebelah atas, sehingga penampilan grid sebagai berikut :



**Gambar 4.19** Tampilan Plan X,Z pada SAP 2000

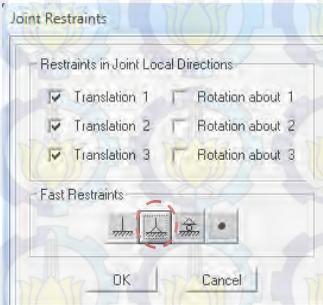
- Klik icon *Draw Frame/Cable Element* yang berada di jendela SAP 2000 sebelah kiri. Maka akan ditampilkan seperti berikut :



**Gambar 4.20** Hasil Draw Element Phylon

Pada tab tersebut pilih *line type straight frame & section PHYLON*. Kemudian drawing seperti terlihat pada gambar di atas.

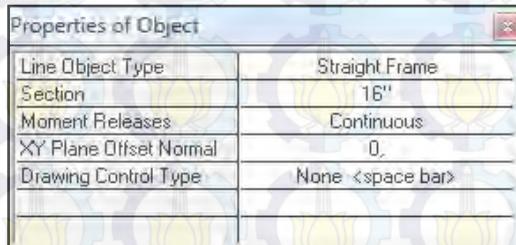
- Untuk memberikan *restraint* / perletakan klik ujung bawah frame, pilih menu *Assign - Joint - Restraint* kemudian pilih perletakan sendi.



**Gambar 4.21** Tampilan Menu Joint Restraint

b. Draw element kabel vertikal Ø16 mm

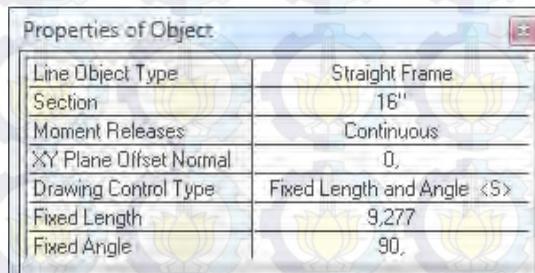
- Klik icon Draw Frame/Cable Element yang berada di jendela SAP 2000 sebelah kiri. Maka akan ditampilkan seperti berikut :



Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	16"
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0,
Drawing Control Type	None <space bar>

**Gambar 4.22** Tampilan Menu Properties of Object

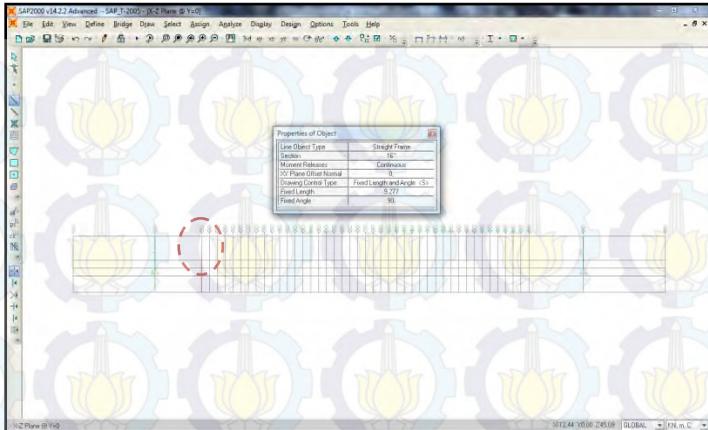
- Setelah itu klik grid pada ujung bawah dimana frame cable akan di draw. Kemudian pada tab di atas pilih Section 16 “ yang dibuat pada frame section sebelumnya. Pada *drawing control type* pilih *fixed length and angel* kemudian isikan sebagai berikut :



Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	16"
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0,
Drawing Control Type	Fixed Length and Angle <S>
Fixed Length	9,277
Fixed Angle	90,

**Gambar 4.23** Tampilan Menu Properties of Object

- Setelah tergambar akhiri dengan klik kanan pada ujung frame dan hasilnya sbb :

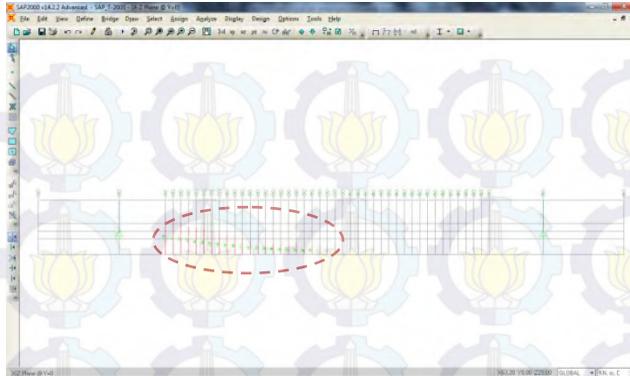


**Gambar 4.24** Tampilan Plane X,Z SAP 2000

- Lakukan langkah di atas untuk menggambar frame kabel yang lainnya dengan panjang kabel hingga tengah bentang adalah sbb :

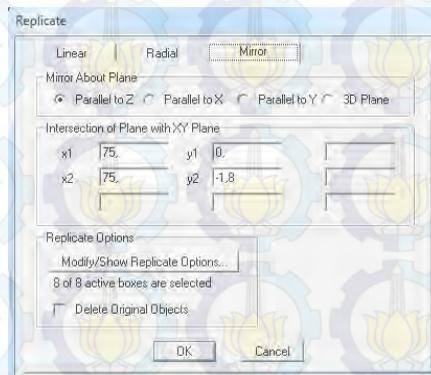
**Tabel 4.2** Tabel Panjang Kabel

STA	LENTH (m)	16	4,899	32	2,366
0	9,277	18	4,496	34	2,234
2	8,614	20	3,782	36	2,132
4	8	22	3,471	38	2,059
6	7,389	24	3,191	40	2,015
8	6,827	26	2,94	42	2
10	6,297	28	2,719		
12	5,799	30	2,528		
14	5,333				



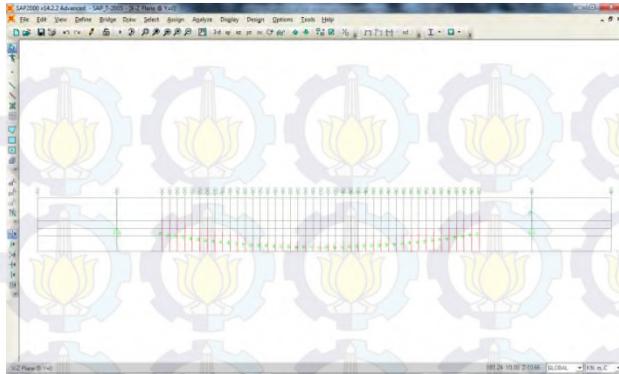
**Gambar 4.25** Hasil Draw element kabel vertikal  $\varnothing 16$  mm

- Setelah itu select frame hingga tengah bentang tersebut, kemudian pilih menu edit – replicate maka akan muncul tab seperti di bawah ini :



**Gambar 4.26** Tampilan Menu Replicate

- Kemudian isikan koordinat untuk mirror seperti di atas, jadi frame di cerminkan terhadap sumbu Z dengan koordinat ( x, y ) adalah ( 75 , 0 ) & ( 75 , - 2 ).



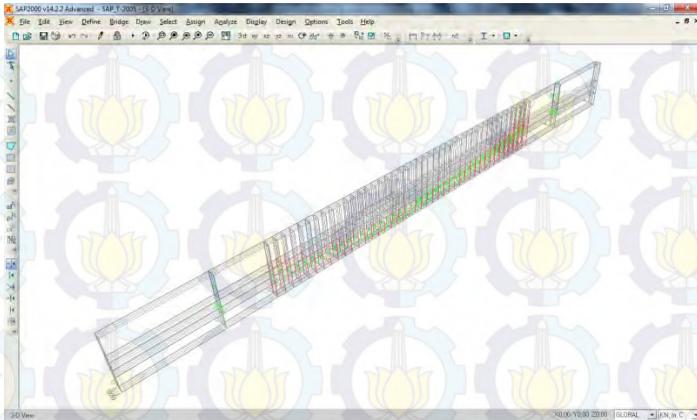
**Gambar 4.27** Tampilan Hasil Replicate (Mirror)

- Setelah selesai di mirror, select semua frame kabel vertikal dan PHYLON kemudian pilih menu edit – replicate maka akan muncul tab seperti di bawah ini :



**Gambar 4.28** Tampilan Menu Replicate

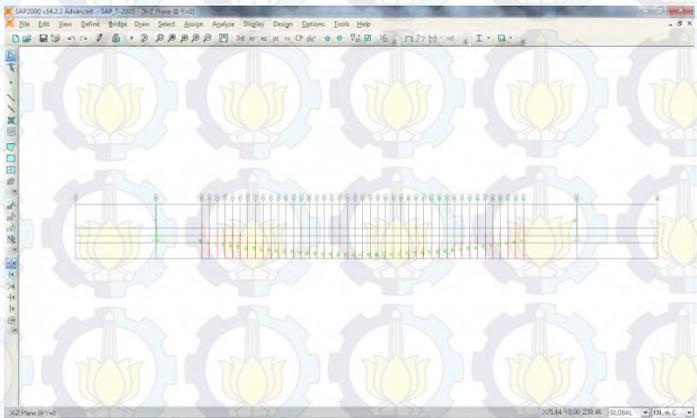
Pada kotak isian linear isikan pada tab dy 2 m untuk mencopy frame kabel vertikal dan PHYLON yang sudah ada. Hasilnya adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.29** Tampilan Hasil Replicate (Copy)

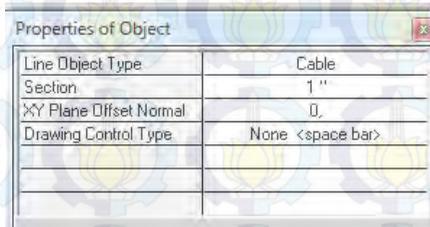
c. Draw element kabel penggantung  $\varnothing$  1 inci

- Atur grid pada jendela SAP 2000 sebagai X,Z plan dengan  $Y = 0$  dengan icon XZ di sebelah atas, sehingga penampilan grid sebagai berikut :



**Gambar 4.30** Tampilan Plane X,Z SAP 2000

- Klik icon Draw Frame/Cable Element yang berada di jendela SAP 2000 sebelah kiri. Maka akan ditampilkan tab seperti berikut :



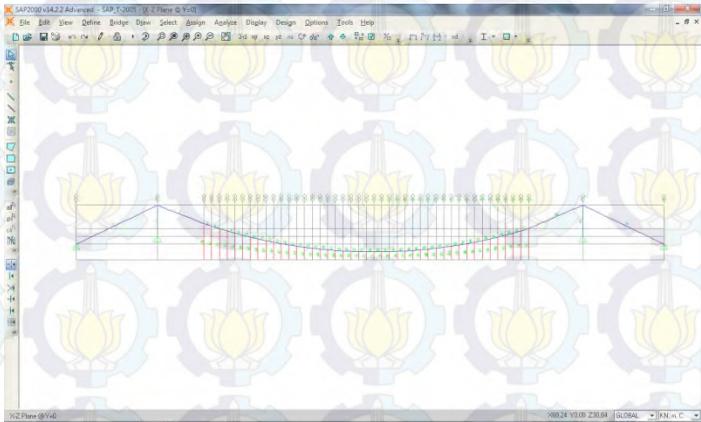
**Gambar 4.31** Tampilan Menu Properties of Object

- Pilih line object type CABLE & section name 1 “ sesuai yang didefinisikan sebelumnya pada cable section.
- Setelah itu mulai menggambar kabel penggantung sebelah kiri, klik dari titik grid kiri bawah sampai ke atas PHYLON. Maka akan muncul tab sbb :



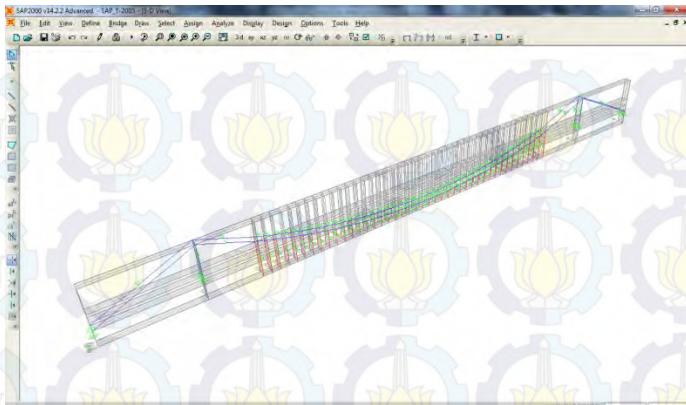
**Gambar 4.32** Tampilan Menu Cable Geometry

- Cable type pilih CABLE TENSION AT I END, kemudian pada kotak tension at I end isikan 781 KN sebagai gaya tarik kabel sesuai spesifikasi kabel. Setelah itu memberikan perletakan kabel sebagai sendi dengan cara pilih menu assign – joint – restraint pilih perletakan sendi.
- Lakukan langkah di atas hingga kabel mencapai tengah bentang. Setelah itu, lakukan mirror sama seperti langkah sebelumnya. Dan hasilnya sbb :



**Gambar 4.33** Tampilan Hasil Replicate (Mirror)

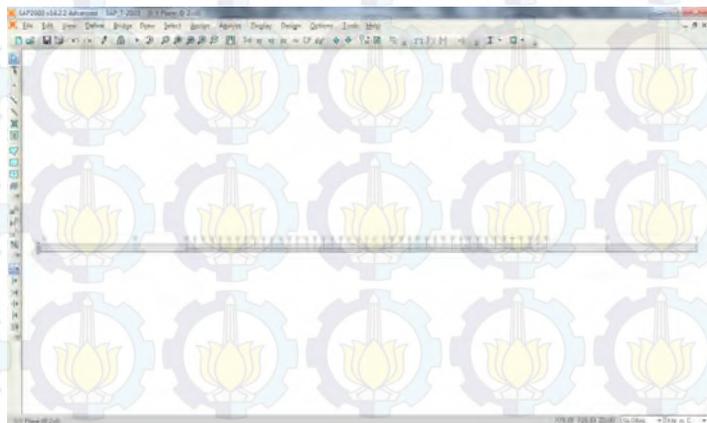
- Pilih kabel penggantung 1 “ dengan cara pilih menu select – properties – cable properties kemudian pilih kabel 1 “. Setelah terpilih maka lakukan replicate kabel menggunakan menu edit – replicate. Lakukan seperti mereplicate kabel vertikal. Dan hasilnya sbb :



**Gambar 4.34** Tampilan Hasil Replicate (Copy)

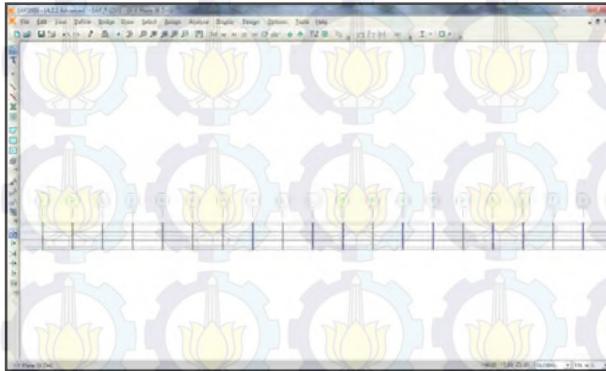
d. Draw element balok melintang Double Channel 75.40.5.7

- Atur grid pada jendela SAP 2000 sebagai X,Y plane dengan Z = 0 dengan icon XY di sebelah atas, sehingga penampilan grid sebagai berikut :



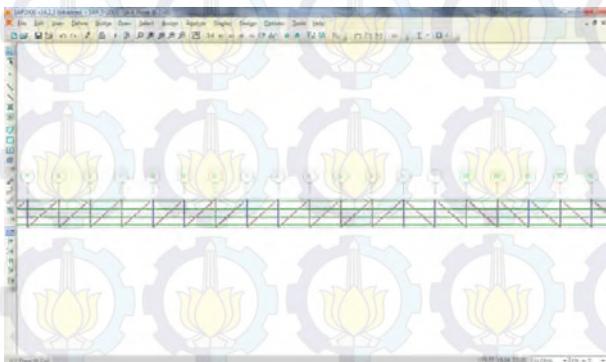
**Gambar 4.35** Tampilan Plane X,Y SAP 2000

- Setelah itu pilih icon draw frame/cable element di sebelah kiri jendela SAP 2000. Kemudian draw element dari bagian kiri atau kanan. Untuk mempercepat draw 1 frame saja, kemudian gunakan menu edit – replicate. Dan hasilnya adalah sbb :



**Gambar 4.36** Hasil Draw Element Balok Melintang

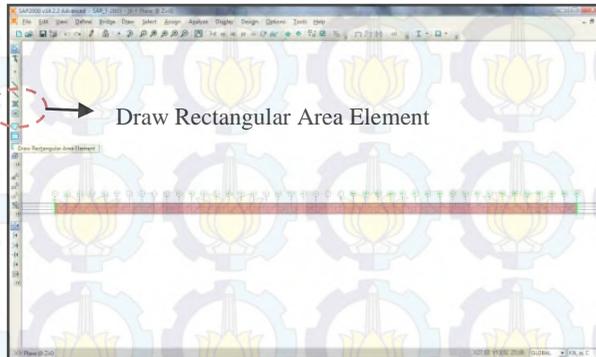
- Untuk drawing element balok memanjang dan bracing menggunakan langkah yang sama dengan balok melintang. Sehingga hasilnya adalah sbb :



**Gambar 4.37** Hasil Draw Element Ikatan Angin

e. Draw element deck jembatan

- Atur grid pada jendela SAP 2000 sebagai X,Y plan dengan  $Z = 0$  dengan icon XY di sebelah atas, setelah itu draw area menggunakan icon **draw rectangular area element** disebelah kiri layar SAP 2000. Hasilnya adalah sbb :



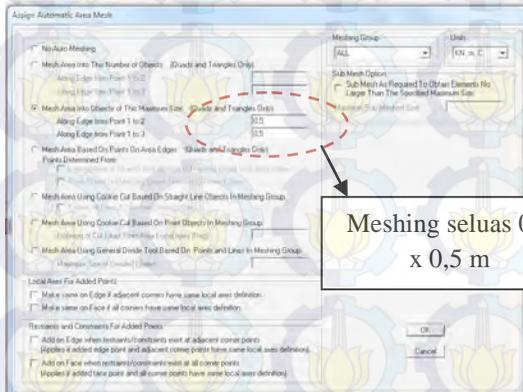
*Gambar 4.38* Hasil Draw Element Deck Jembatan

- Setelah semua element deck jembatan tergambar, select deck tersebut kemudian pilih menu assign – area – generate edge constraint kemudian pilih create constraint around the object.

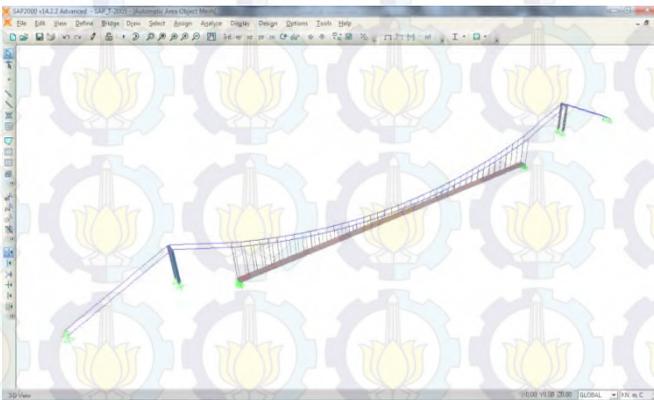


*Gambar 4.39* Hasil Draw Element Deck Jembatan

- Setelah selesai pilih kembali element deck, kemudian pilih menu assign – area – automatic area mesh – mesh area into object of this maximum size untuk meshing area element deck.



**Gambar 4.40** Tampilan Menu Assign Automatic Area Mesh

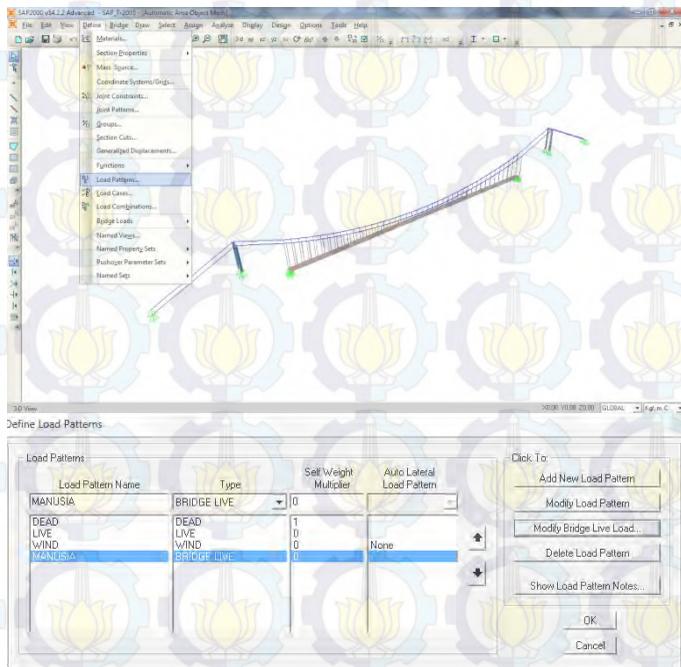


**Gambar 4.41** Hasil Akhir Pemodelan Struktur Jembatan

#### 4.4 Pembebanan Struktur JPO Gantung

##### 1. Mendefinisikan Load Pattern ( Jenis beban yang bekerja pada struktur JPO gantung )

- Setelah pemodelan struktur jembatan JPO selesai, pilih menu Define – Load Pattern maka akan muncul tab sbb :



**Gambar 4.42** Tampilan Menu Define Load Pattern

**Tabel 4.3** Tabel Define Load Pattern

LOAD PATTERN NAME	TYPE	SELF WEIGHT MULTIPLIER
DEAD	DEAD	1
LIVE	LIVE	0
WIND	WIND	0
MANUSIA	BRIDGE LIVE	0

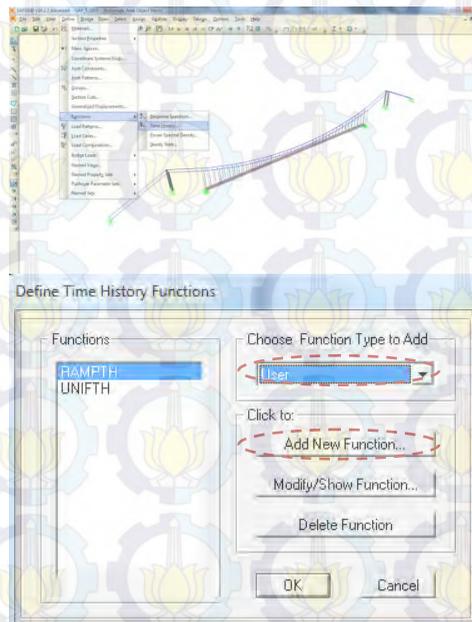
- Untuk load pattern DEAD self weight multiplier isikan 1 untuk memperhitungkan beban sendiri struktur JPO gantung. Untuk menambahkan Load Pattern gunakan Add New Load Pattern.
- Setelah selesai membuat semua load pattern klik OK

2. Mendefinisikan beban manusia berjalan berdasarkan fungsi waktu dengan data sbb :

**Tabel 4.4** Tabel Beban Manusia Berjalan Berdasarkan Fungsi Waktu

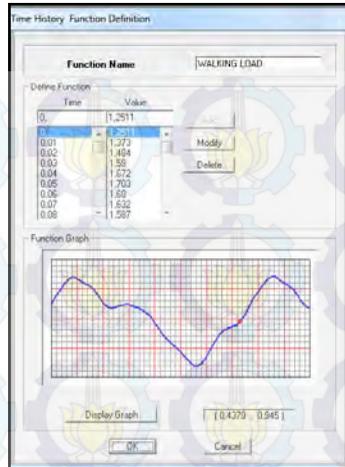
time (s)	force	time	force
0	1,251094	0.31	0,346618
0.01	1,37296	0.32	0,264861
0.02	1,484365	0.33	0,202043
0.03	1,589709	0.34	0,186862
0.04	1,67186	0.35	0,238327
0.05	1,703333	0.36	0,347978
0.06	1,68048	0.37	0,483858
0.07	1,632238	0.38	0,613166
0.08	1,58758	0.39	0,718102
0.09	1,54295	0.40	0,792485
0.10	1,472709	0.41	0,835468
0.11	1,369194	0.42	0,858017
0.12	1,261394	0.43	0,888955
0.13	1,190593	0.44	0,959178
0.14	1,173998	0.45	1,074011
0.15	1,195506	0.46	1,208503
0.16	1,225188	0.47	1,335135
0.17	1,24089	0.48	1,448892
0.18	1,23523	0.49	1,556849
0.19	1,212291	0.50	1,649673
0.20	1,181066	0.51	1,6997
0.21	1,146234	0.52	1,692475
0.22	1,100795	0.53	1,648365
0.23	1,030848	0.54	1,601094
0.24	0,931837	0.55	1,558925
0.25	0,818361	0.56	1,49946
0.26	0,713851	0.57	1,405174
0.27	0,630829	0.58	1,294005
0.28	0,563746	0.59	1,207649
0.29	0,499031	0.60	1,173889
0.30	0,427193		

- Langkah awal pilih menu Define – Function – Time History maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.43** Tampilan Menu Define Time History Functions

- Setelah itu pilih User pada tab Choose Function Type to Add, kemudian pilih Add New Function. Maka akan ditampilkan tab sbb :

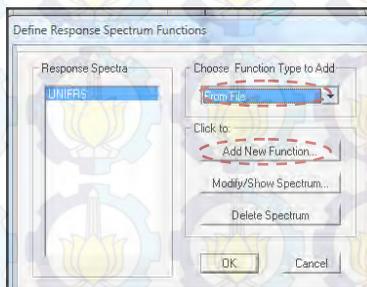


**Gambar 4.44** Tampilan Menu Time History Function Definition

- Isikan Function Name WALKING LOAD serta data beban manusia berjalan berdasarkan fungsi waktu sesuai dengan data yang ada pada kotak isian Define Function. Dan hasilnya seperti terlihat di atas.

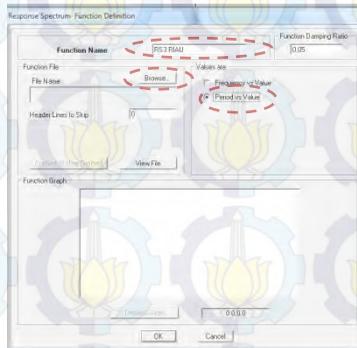
### 3. Mendefinisikan beban gempa pada struktur JPO

- Langkah awal pilih menu Define – Function – Response Spektrum maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.45** Define Response Spectrum Functions

- Setelah itu pilih From File pada tab Choose Function Type to Add, kemudian pilih Add New Function. Maka akan ditampilkan tab sbb :



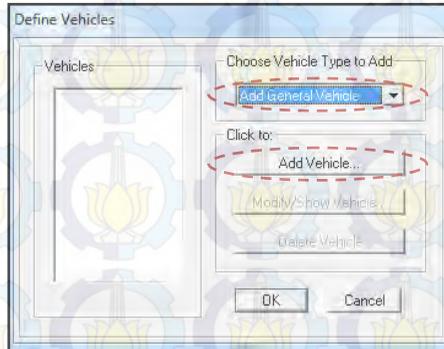
**Gambar 4.46** Response Spectrum Function Definition

- Isikan Function Name RS3 RIAU serta PILIH PERIODE VS VALUE kemudian browse file. File yang anda browse harus dibuat dulu dalam bentuk text pada notepad agar bisa di import ke SAP 2000. Hasil Display Graphnya adalah sbb :



**Gambar 4.47** Function Graph Response Spectrum

- Setelah selesai membuat semua load pattern klik OK
3. Mendefinisikan beban manusia berjalan ( beban point ) pada struktur JPO.
- Langkah awal pilih menu Define – Bridge Load – Vehicle maka akan ditampilkan tab sbb :



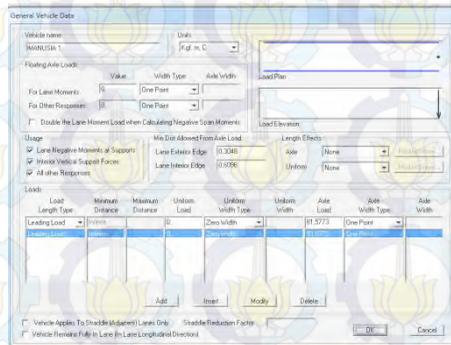
**Gambar 4.48** Tampilan Menu Define Vehicles

- Setelah itu pilih Add General Vehicle pada tab Choose Function Type to Add, kemudian pilih Add Vehicle. Maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.49** Tampilan Menu General Vehicle Data

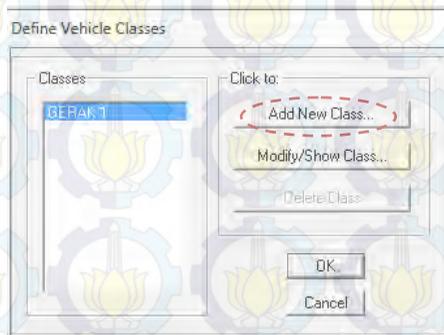
- Isikan Vehicle Name MANUSIA 1 serta ubah satuan menjadi N.mm kemudian pada kotak Loads isikan Load Length Type LEADING LOAD, Minimum Distance INFINITE, Uniform Load isikan 0, Uniform With Type isikan ZERO WIDTH, Axle Load isikan 800 N, Axle Width Type One Point. Kemudian klik Add, setelah itu klik OK.



**Gambar 4.50** Tampilan Menu General Vehicle Data

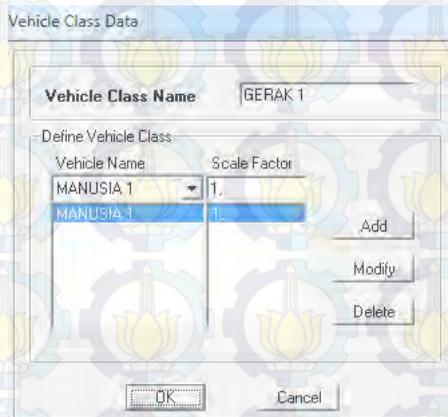
#### 4. Mendefinisikan VEHICLE CLASSES

- pilih menu Define – Vehicle Classes maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.51** Tampilan Menu Define Vehicle Classes

- Setelah itu pilih Add New Classes, maka akan ditampilkan tab sbb :

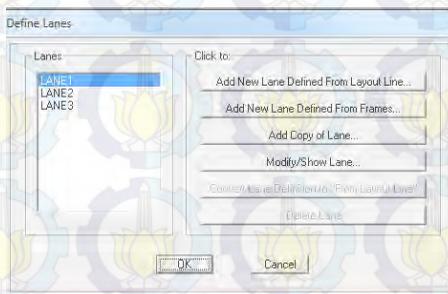


**Gambar 4.52** Tampilan Menu Vehicle Class Data

- Setelah itu isikan Vehicle Class Name GERAK 1 & pada kotak isian Define Vehicle Class pilih Vehicle Name MANUSIA 1 dengan Scale Factor 1 lalu klik Add. Setelah selesai klik OK. Hasilnya seperti gambar di atas :

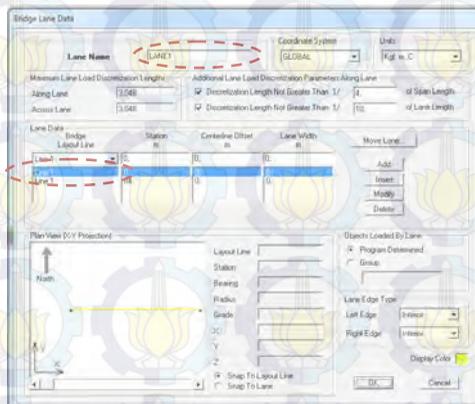
#### 4. Mendefinisikan beban LANE pada jembatan JPO Gantung

- pilih menu Define – Lane maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.53** Tampilan Menu Define Lanes

- Setelah itu pilih Add New Lane Defined From Layout Line, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.54** Tampilan Menu Bridge Lane Data

- Setelah itu isikan Lane Name LANE 1, kemudiannpada kotak isian Lane Data isikan Bridge Layout Line dengan Line 1 Station 0 – 84 ( Panjang Jembatan Gantung ), Centre Line Offset 0 serta Lane Width 0. Setelah itu klik OK & lakukan untuk LANE 2 dan LANE 3 ( ada 3 LANE ).

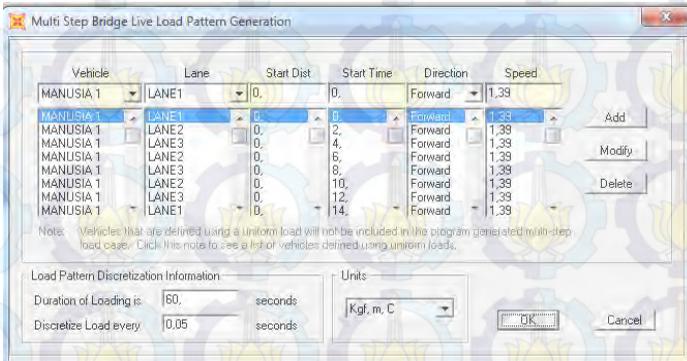
#### 4. Mendefinisikan load pattern untuk beban manusia

- Pilih menu Define – Load Pattern maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.55** Tampilan Define Load Pattern

- Isikan Load Pattern Name MANUSIA dengan Type BRIDGE LIVE. Self Weigt Multiplier isikan 0, setelah itu klik Add New Load Pattern.
- Setelah itu pilih beban tersebut, kemudian pilih Modify Bridge Live Load maka akan ditampilkan tab sbb :

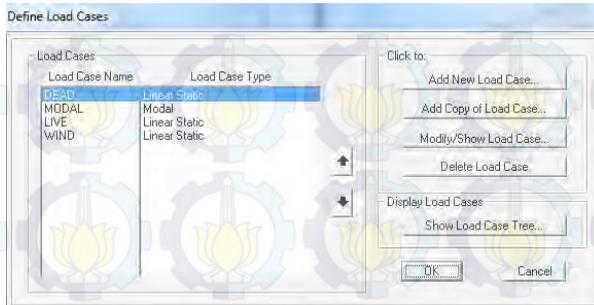


**Gambar 4.56** Multi Step Bridge Live Load

Isikan Vehicle dengan MANUSIA , untuk Lane disesuaikan dan start time tiap selisih 2 detik. Direction pilih forward dan speed isikan 1,39 m/s. Untuk duration of loading isikan 60 detik.

#### 4. Mendefinisikan Load Case yang bekerja pada struktur JPO Gantung.

- Pilih menu Define – Load Case maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.57** Tampilan Menu Define Load Case

- Untuk mengubah beban mati menjadi beban nonlinear pilih Load Case Name DEAD kemudian pilih Modify Show Load Case, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.58** Tampilan Menu Load Case Data

Pilih analisis type Nonlinear, kemudian klik OK.

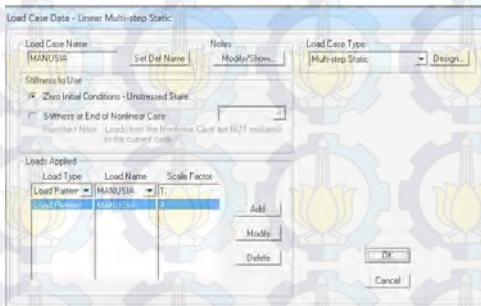
- Untuk menubah load case MODAL pilih Load Case Name MODAL kemudian pilih Modify Show Load Case, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.59** Tampilan Menu Load Case Data

Isikan maximum number of modes 30, kemudian klik OK.

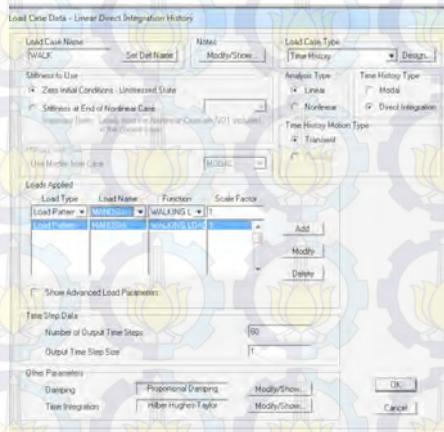
- Selanjutnya pilih Add New Load Case, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.60** Tampilan Menu Load Case Data Linier Multi Step Static

Isikan load case name MANUSIA dengan load case type Multi – Step Static, kemudian pada load applied pilih load name MANUSIA dengan scale factor 1. Kemudian Klik OK.

- Untuk membuat Load Case Type Time History pilih Add New Load Case, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.61** Tampilan Menu Load Case Data

Isikan load case name WALK dengan load case type Time History, kemudian pada time history type pilih Direct Integration. Pada tab Load Applied isikan Load Name MANUSIA dengan function WALKING LOAD. Time step data isikan number of output time step 60 detik.

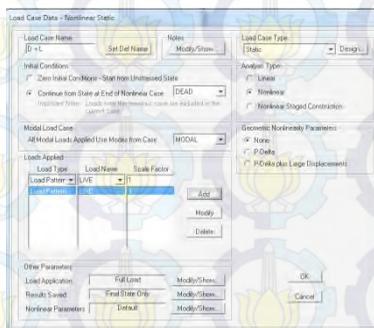
- Untuk mendefinisikan beban gempa yang bekerja pada struktur JPO pilih Add New Load Case, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.62** Tampilan Menu Load Case Data Response Spectrum

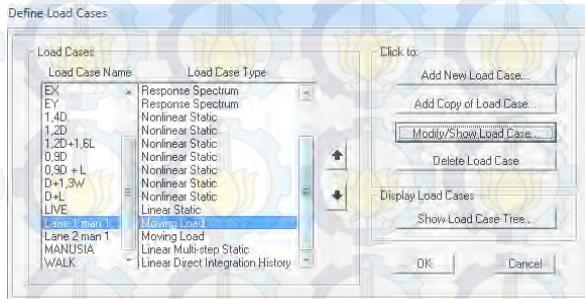
Isikan load case name EX dengan load case type Response Spektrum. Pada load applied isikan skala faktor gempa untuk arah U1 = 1,7836 ( 100 % arah X ) dan untuk arah U2 = 0,5351 ( 30 % arah Y ). Setelah itu klik OK. Ulangi langkah tersebut untuk beban gempa arah Y dimana untuk skala faktor arah U2 = 100 % & arah U1 = 30 %.

- Selanjutnya untuk membuat kombinasi pada load case pilih Add New Load Case, maka akan ditampilkan tab sbb



**Gambar 4.63** Tampilan Menu Load Case Data Nonlinear Static

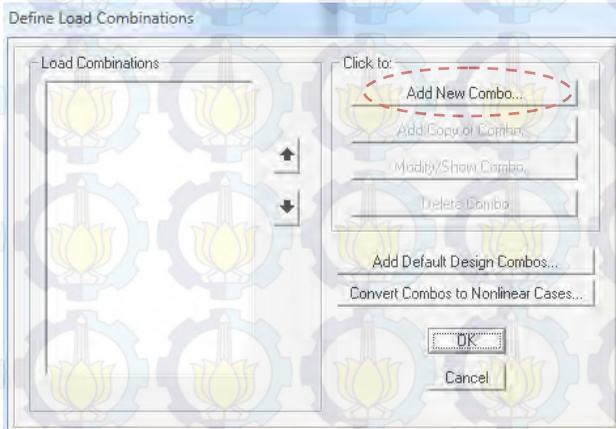
Pada load case name isikan D + L & pilih Analysis Type Nonlinear kemudian untuk initial condition pilih Continue From State At End of Nonlinear Case DEAD. Pada Load Applied pilih Load Pattern kemudian Load Name LIVE & scale factor 1. Kemudian klik OK. Lakukan untuk kombinasi load case lainnya dengan hasil sbb :



**Gambar 4.64** Tampilan Menu Difine Load Cases

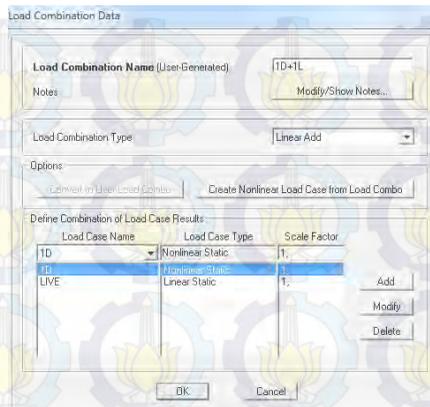
#### 5. Kombinasi beban pada struktur JPO Gantung

- Pilih menu Define – Load Combination maka akan ditampilkan tab sbb :



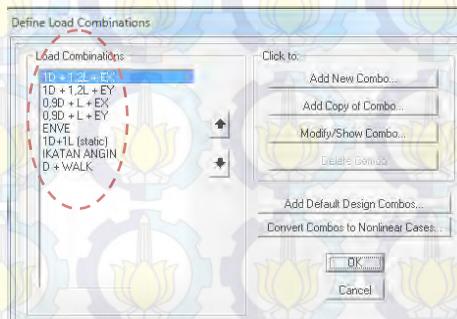
**Gambar 4.65** Tampilan Menu Difine Load Combinations

- Pilih add new combo, maka akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.66** Tampilan Menu Define Load Combination Data

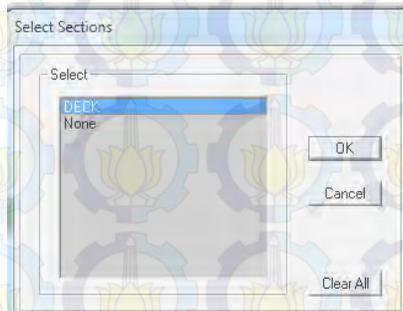
Load combination name isikan D + L dengan load combination type Linear Add. Load case name pilih DEAD dengan Load Case Type Nonlinear Static dengan scale factor 1 dan LIVE dengan scale factor 1 kemudian klik Add untuk menambahkan beban. Setelah selesai klik OK. Lakukan langkah tersebut di atas untuk membuat kombinasi lainnya sbb :



**Gambar 4.67** Tampilan Menu Define Load Combinations

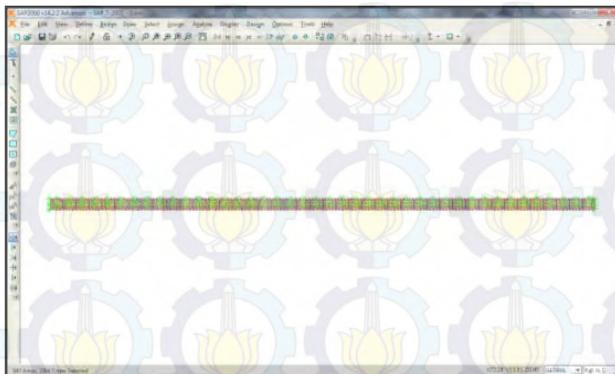
## 6. Input beban pada struktur JPO Gantung

- Input beban hidup pada pelat lantai jembatan sebesar 500 kg/m<sup>2</sup> ( untuk check design struktur awal sebelum di analisa menggunakan beban manusia berjalan ) dengan cara pilih menu SELECT – PROPERTIES – AREA SECTION kemudian akan ditampilkan tab sbb :



**Gambar 4.68** Tampilan Menu Select Sections

Pilih DECK kemudian klik OK, maka properties deck akan terpilih sbb :



**Gambar 4.69** Select Section Deck

Setelah itu pilih menu Assign – Area Load – uniform to frame ( shell ) maka isikan seperti tab sbb :



**Gambar 4.70** Tampilan Menu Area Uniform Loads to Frames

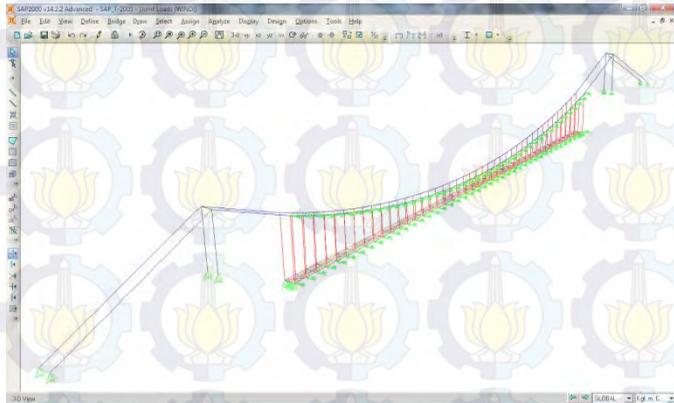
Setelah selesai input klik OK.

- Input beban angin pada struktur JPO, dengan cara klik joint pada JPO yang ingin dibebani angin kemudian pilih menu assign – joint load dan isikan seperti tab sbb :



**Gambar 4.71** Tampilan Menu Area Uniform Loads to Frames

Setelah selesai klik OK, maka hasil pembebanannya adalah sbb :



**Gambar 4.72** 3D View JPO Gantung

- Setelah semua beban selesai dimasukkan maka struktur JPO siap untuk di running.

#### 4.5 Cek Desain Struktur JPO

Jembatan penyeberangan orang (JPO) terbentuk dari beberapa komponen struktur yang memiliki fungsi yang berbeda. Elemen balok melintang, besi penggantung, ikatan angin, wire rope, pylon menjadi struktur primer yang berfungsi menahan beban strukturnya sendiri dan beban luar, sedangkan struktur lain seperti pelat lantai dan balok memanjang disebut struktur sekunder. Pengecekan kekuatan struktur JPO menggunakan program bantu SAP 2000, dimana struktur balok melintang, besi penggantung, ikatan angin, wire rope, pylon menjadi struktur yang akan dibuat pemodelannya. Selanjutnya dibebani dengan struktur sekunder.

Program bantu SAP 2000 memiliki beberapa tahapan kerja, antara lain :

1. Pembuatan model struktur sesuai dengan bentuk geometri dan dimensi bangunan.
2. Memasukkan data material, dimensi penampang, balok, kabel, jenis beban dan kombinasi beban.
3. Analisa gaya dan kekuatan struktur dalam menahan beban luar.

#### **4.6 Tahapan Pembebanan dalam Analisa Struktur**

Dalam perancangan struktur ini beban yang bekerja pada sistim struktur jembatan tersebut harus didasarkan atas pertimbangan – pertimbangan sebagai berikut :

- a. Pembebanan dan kombinasi pembebanan.
- b. Penentuan wilayah gempa.
- c. Penentuan sistem struktur.
- d. Peninjauan terhadap pengaruh gempa.

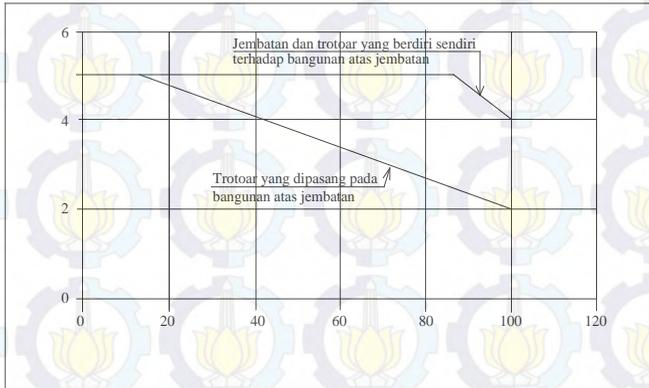
##### **4.6.1 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan**

Pembebanan yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa. Untuk kombinasi pembebanan mengacu pada beberapa peraturan yaitu SNI T-02-2005, SNI T-12-2004, BMS 1992, SNI 2847-2002, ACI 318-02, UBC 1997 dan SNI 1729-2002.

- **Beban Mati**

Beban mati pada perencanaan ini meliputi berat sendiri dari masing – masing elemen struktur seperti berat balok melintang, balok memanjang, pelat lantai, ikatan angin dan kabel penggantung.

- **Beban Hidup Pejalan Kaki**



**Gambar 4.73** Grafik pembebanan untuk pejalan kaki  
( RSNI T-02-2005 )

Luas area yang dibebani pejalan kaki :

$A = \text{lebar jembatan} \times \text{panjang jembatan}$

$$A = 2 \times 84 = 168 \text{ m}^2$$

Berdasarkan grafik pembebanan untuk pejalan kaki di atas, maka beban nominal pejalan kaki :

$$q_m = 5 \text{ kPa} = 500 \text{ kg/m}^2$$

- **Beban Angin Jembatan**

Gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut :

$$T_{EW1} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \cdot K_{EW}^U$$

Dimana :

$V_w$  = Kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau.

$C_w$  = Koefisien seret.

$K_{EW}^U$  = Faktor beban ultimit

$A_b$  = Luas koefisien bagian samping jembatan

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang massif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekuivalen dianggap 30 % dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar.

Dimana nilai  $C_w$  diambil sama dengan 2.1 hal ini berbeda dengan beban angin yang bekerja pada rangka dengan koefisien seret ( $C_w$ ) diambil seperti pada tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4.5** Koefisien Seret  $C_w$

Tipe Jembatan	$C_w$
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) $b$ = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran $d$ = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara dari $b / d$ bisa diinterpolasi linier	
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, $C_w$ harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Besarnya kecepatan angin rencana yang akan digunakan bergantung daripada kondisi letak struktur jembatan yang ada. Beberapa parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

**Tabel 4.6** Kecepatan Angin Rencana

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

$$A_b = 9 \times 42 \times 0,016 \times 0,3 \text{ (luas koefesien bagian samping jembatan)}$$

$$= 1,8144 \text{ m}^2$$

$$T_{EW1} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \cdot K_{EW}^U$$

$$= 0,0006 \times 2,1 \times (25)^2 \times 113,4 \times 1,2$$

$$= 1,715 \text{ kN}$$

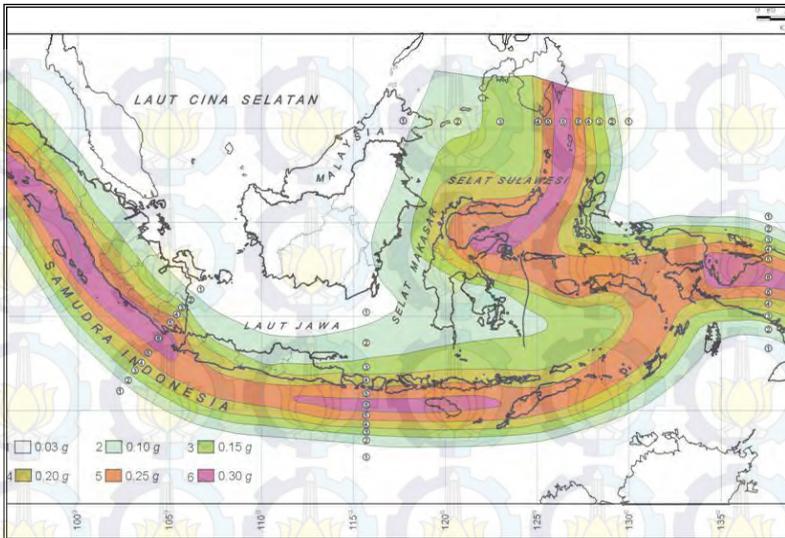
$$H_{W1} = \frac{T_{EW1}}{84} = \frac{1,715}{84} = 0,02 \text{ kN} = 2 \text{ kg}$$

- **Beban Gempa**

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Malang adalah wilayah gempa 3 sebagaimana ketentuan dalam SNI T-02-2005 serta mempertimbangkan kondisi tanah dilokasi rencana struktur ini yaitu tanah sedang.

#### 4.7 Penentuan Wilayah Gempa

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan ini sesuai dengan wilayah gempa dari kota Malang dimana Percepatan Puncak Efektif Batuan Dasar (PPEBD) dapat dilihat pada SNI T-02-2005 seperti Gambar 4.2, Dalam hal ini wilayah kota Malang masuk kedalam Zona Gempa 3.



**Gambar 4.74** Peta Wilayah Gempa Indonesia

#### 4.7.1 Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa

Simulasi pembebanan terhadap beban gempa ditinjau secara statik maupun dinamis, sedangkan besaran gaya gempa statik ekuivalen merujuk pada persamaan (13) dan (14) SNI T-02-2005

$$T_{EQ}^* = K_h I W_T$$

Dimana :

$$K_h = C S$$

Dengan pengertian :

$T_{EQ}^*$  : Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

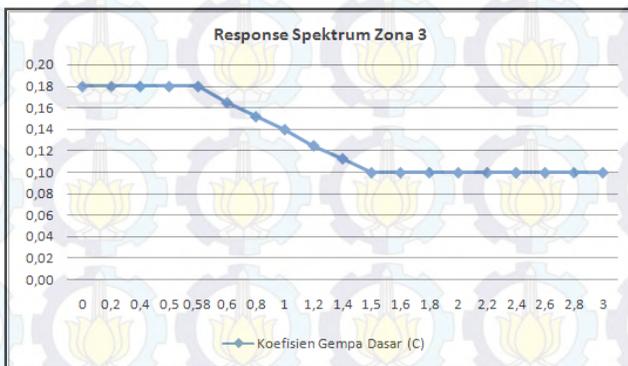
$K_h$  : Koefisien beban gempa horisontal

$C$  : Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yang sesuai

- $I$  : Faktor kepentingan  
 $S$  : Faktor tipe bangunan  
 $W_T$  : Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN)

#### 4.8 Beban Gempa Jembatan

Gaya gempa yang bekerja pada struktur ini akan secara langsung bekerja pada struktur abutment. Sesuai pembagian wilayah zona resiko gempa Indonesia, daerah jembatan tersebut termasuk dalam wilayah Zona Gempa 3. Analisa dan desain terhadap sistim struktur ini akan dilakukan menggunakan paket program bantu SAP 2000 V14.2.2 yang merupakan paket program analisa struktur berbasis teori Metode Elemen Hingga dalam permodelan dan penyelesaian persamaan-persamaan statikanya. Jembatan berada di daerah Malang dengan zona gempa 3, sehingga grafik response spectrumnya sebagai berikut

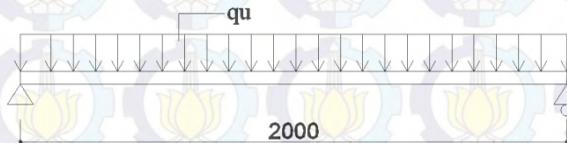


*Gambar 4.75* Koefisien gempa dasar (C)

Grafik tersebut akan diinputkan pada SAP 2000 sebagai beban gempa dinamis

#### 4.9 Kontrol Tegangan Balok Memanjang

Balok memanjang dianggap balok perletakan sederhana yang menumpu pada balok melintang :



- Dimensi balok :  
 $b = 6 \text{ cm}$   
 $h = 10 \text{ cm}$
- Jarak antar balok memanjang :  
 $b = 50 \text{ cm}$
- Beban yang bekerja pada balok memanjang :  
 Berat sendiri balok :  
 $q_{D1} = b \times h \times \gamma_{\text{kayu}}$   
 $= 0,06 \times 0,1 \times 1000$   
 $= 6 \text{ kg/m}$
- Beban papan kayu  $t = 2 \text{ cm}$  :  
 $q_{D2} = t \times \gamma_{\text{kayu}}$   
 $= 0,02 \times 1000$   
 $= 20 \text{ kg/m}'$
- Beban aspal  $t = 2 \text{ cm}$  :  
 $q_{D3} = t \times \gamma_{\text{aspal}}$   
 $= 0,02 \times 2200$   
 $= 44 \text{ kg/m}'$
- Beban mati total :  
 $q_D = 6 + 20 + 44$   
 $= 70 \text{ kg/m}'$
- Beban hidup pejalan kaki :  
 $q_L = 500 \times 0,5$   
 $= 250 \text{ kg/m}'$

- **Beban Ultimit :**

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2q_D + 1,6q_L \\ &= (1,2 \times 70) + (1,6 \times 250) \\ &= 484 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- **Momen ultimit balok**

$$\begin{aligned} M_U &= \frac{q_U \times L^2}{8} \\ &= \frac{484 \times 2^2}{8} \\ &= 242 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Momen inersia penampang :**

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 6 \times 10^3 \\ &= 500 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- **Section modulus penampang :**

$$\begin{aligned} W_x &= \frac{I_x}{c} \\ &= \frac{500}{5} \\ &= 100 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- **Tegangan maksimum akibat beban kerja :**

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{M_{\max}}{W_x} \\ &= \frac{24200}{100} \\ &= 242 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- **Kuat lentur kayu mutu E26**

$$\begin{aligned} F_b &= 66 \text{ MPa} = 660 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_{\max} &= 242 \text{ kg/cm}^2 < F_b = 66 \text{ MPa} \\ F_b &= 66 \text{ MPa} = 660 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### 4.10 Check Design Element Struktur

Bagian terpenting dari analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 adalah cek desain struktur. Cek desain struktur ini memiliki 3 fungsi, yaitu :

- Mengetahui kekuatan profil baja dalam memikul beban luar yang terjadi.
- Mengetahui tingkat keekonomisan penggunaan profil baja.
- Memperkirakan jumlah tulangan yang dibutuhkan untuk balok dan kolom.

##### 1. Check Design Ikatan Angin Menggunakan SAP 2000

*Tabel 4.7* Check Design Ikatan Angin

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93							
Frame	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType	Combo	Location	ErrMsg
Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m	Text
235	L 50.50.5	Beam	0,0535	PMM	IKATAN ANGIN	0,89691	No Messages
236	L 50.50.5	Beam	0,09127	PMM	IKATAN ANGIN	0,89691	No Messages
237	L 50.50.5	Beam	0,10108	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
238	L 50.50.5	Beam	0,08018	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
239	L 50.50.5	Beam	0,07432	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
240	L 50.50.5	Beam	0,07264	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
241	L 50.50.5	Beam	0,07005	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
242	L 50.50.5	Beam	0,06822	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
243	L 50.50.5	Beam	0,06745	PMM	IKATAN ANGIN	2,24227	No Messages
244	L 50.50.5	Beam	0,06766	PMM	IKATAN ANGIN	2,24227	No Messages
245	L 50.50.5	Beam	0,06926	PMM	IKATAN ANGIN	2,24227	No Messages
246	L 50.50.5	Beam	0,06982	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
247	L 50.50.5	Beam	0,06936	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
248	L 50.50.5	Beam	0,07091	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
249	L 50.50.5	Beam	0,07142	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
250	L 50.50.5	Beam	0,07123	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93							
Frame	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType	Combo	Location	ErrMsg
Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m	Text
251	L 50.50.5	Beam	0,07244	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
252	L 50.50.5	Beam	0,07279	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
253	L 50.50.5	Beam	0,07235	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
254	L 50.50.5	Beam	0,07225	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
256	L 50.50.5	Beam	0,10454	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
257	L 50.50.5	Beam	0,08908	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
258	L 50.50.5	Beam	0,07336	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
259	L 50.50.5	Beam	0,07112	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
260	L 50.50.5	Beam	0,06887	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
261	L 50.50.5	Beam	0,06723	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages
262	L 50.50.5	Beam	0,06755	PMM	IKATAN ANGIN	2,24227	No Messages
263	L 50.50.5	Beam	0,06805	PMM	IKATAN ANGIN	2,24227	No Messages
264	L 50.50.5	Beam	0,07022	PMM	IKATAN ANGIN	2,24227	No Messages
265	L 50.50.5	Beam	0,07091	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
266	L 50.50.5	Beam	0,07045	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
267	L 50.50.5	Beam	0,07252	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
268	L 50.50.5	Beam	0,07338	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
269	L 50.50.5	Beam	0,07337	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
270	L 50.50.5	Beam	0,07509	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
271	L 50.50.5	Beam	0,07576	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
272	L 50.50.5	Beam	0,07546	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
273	L 50.50.5	Beam	0,07581	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
274	L 50.50.5	Beam	0,07591	PMM	IKATAN ANGIN	1,79382	No Messages
18	L 50.50.5	Beam	0,26754	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
54	L 50.50.5	Beam	0,25825	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
100	L 50.50.5	Beam	0,38453	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
102	L 50.50.5	Beam	0,39214	PMM	IKATAN ANGIN	1,34536	No Messages
146	L 50.50.5	Beam	0,06475	PMM	IKATAN ANGIN	0,44845	No Messages

Hasil interaksi maksimum =  $0,39 < 1$

2. Check Ikatan Angin Menggunakan LRFD

Output gaya ikatan angin dari SAP 2000 :

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P
Text	m	Text	Text	Kgf
18	0	IKATAN ANGIN	Combination	646,74
18	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	646,74
18	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	646,74
18	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	646,74

18	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	331,53
18	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	331,53
18	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	331,53
18	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	331,53
54	0	IKATAN ANGIN	Combination	636,96
54	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	636,96
54	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	636,96
54	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	636,96
54	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	221,47
54	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	221,47
54	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	221,47
54	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	221,47
100	0	IKATAN ANGIN	Combination	348,27
100	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	348,27
100	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	348,27
100	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	348,27
100	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	1024,51
100	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	1024,51
100	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	1024,51
100	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	1024,51
102	0	IKATAN ANGIN	Combination	418,04
102	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	418,04
102	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	418,04
102	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	418,04
102	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	1020,19
102	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	1020,19
102	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	1020,19
102	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	1020,19
146	0	IKATAN ANGIN	Combination	-103,84
146	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	-103,84
146	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	-103,84
146	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-103,84
146	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-65,93
146	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	-65,93
146	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	-65,93

146	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	-65,93
235	0	IKATAN ANGIN	Combination	-73,17
235	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	-73,17
235	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	-73,17
235	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-73,17
235	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-19,67
235	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	-19,67
235	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	-19,67
235	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	-19,67
236	0	IKATAN ANGIN	Combination	-133,81
236	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	-133,81
236	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	-133,81
236	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-133,81
236	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-69,67
236	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	-69,67
236	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	-69,67
236	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	-69,67
237	0	IKATAN ANGIN	Combination	-157,6
237	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	-157,6
237	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	-157,6
237	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-157,6
237	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-145,65
237	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	-145,65
237	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	-145,65
237	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	-145,65
238	0	IKATAN ANGIN	Combination	-135,38
238	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	-135,38
238	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	-135,38
238	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-135,38
238	1,34536	IKATAN ANGIN	Combination	-118,02
238	1,79382	IKATAN ANGIN	Combination	-118,02
238	2,24227	IKATAN ANGIN	Combination	-118,02
238	2,69072	IKATAN ANGIN	Combination	-118,02
239	0	IKATAN ANGIN	Combination	-128,91
239	0,44845	IKATAN ANGIN	Combination	-128,91
239	0,89691	IKATAN ANGIN	Combination	-128,91

Data material :

Baja BJ 37

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$G = 80.000 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$$

Data Profil L 50.50.5 :

$$A = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 1,51 \text{ cm}$$

$$i_y = 1,51 \text{ cm}$$

**➤ Kontrol Batang Tekan**Gaya dalam yang menentukan :

$$P_u = 157,6 \text{ kg (tekan)}$$

$$L = 270 \text{ cm}$$

Kelangsingan Komponen Struktur

$$\lambda = \frac{L_K}{i}$$

$$L_K = k_c \times L \text{ dimana } k_c = 1 \text{ (untuk rangka batang)}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_K}{i} = \frac{1 \times 270}{1,51} = 178,8$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$= \frac{178,8}{3,14} \times \sqrt{\frac{240}{200000}}$$

$$= 1,972$$

$$\lambda_c > 1,2$$

$$\omega = 1,25\lambda_c^2$$

$$= 1,25 \times 1,972^2$$

$$= 4,86$$

Kuat tekan nominal :

$$N_n = \frac{A_g \times f_y}{\omega}$$

$$= \frac{4,8 \times 2400}{4,86}$$

$$= 2370 \text{ kg}$$

Kuat tekan rencana :

$$\phi N_n = 0,85 \times 2370$$

$$= 2015 \text{ kg}$$

$$\phi N_n = 2015 \text{ kg} > P_u = 157,6 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

➤ **Kontrol Batang Tarik**

$$P_u = 1024,51 \text{ kg} \text{ (tarik)}$$

Batas Leleh

$$\phi R_n = 0,9 \times A_g \times f_y$$

$$= 0,9 \times 4,8 \times 2400$$

$$= 10368 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 10368 \text{ kg}$$

Batas Putus

$$\begin{aligned}
 A_n &= 0,85 \times A_g \\
 &= 0,85 \times 4,8 \\
 &= 4,08 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U &= 1 - \frac{x}{L} \\
 &= 1 - \frac{1,4}{15}
 \end{aligned}$$

$$= 0,9$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= U \times A_e \\
 &= 0,9 \times 4,08 \\
 &= 3,7 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset R_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\
 &= 0,75 \times 3,7 \times 3700 \\
 &= 10267,5 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset R_n = 10267,5 \text{ kg} > P_{u1} = 1024,51 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

## 3. Check Design Balok Melintang Menggunakan SAP 2000

Kontrol balok melintang berdasarkan kombinasi pembebanan ENVELOPE yakni hasil kombinasi terbesar dari beberapa kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan :

**Tabel 4.8** Check Design Balok Melintang

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93							
Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m
98	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,814883	PMM	ENVE	0,15
105	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,465538	PMM	ENVE	1,15
106	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,616825	PMM	ENVE	1,15
107	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539508	PMM	ENVE	1,15
108	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,545967	PMM	ENVE	1,15
109	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,545973	PMM	ENVE	1,15
110	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,544695	PMM	ENVE	1,15
111	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,540044	PMM	ENVE	1,15
112	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539661	PMM	ENVE	1,15
113	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,534767	PMM	ENVE	0,65
114	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539645	PMM	ENVE	0,65
115	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,54106	PMM	ENVE	0,65
116	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,535683	PMM	ENVE	0,65
117	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,541126	PMM	ENVE	0,65
118	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,541061	PMM	ENVE	0,65
119	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,537468	PMM	ENVE	0,65
120	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,541053	PMM	ENVE	0,65
121	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,540255	PMM	ENVE	0,65
122	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,536843	PMM	ENVE	0,65
123	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,536725	PMM	ENVE	0,65
124	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,534028	PMM	ENVE	0,65
125	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539664	PMM	ENVE	0,65
126	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,538182	PMM	ENVE	0,65
127	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539377	PMM	ENVE	0,65
128	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539074	PMM	ENVE	0,65
129	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,542277	PMM	ENVE	0,65
130	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,542781	PMM	ENVE	0,65
131	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,539006	PMM	ENVE	0,65
132	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,542393	PMM	ENVE	0,65
133	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,542204	PMM	ENVE	0,65
134	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,536657	PMM	ENVE	0,65
135	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,541884	PMM	ENVE	0,65
136	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,540274	PMM	ENVE	0,65

137	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,535352	PMM	ENVE	0,65
138	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,541115	PMM	ENVE	1,15
139	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,541584	PMM	ENVE	1,15
140	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,546404	PMM	ENVE	1,15
141	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,548244	PMM	ENVE	1,15
142	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,542417	PMM	ENVE	1,15
143	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,499735	PMM	ENVE	1,15
144	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,767363	PMM	ENVE	1,15
202	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,073549	PMM	ENVE	0
205	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,570313	PMM	ENVE	0,25
206	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,073159	PMM	ENVE	0
207	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,318865	PMM	ENVE	0
211	DC 75.40.5.7	Beam	No Messages	0,316824	PMM	ENVE	0

Hasil interaksi maksimum =  $0,815 < 1$

#### 4. Check Balok Melintang 2C 75.40.5.7 Menggunakan LRFD

Data material :

Baja BJ 37

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$G = 80.000 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$$

Data Profil :

$$A = 16,74 \text{ cm}^2$$

$$h = 75 \text{ mm}$$

$$t_f = 7 \text{ mm}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$Z_x = 45,4785 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 25,089 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 142,348 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 61,09 \text{ cm}^4$$

Beban yang Bekerja ( Tabel Output Gaya Dalam ) :

$$Mu = 630,33 \text{ kgm}$$

$$Vu = 2339,73 \text{ kg}$$

➤ Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{tw} = \frac{75}{10} = 7,5$$

kurang dari

$$\frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{1100}{\sqrt{240}} = 71$$

Maka kuat geser nominal balok :

$$Vn = 0,6 \times f_y \times h \times tw$$

$$= 0,6 \times 2400 \times 7,5 \times 1$$

$$= 10800 \text{ kg}$$

$$\phi Vn = 0,9 \times 10800$$

$$= 9720 \text{ kg}$$

$$\phi Vn = 9720 \text{ kg} > Vu = 2339,73 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

➤ Kontrol Kuat Lentur

1. Local Buckling

Sayap

$$\frac{bf}{2 \times tf} = \frac{80}{2 \times 7} = 5,71$$

Kurang dari

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

Badan

$$\frac{h}{tw} = \frac{75}{10} = 7,5$$

Kurang dari

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

Penampang kompak sehingga momen nominal penampang :

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = Z_x \times f_y \\ &= 45,4785 \times 2400 \\ &= 109148 \text{ kgcm} \\ &= 1092 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

## 2. Lateral Buckling

$$L_B = \frac{200}{3} = 67 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76iy \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 1,91 \times \sqrt{\frac{2000000}{2400}} = 97 \text{ cm}$$

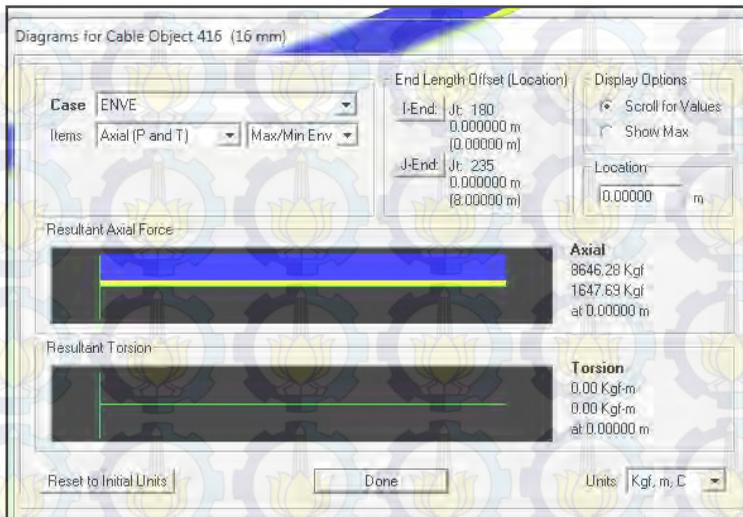
Karena  $L_p = 97 \text{ cm} > L_B = 67 \text{ cm}$  sehingga,

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = Z_x \times f_y \\ &= 45,4785 \times 2400 \\ &= 109148 \text{ kgcm} \\ &= 1092 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 1092 \\ &= 982,8 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 982,8 \text{ kgm} > M_u = 630,33 \text{ kgm} \quad \text{OK!!}$$

## 5. Check Design Kabel Penggantung Ø16



**Gambar 4.76** Check Design Kabel Penggantung Ø16

Gaya aksial yang bekerja pada kabel akibat kombinasi beban

ENVELOPE :

$P = 8646,28 \text{ kg}$

Luas penampang kabel :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi \times D^2}{4} \\
 &= \frac{3,14 \times 1,6^2}{4} \\
 &= 2,01 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada kabel :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8646,28}{2,01} \\
 &= 4201,63 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Ultimate wire tensile strength :

$$f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

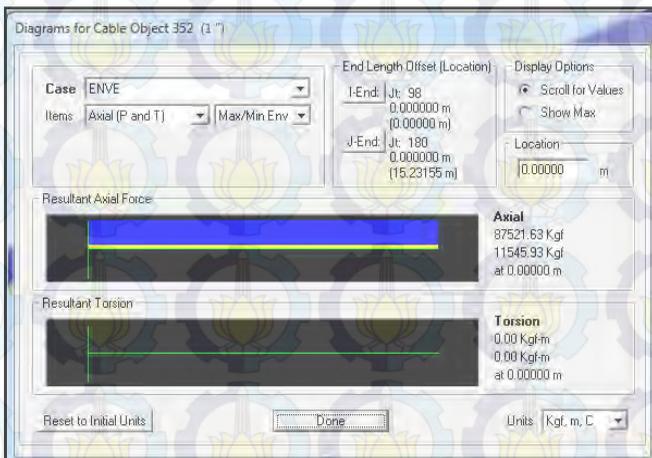
Effective wire tensile strength :

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= 0,7 \cdot f_{pu} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 Ps. 20.5.3}) \\
 &= 0,7 \cdot 1860 \\
 &= 1302 \text{ Mpa} \\
 &= 13020 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan ijin kabel :

$$f_{pe} = 13020 \text{ kg/cm}^2 > \sigma = 4201,63 \text{ kg/cm}^2$$

## 6. Check Design Kabel Penggantung Ø 2"



**Gambar 4.77** Check Design Kabel Penggantung Ø 2"

Gaya aksial yang bekerja pada kabel akibat kombinasi beban

ENVELOPE :

$$P = 87521,63 \text{ kg}$$

Luas penampang kabel :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi \times D^2}{4} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 2,54^2}{4} \\ &= 10,129 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada kabel :

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{87521,63}{10,129} \\ &= 8641 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Ultimate wire tensile strength :

$$f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Effective wire tensile strength :

$$\begin{aligned} f_{pe} &= 0,7 \cdot f_{pu} \quad (\text{SNI 03-2847-2002 Ps. 20.5.3}) \\ &= 0,7 \cdot 1860 \\ &= 1302 \text{ Mpa} \\ &= 13020 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan ijin kabel :

$$f_{pe} = 13020 \text{ kg/cm}^2 > \sigma = 8641 \text{ kg/cm}^2$$

5. Check phylon

Data material :

Baja BJ 37

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$G = 80.000 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Data Profil WF 600.300.12.20 :

$$A = 192,5 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 24,8 \text{ cm}$$

$$i_y = 6,85 \text{ cm}$$

Gaya dalam yang menentukan :

$$P_u = 87644,07 \text{ kg (tekan)}$$

$$L = 800 \text{ cm}$$

Kontrol Batang Tekan

$$\lambda = \frac{L_K}{i}$$

$$L_K = k_c \times L \text{ dimana } k_c = 0,8 \text{ (untuk sendi - sendi)}$$

$$\lambda_x = \frac{k_c \times L_K}{i_x} = \frac{0,8 \times 800}{24,8} = 25,806$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \times L_K}{i_y} = \frac{0,8 \times 800}{6,85} = 93,431 \text{ (menentukan)}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$= \frac{93,431}{3,14} \times \sqrt{\frac{240}{200000}}$$

$$= 1,031$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_c}$$

$$= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 1,031}$$

$$= 1,573$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} N_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{192,5 \times 2400}{1,573} \\ &= 293706,294 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,85 \times 293706,294 \\ &= 249650,35 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 249650,35 \text{ kg} > P_u = 87644,07 \text{ kg OK!!}$$

#### 6. Kontrol Lendutan Jembatan

Akibat Beban Mati + Beban Hidup :

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{500} = \frac{8400}{500} = 16,8 \text{ cm}$$

Output displacement sap akibat beban d + l :

**Tabel 4.9** Kontrol Lendutan

TABLE: Joint Displacements						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm
53	D+L	NonStatic	Max	-0,012088	-0,015864	-6,904787
53	D+L	NonStatic	Min	-0,012088	-0,015864	-6,904787
54	D+L	NonStatic	Max	-0,261701	0,000516	-6,85328
54	D+L	NonStatic	Min	-0,261701	0,000516	-6,85328

Dari tabel didapat lendutan maksimum di tengah bentang (joint 53) akibat beban D + L :

$$\Delta = 6,905 \text{ cm} < \Delta_{ijin} = 16,8 \text{ cm} \quad (\text{Memenuhi})$$



*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB V**

### **ANALISA DINAMIS STRUKTUR**

#### **5.1 Natural Frekuensi**

Modal analisis dapat digunakan untuk menentukan frekuensi alami dan bentuk model getaran dari sebuah struktur. Frekuensi alami struktur adalah frekuensi dari struktur yang selama alami cenderung untuk bergetar jika struktur ini terkena gangguan. Model bentuk getaran dari sebuah struktur adalah bentuk lendutan struktur pada frekuensi yang spesifik. Ketika analisis model bekerja, terjadi getaran bebas dari struktur. Getaran bebas adalah ketika tidak ada getaran eksternal yang diaplikasikan dan redaman struktur diabaikan.

Frekuensi alami suatu struktur bisa diperoleh dengan menggunakan bantuan software elemen hingga. Nilai frekuensi alami ini dapat digunakan sebagai pedoman apakah suatu struktur akan mengalami resonansi atau tidak. Suatu struktur akan mengalami resonansi apabila nilai frekuensi beban yang diterima struktur mendekati atau sama dengan frekuensi alaminya. Biasanya, pada 3 atau 4 pertama model harmonis yang dipertimbangkan berpotensi resonansi. Frekuensi alami pertama berkisar antara 3-4 Hz untuk getaran horizontal. Seperti disebutkan pada nilai diatas, frekuensi alami pada jembatan adalah dibawah 5 Hz pada getaran vertikal dan 1,5 Hz untuk arah horisontal, dengan demikian sebaiknya dicek pada kemampuan penggunaan getaran. Seperti disebutkan pada British Standart sejak standart Indonesia tidak menyusun getaran pada struktur akibat beban dinamis manusia.

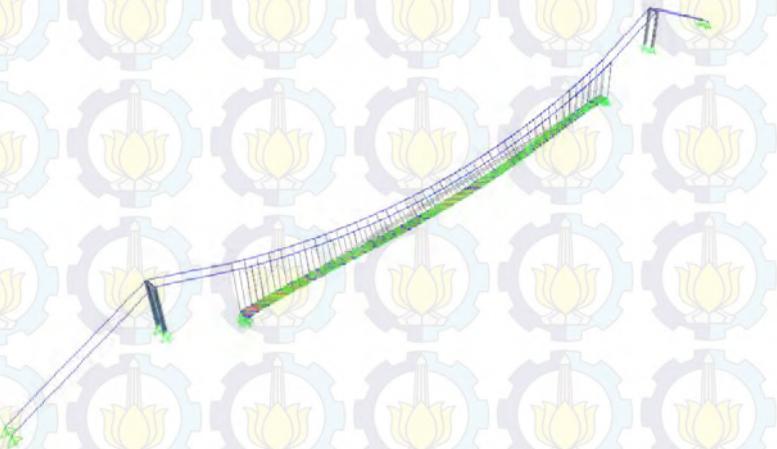
#### **5.2 Mode Shape (Bentuk Model)**

Pada umumnya sebuah struktur jembatan bisa memiliki 3 macam model getaran inti. Horizontal, torsi, dan vertikal. Dengan model getaran lateral, struktur seluruh jembatan cenderung mengarah ke getaran horizontal. Kadang-kadang pada hubungan

vertikal yang sangat kecil, getaran torsional dan longitudinal pada frekuensi alami yang paling rendah. Ketika sebuah jembatan bergetar dibawah model getaran vertikal, keseluruhan struktur jembatan akan bergetar pada bidang vertikal, dan dibawah model getaran torsional, pelat akan berputar.

1. Mode Shape 1 (  $T = 3,07903$  s ;  $f = 0,32478$  Hz )

Gambar Mode Shape 1 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.1* berikut ini :



*Gambar 5.1* Mode 1 JPO Gantung

Untuk mode 1 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

2. Mode Shape 2 (  $T = 1,5825$  s ;  $f = 0,63191$  Hz )

Gambar Mode Shape 2 dari JPO gantung dapat dilihat pada **Gambar 5.2** berikut ini :

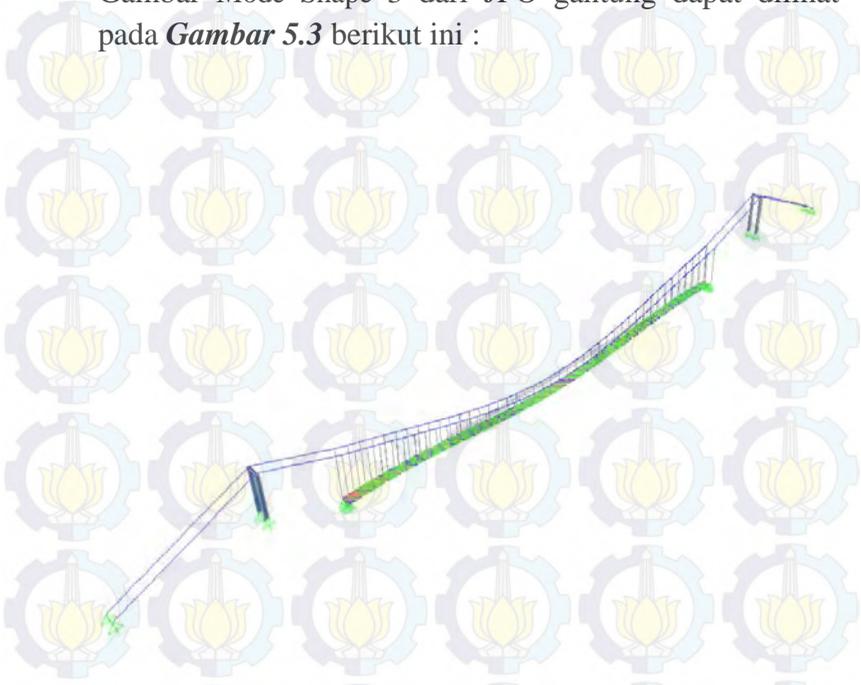


**Gambar 5.2** Mode 2 JPO Gantung

Untuk mode 2 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

3. Mode Shape 3 (  $T = 1,45269$  s ;  $f = 0,68838$  Hz )

Gambar Mode Shape 3 dari JPO gantung dapat dilihat pada **Gambar 5.3** berikut ini :

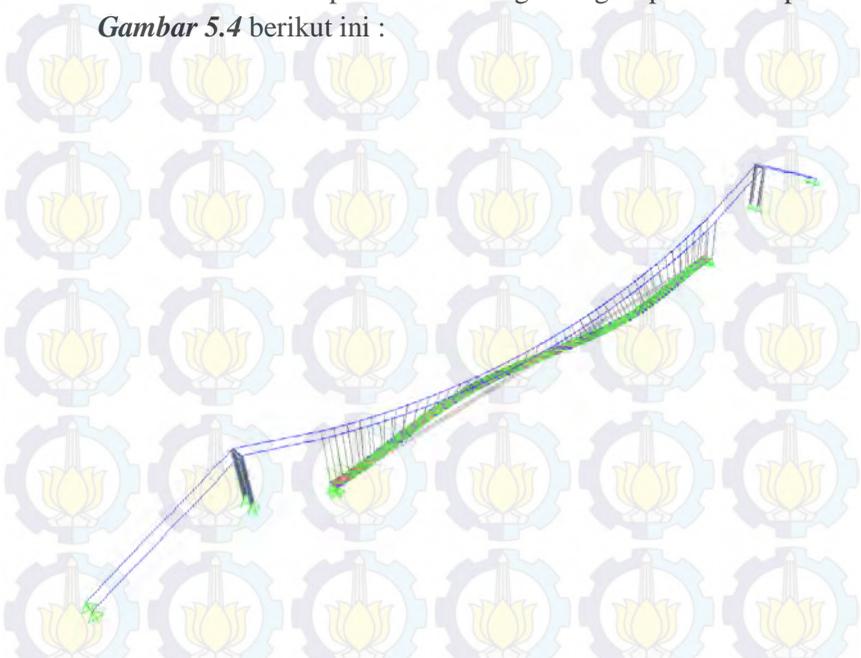


**Gambar 5.3** Mode 3 JPO Gantung

Untuk mode 3 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

4. Mode Shape 4 (  $T = 1,12331$  s ;  $f = 0,89023$  Hz )

Gambar Mode Shape 4 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.4* berikut ini :

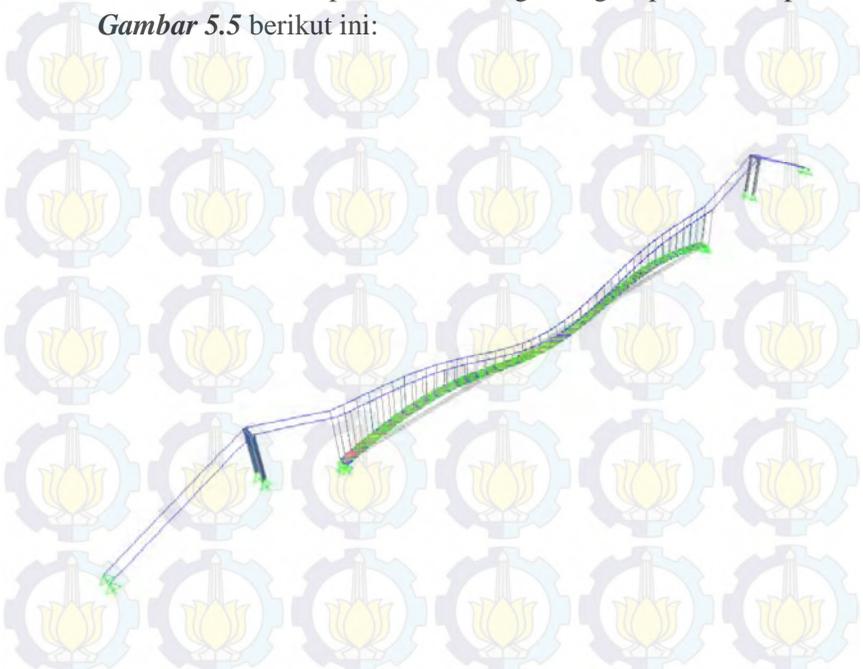


*Gambar 5.4* Mode 4 JPO Gantung

Untuk mode 4 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

5. Mode Shape 5 (  $T = 0,99223$  s ;  $f = 1,00783$  Hz )

Gambar Mode Shape 5 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.5* berikut ini:

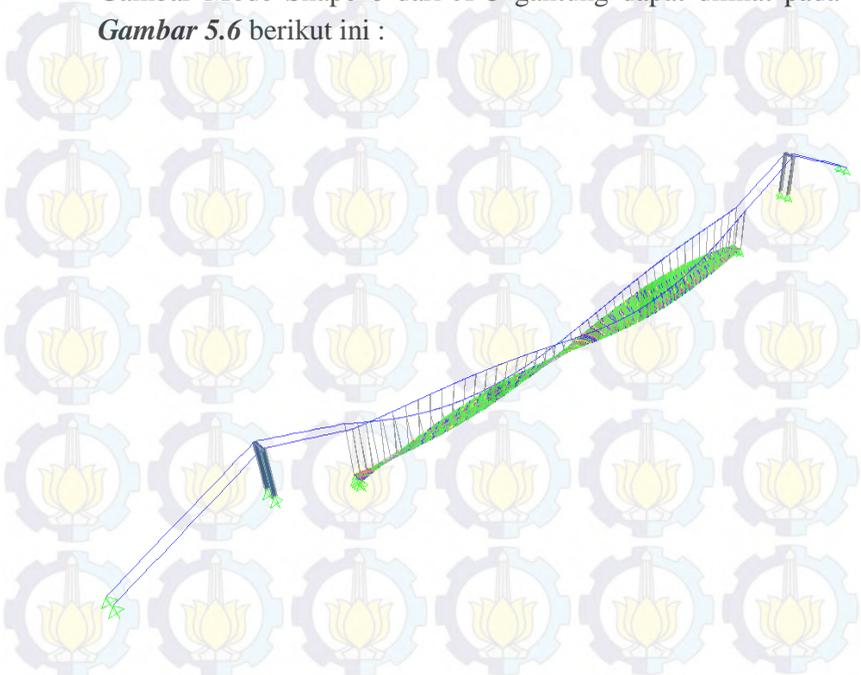


*Gambar 5.5* Mode 5 JPO Gantung

Untuk mode 5 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

6. Mode Shape 6 (  $T = 0,86689$  s ;  $f = 1,15355$  Hz )

Gambar Mode Shape 6 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.6* berikut ini :

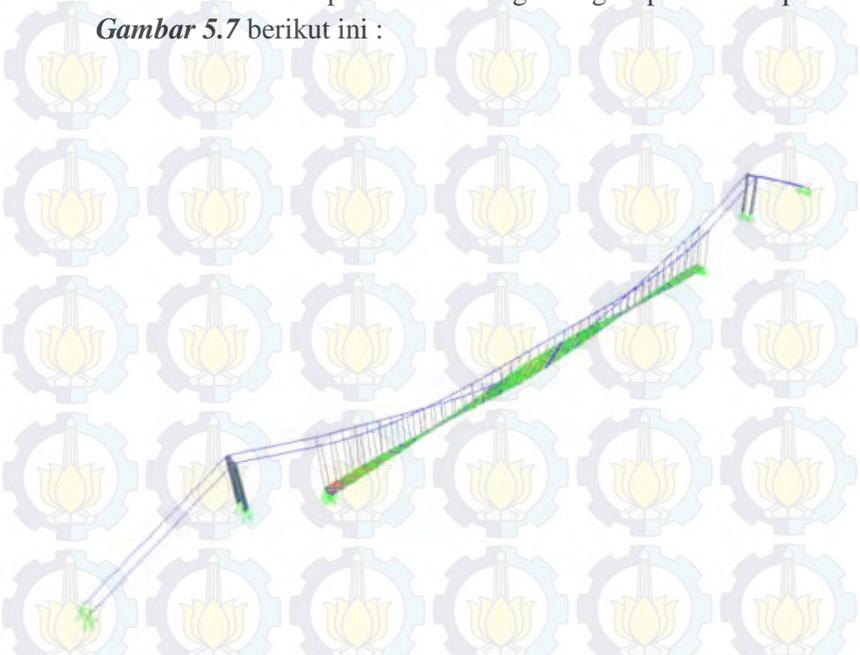


*Gambar 5.6* Mode 6 JPO Gantung

Untuk mode 6 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

7. Mode Shape 7 (  $T = 0,83444$  s ;  $f = 1,19841$  Hz

Gambar Mode Shape 7 dari JPO gantung dapat dilihat pada **Gambar 5.7** berikut ini :

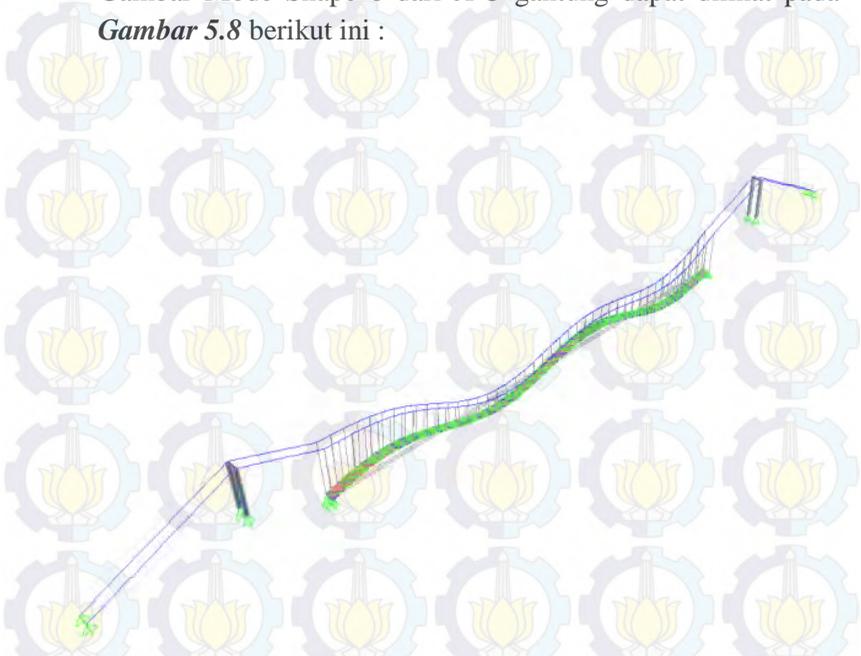


**Gambar 5.7** Mode 7 JPO Gantung

Untuk mode 7 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

8. Mode Shape 8 (  $T = 0,79403$  s ;  $f = 1,2594$  Hz )

Gambar Mode Shape 8 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.8* berikut ini :

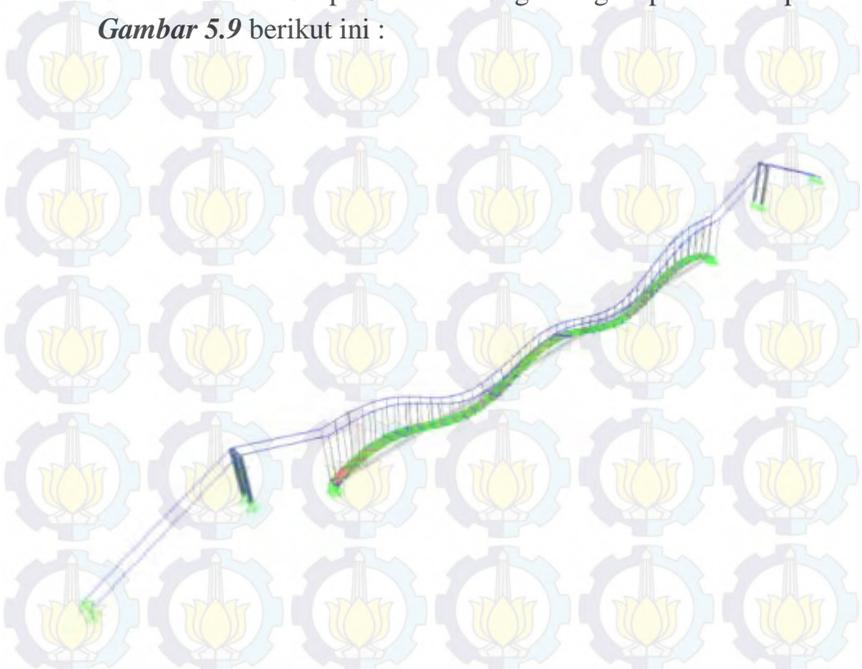


*Gambar 5.8* Mode 8 JPO Gantung

Untuk mode 8 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

9. Mode Shape 9 (  $T = 0,63199$  s ;  $f = 1,58231$  Hz )

Gambar Mode Shape 9 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.9* berikut ini :



*Gambar 5.9* Mode 9 JPO Gantung

Untuk mode 9 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

10. Mode Shape 10 (  $T = 0,6313$  s ;  $f = 1,58402$  Hz )

Gambar Mode Shape 10 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.10* berikut ini :

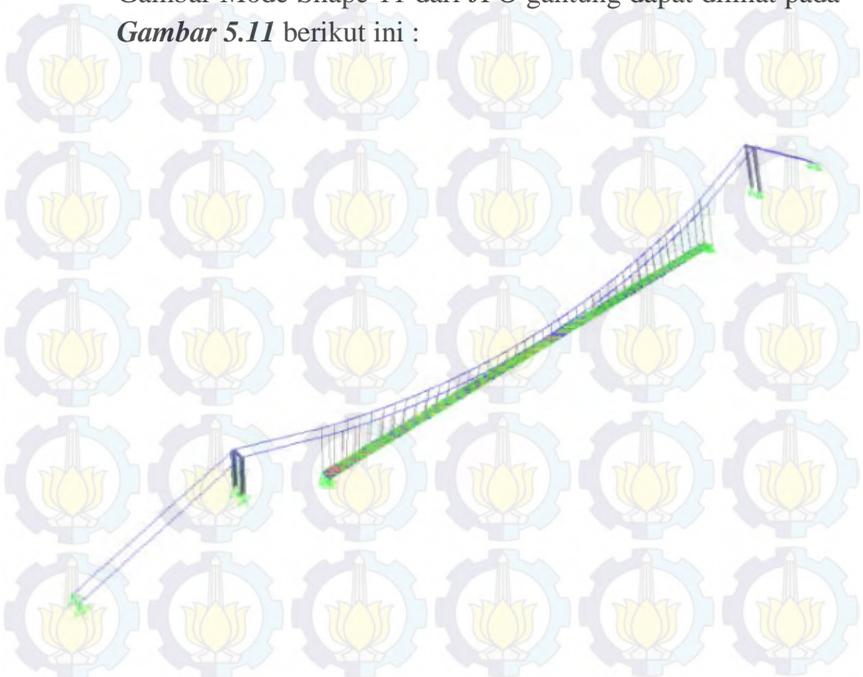


*Gambar 5.10* Mode 10 JPO Gantung

Untuk mode 10 pada struktur JPO beton didominasi oleh arah getaran horizontal. Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban horizontal akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal.

11. Mode Shape 11 (  $T = 0,60233$  s ;  $f = 1,66021$  Hz )

Gambar Mode Shape 11 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.11* berikut ini :



*Gambar 5.11* Mode 11 JPO Gantung

Untuk mode 11 pada struktur JPO beton didominasi oleh arah getaran horizontal. Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban horizontal akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal.

12. Mode Shape 12 (  $T = 0,57733 \text{ s}$  ;  $f = 1,7321 \text{ Hz}$  )

Gambar Mode Shape 12 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.12* berikut ini :

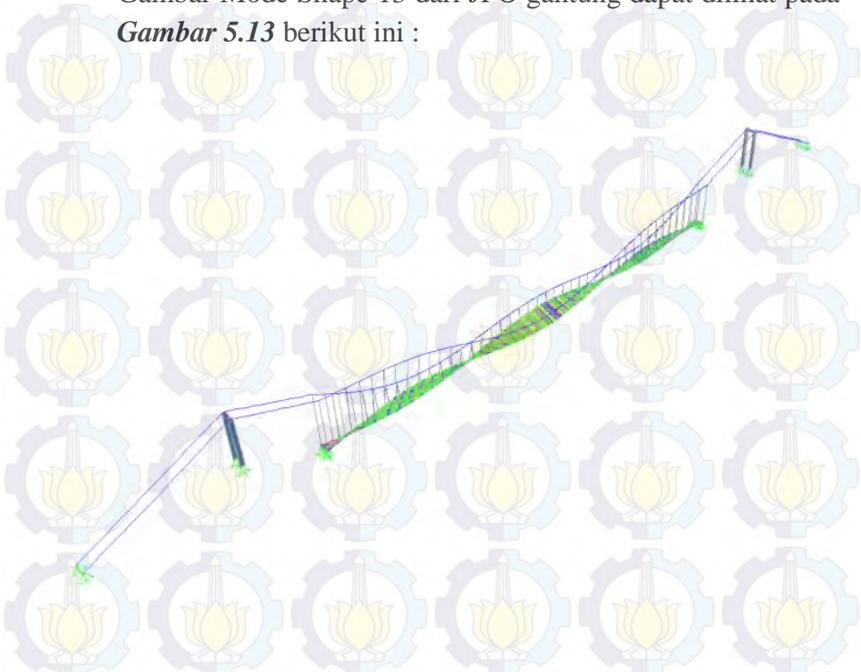


*Gambar 5.12* Mode 12 JPO Gantung

Untuk mode 12 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

13. Mode Shape 13 (  $T = 0,55021$  s ;  $f = 1,81748$  Hz )

Gambar Mode Shape 13 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.13* berikut ini :

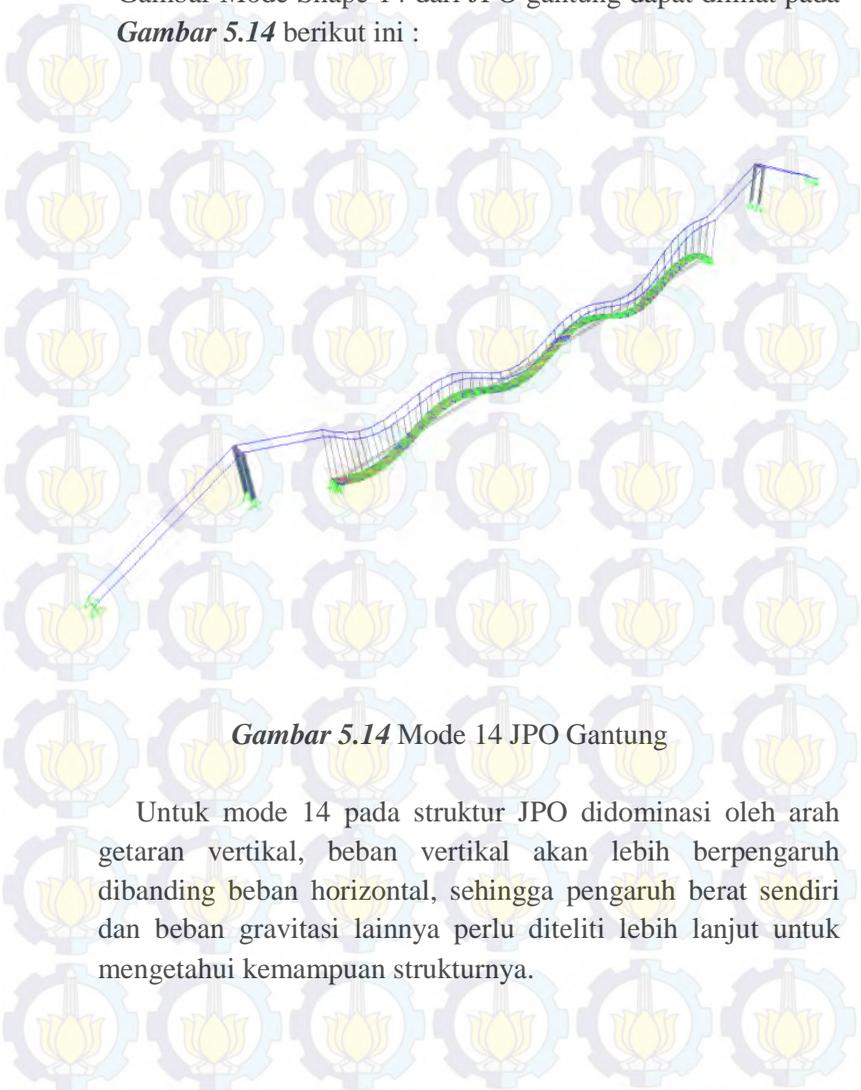


*Gambar 5.13* Mode 13 JPO Gantung

Untuk mode 13 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

14. Mode Shape 14 (  $T = 0,53162 \text{ s}$  ;  $f = 1,88105 \text{ Hz}$  )

Gambar Mode Shape 14 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.14* berikut ini :

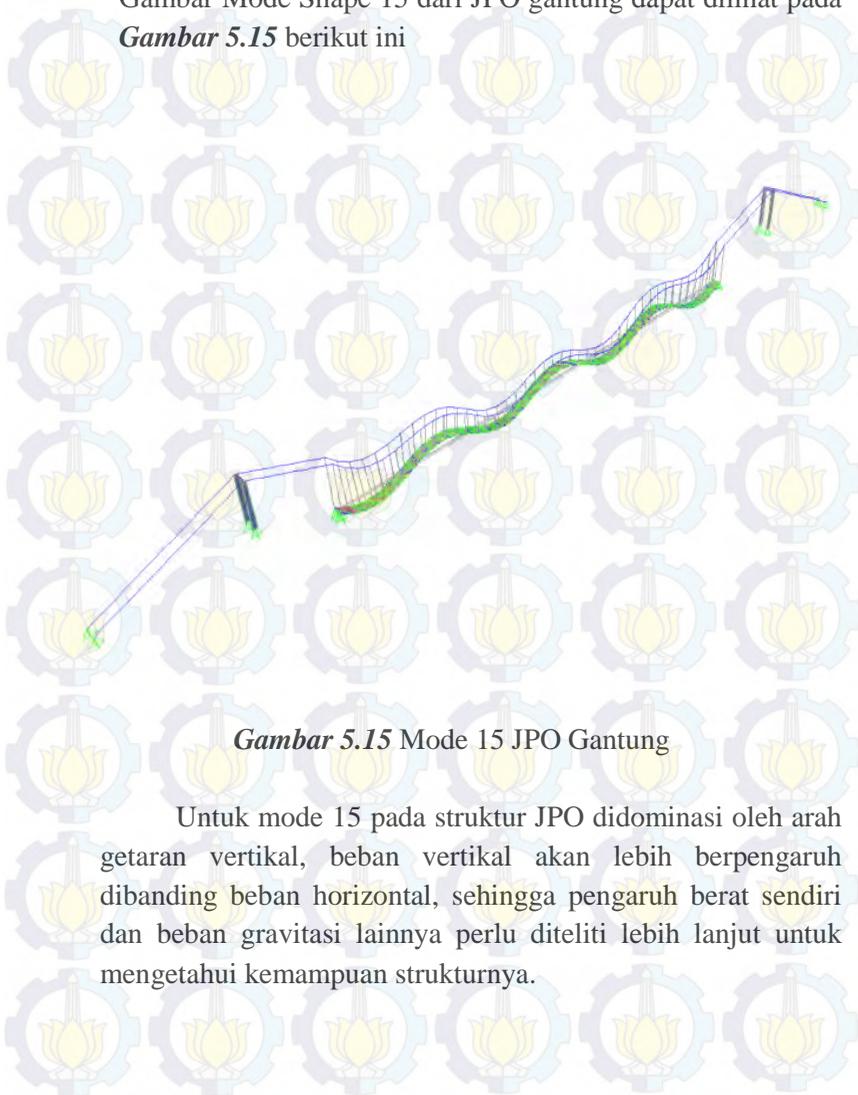


*Gambar 5.14* Mode 14 JPO Gantung

Untuk mode 14 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

15. Mode Shape 15 (  $T = 0,45582$  s ;  $f = 2,19383$  Hz )

Gambar Mode Shape 15 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.15* berikut ini

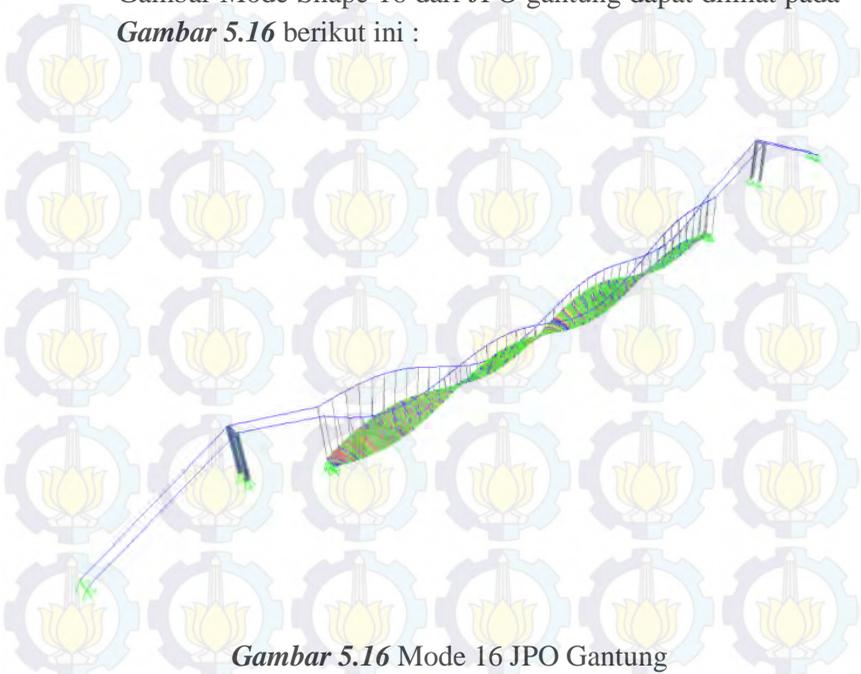


*Gambar 5.15* Mode 15 JPO Gantung

Untuk mode 15 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

16. Mode Shape 16 (  $T = 0,43594 \text{ s}$  ;  $f = 2,29389 \text{ Hz}$  )

Gambar Mode Shape 16 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.16* berikut ini :

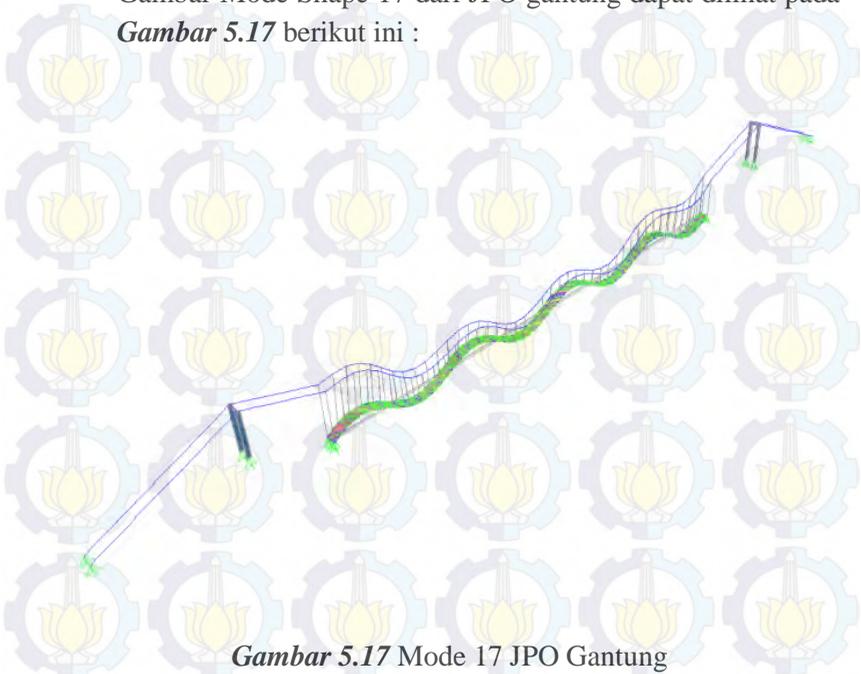


*Gambar 5.16* Mode 16 JPO Gantung

Untuk mode 16 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

17. Mode Shape 17 (  $T = 0,400068$  s ;  $f = 2,49573$  Hz )

Gambar Mode Shape 17 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.17* berikut ini :

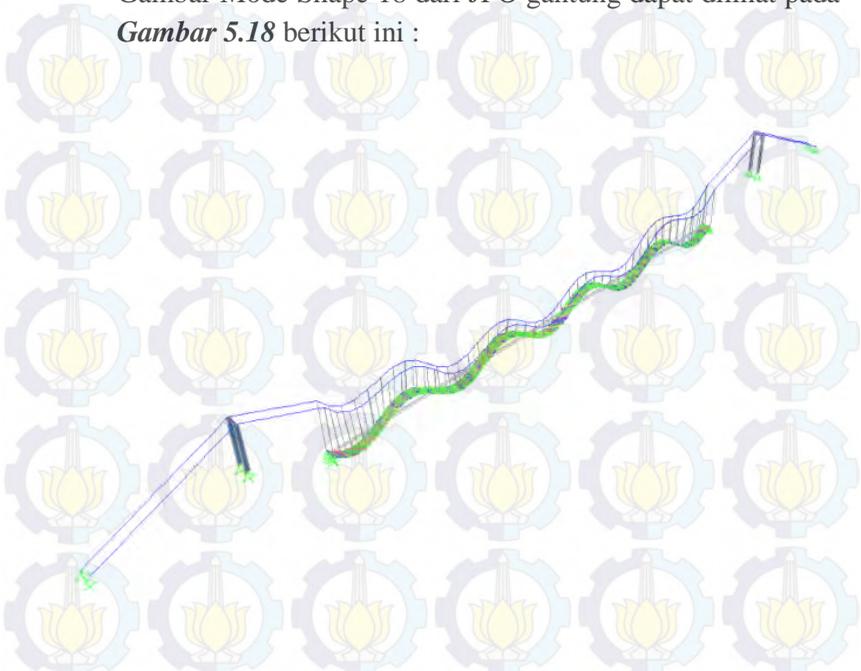


*Gambar 5.17* Mode 17 JPO Gantung

Untuk mode 17 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

18. Mode Shape 18 (  $T = 0,35677$  s ;  $f = 2,80294$  Hz )

Gambar Mode Shape 18 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.18* berikut ini :



*Gambar 5.18* Mode 18 JPO Gantung

Untuk mode 18 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

19. Mode Shape 19 (  $T = 0,35262$  s ;  $f = 2,8359$  Hz )

Gambar Mode Shape 19 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.19* berikut ini :

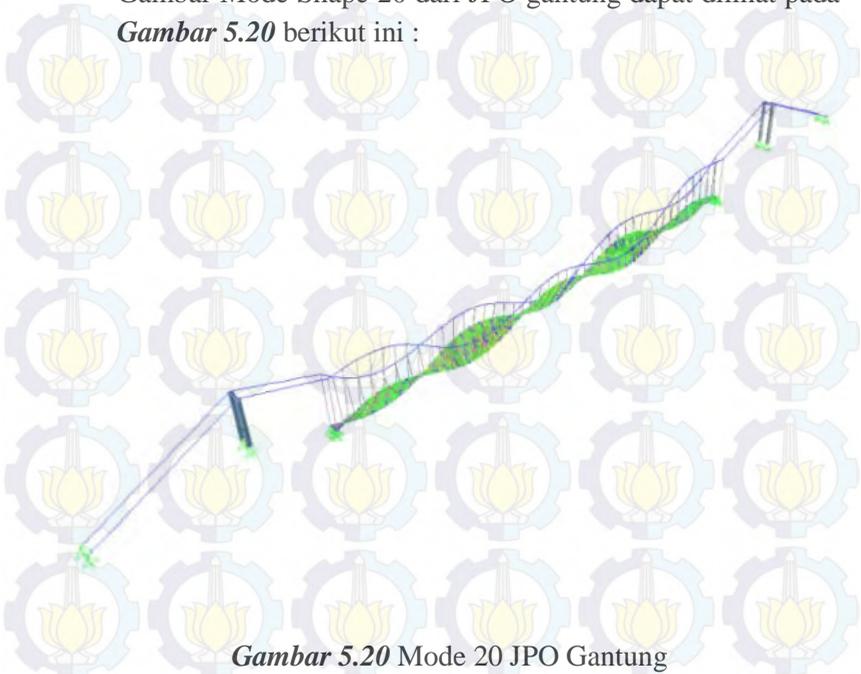


*Gambar 5.19* Mode 19 JPO Gantung

Untuk mode 19 pada struktur JPO semua getaran vertikal, horizontal & torsi mendominasi, sehingga semua beban berpengaruh terhadap struktur JPO.

20. Mode Shape 20 (  $T = 0,34754 \text{ s}$  ;  $f = 2,87739 \text{ Hz}$  )

Gambar Mode Shape 20 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.20* berikut ini :

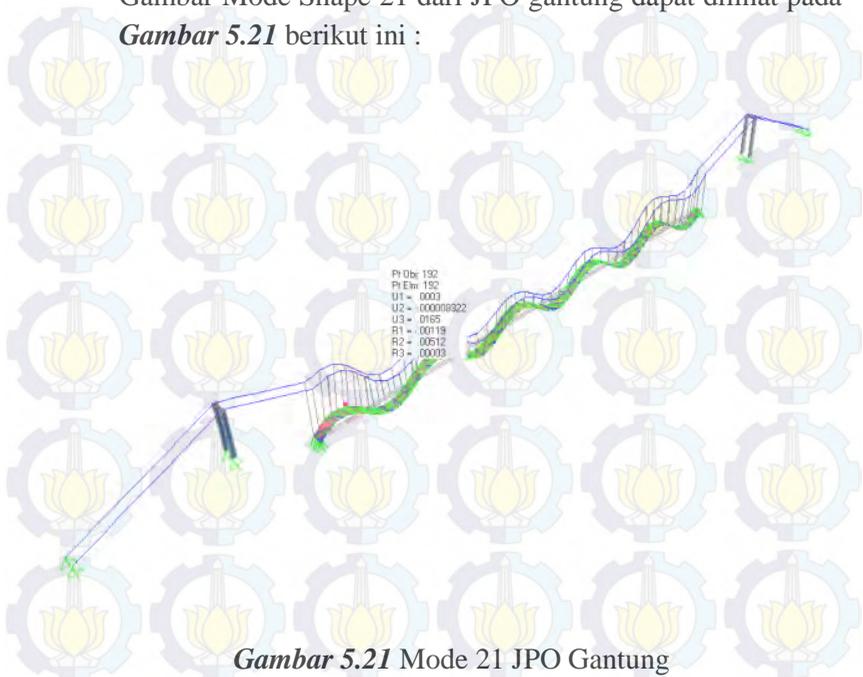


*Gambar 5.20* Mode 20 JPO Gantung

Untuk mode 20 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

21. Mode Shape 21 (  $T = 0,32221$  s ;  $f = 3,10361$  Hz )

Gambar Mode Shape 21 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.21* berikut ini :



*Gambar 5.21* Mode 21 JPO Gantung

Untuk mode 21 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya

22. Mode Shape 22 (  $T = 0,29351$  s ;  $f = 3,40699$  Hz )

Gambar Mode Shape 22 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.22* berikut ini :

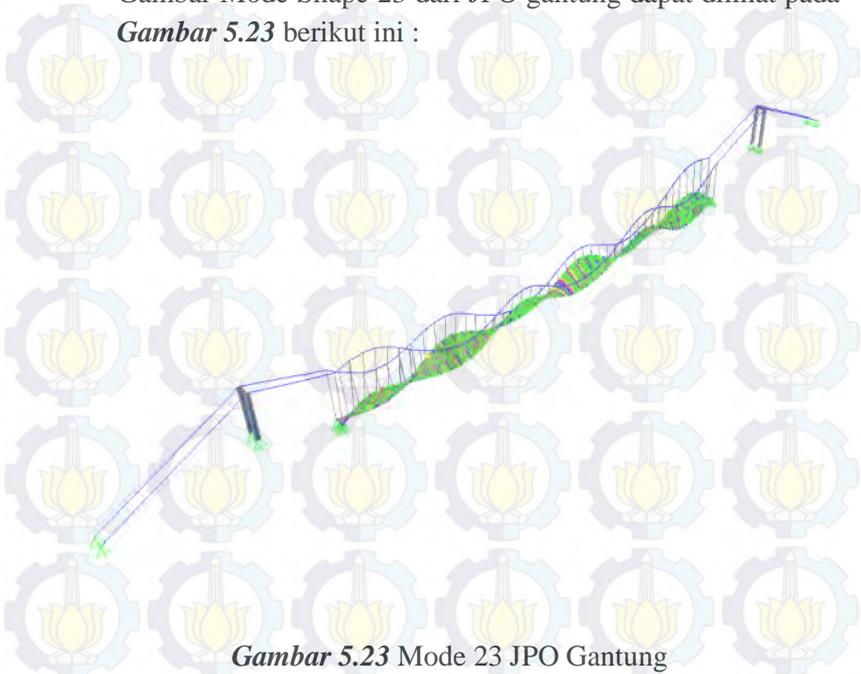


*Gambar 5.22* Mode 22 JPO Gantung

Untuk mode 22 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya

23. Mode Shape 23 (  $T = 0,29286$  s ;  $f = 3,41465$  Hz )

Gambar Mode Shape 23 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.23* berikut ini :

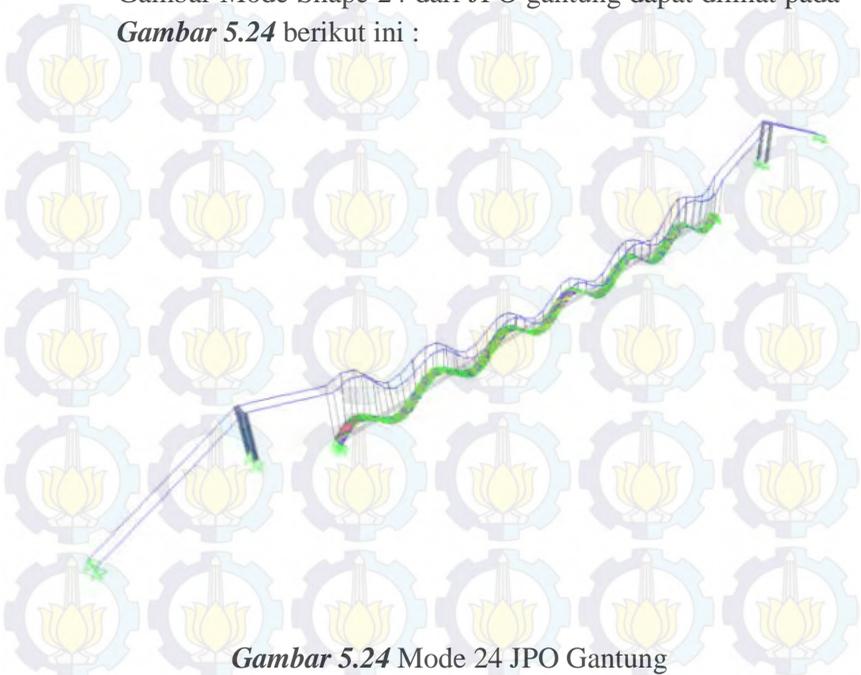


*Gambar 5.23* Mode 23 JPO Gantung

Untuk mode 23 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

24. Mode Shape 24 (  $T = 0,29677$  s ;  $f = 3,70692$  Hz )

Gambar Mode Shape 24 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.24* berikut ini :

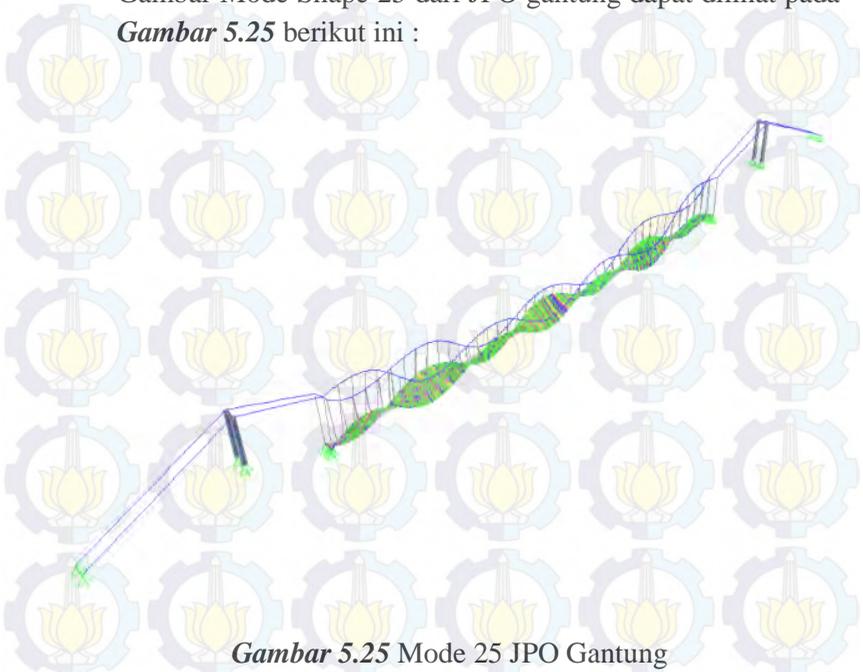


*Gambar 5.24* Mode 24 JPO Gantung

Untuk mode 24 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuannya

25. Mode Shape 25 (  $T = 0,25253 \text{ s}$  ;  $f = 3,95993 \text{ Hz}$  )

Gambar Mode Shape 25 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.25* berikut ini :

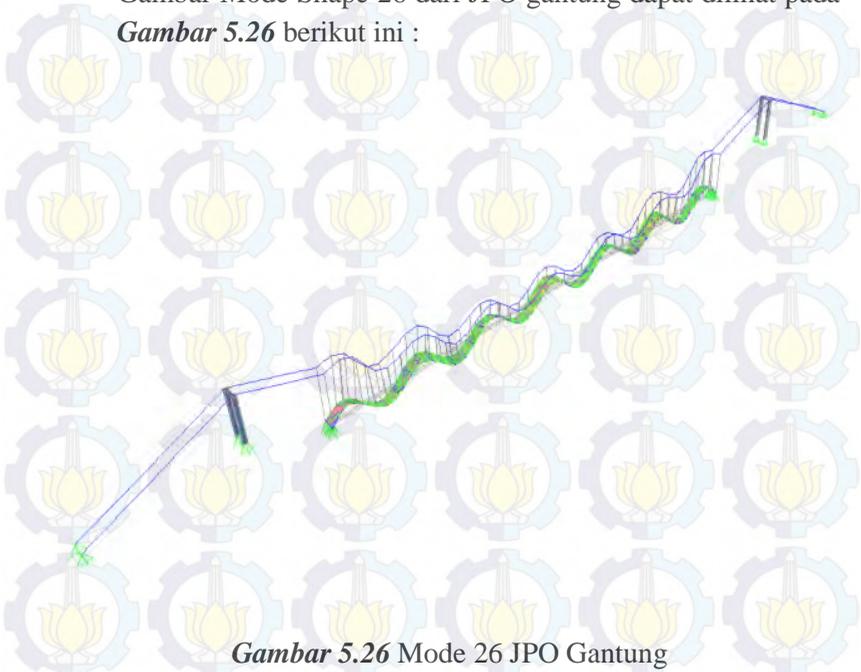


*Gambar 5.25* Mode 25 JPO Gantung

Untuk mode 25 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

26. Mode Shape 26 (  $T = 0,24939$  s ;  $f = 4,00972$  Hz )

Gambar Mode Shape 26 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.26* berikut ini :

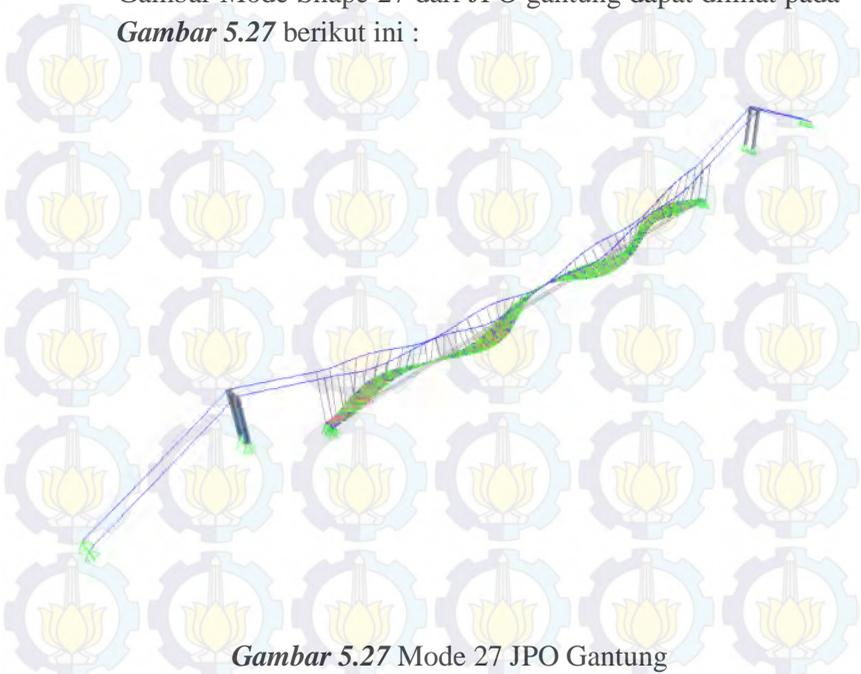


*Gambar 5.26* Mode 26 JPO Gantung

Untuk mode 26 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya

27. Mode Shape 27 (  $T = 0,23792$  s ;  $f = 4,20303$  Hz )

Gambar Mode Shape 27 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.27* berikut ini :

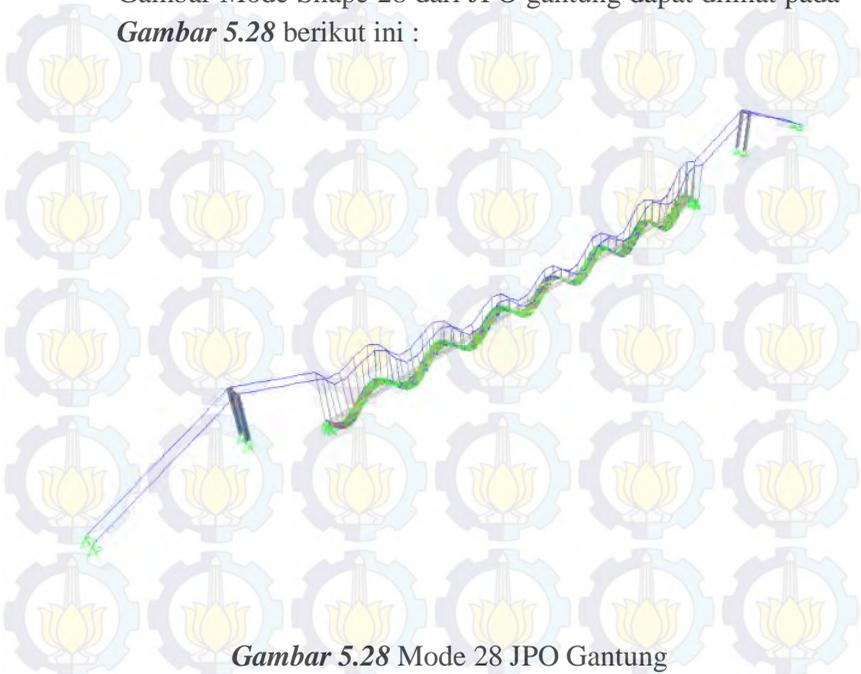


*Gambar 5.27* Mode 27 JPO Gantung

Untuk mode 27 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

28. Mode Shape 28 (  $T = 0,23207$  s ;  $f = 4,30898$  Hz )

Gambar Mode Shape 28 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.28* berikut ini :

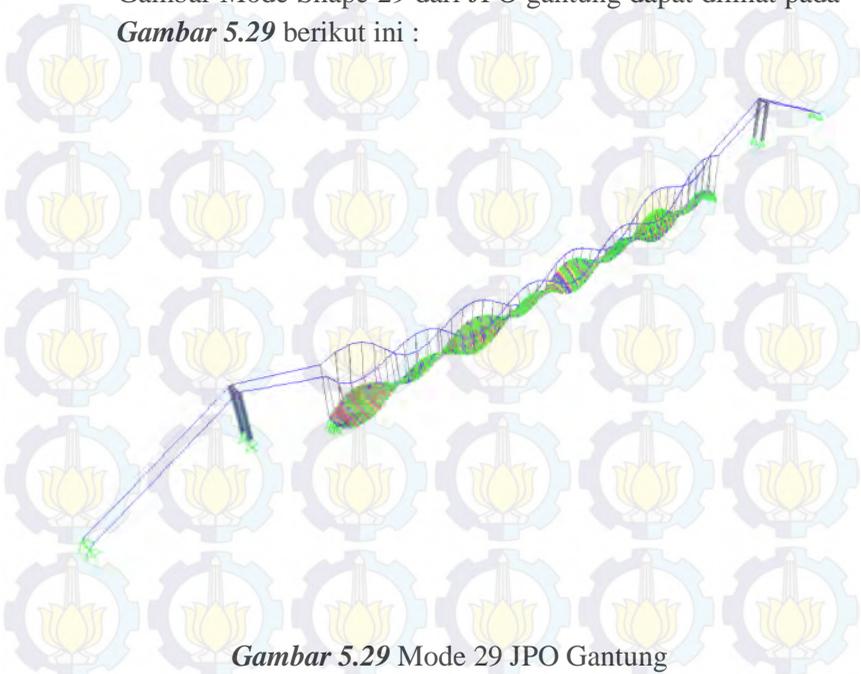


*Gambar 5.28* Mode 28 JPO Gantung

Untuk mode 28 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

29. Mode Shape 29 (  $T = 0,22243$  s ;  $f = 4,49570$  Hz )

Gambar Mode Shape 29 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.29* berikut ini :

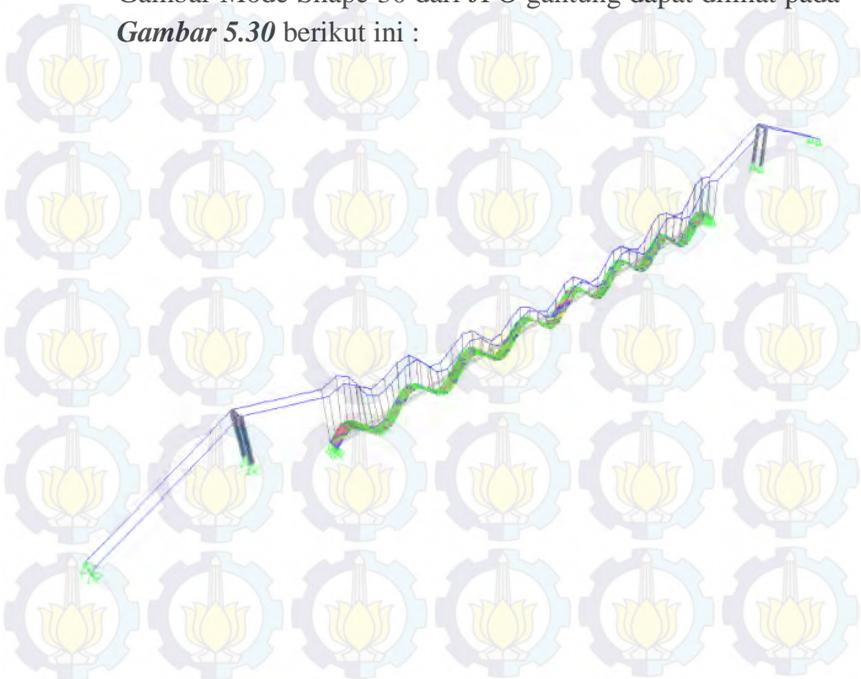


*Gambar 5.29* Mode 29 JPO Gantung

Untuk mode 29 pada struktur JPO gantung didominasi oleh arah getaran torsi pada pelat JPO, Ini menunjukkan bahwa pada JPO apabila dikenai beban torsi akan lebih terpengaruh dibanding dengan beban vertikal ataupun horizontal.

30. Mode Shape 30 (  $T = 0,21678 \text{ s}$  ;  $f = 4,61295 \text{ Hz}$  )

Gambar Mode Shape 30 dari JPO gantung dapat dilihat pada *Gambar 5.30* berikut ini :



*Gambar 5.30* Mode 30 JPO Gantung

Untuk mode 30 pada struktur JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding beban horizontal, sehingga pengaruh berat sendiri dan beban gravitasi lainnya perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan strukturnya.

### 5.3 Beban Statis

Dilihat dari definisinya, beban statis adalah beban yang tidak tergantung terhadap waktu. Nilai yang didapatkannya tidak berubah menurut waktu. Sedangkan beban dinamis adalah beban yang nilainya sangat bergantung terhadap waktu. Beban dinamis dapat dikelompokkan menjadi 4 :

1. Beban harmonis atau selaras.
2. Beban pada waktu tertentu muncul secara periodik mengulangi pada waktu regular yang biasa disebut sebagai periode.
3. Beban acak, yang menunjukkan ketidak seragaman dalam waktu, intensitas, arah, dll.
4. Denyut beban yang sangat ringkas.

Secara umum beban pejalan kaki termasuk beban pada waktu tertentu dan dimasukkan kedalam periode beban. Satu hal yang menonjol dari para pejalan kaki adalah rendahnya intensitas. Struktur kaku dan kuat membuat beban tersebut sulit untuk menggetarkan struktur tersebut secara signifikan. Bagaimanapun juga, dari segi estetika, teknik dan teknologi berkembang ke arah struktur yang langsing dan fleksibel. Sehingga jembatan penyeberangan didesain dan dibangun dengan tingkat kepekaan tinggi terhadap tegangan. Sehingga diperlukan suatu analisa dinamis.

## **5.4 Beban Manusia**

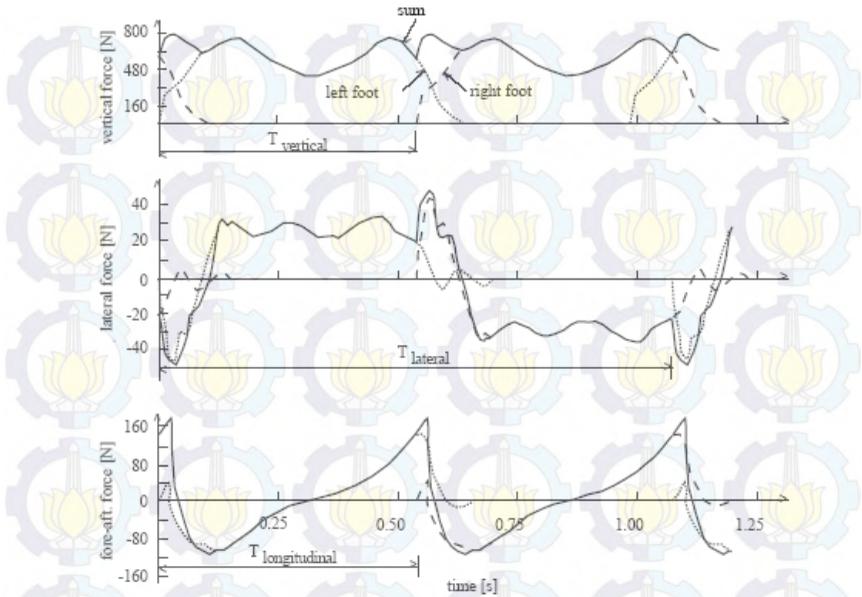
### **5.4.1 Manusia sebagai sumber beban pada JPO**

Untuk struktur (JPO), berjalan dan berlari adalah kegiatan yang paling berpengaruh terhadap JPO dibandingkan dengan kegiatan yang lain. Berjalan adalah kegiatan yang paling umum dipertimbangkan saat merencanakan struktur JPO.

Berjalan adalah sesuatu yang dipertimbangkan sebagai persyaratan gerakan tingkat menengah. Untuk menjelaskan macam dari gerakan, Inman et al. (1994) menjelaskan bahwa ada dua dasar yang diperlukan untuk menentukan karakteristik tindakan berjalan dan kekuatan dinamis yang dipengaruhi akibat berjalan: reaksi dari kekuatan yang berulang untuk mendukung badan seseorang dan perpindahan periodik masing-masing kaki dari satu titik hingga titik yang dituju. Hal ini melibatkan sebuah periode yang pendek ketika kedua kaki berada pada alas dan selama periode ini terjadi perpindahan dari tubuh seseorang kepada salah satu kakinya dan kaki yang lainnya.

Pengukuran dari pengaruh beban dinamis manusia telah dilaksanakan dengan tujuan yang berbeda dari investigasi efek struktur saat awal penelitian. Selama berjalan, manusia menghasilkan beban yang mengacu terhadap waktu yang dinamis menjadi 3 arah: vertikal, horizontal-lateral, dan horizontal-longitudinal. (Banchmann, 1987).

Banyak penelitian telah dilaksanakan untuk mengukur kekuatan orang tunggal dan berkelompok. Pengukuran langkah dari individu mempertimbangkan bahwa frekuensi dasar dari kekuatan pejalan kaki lateral dua kali lebih rendah dari arah vertikal dan longitudinal (Bachmann, 1987), bentuk umum dari kekuatan yang berkesinambungan dapat di gambarkan apabila periode atau waktu tertentu dapat diasumsikan secara sempurna (*Gambar 5.31*).



**Gambar 5.31** Grafik Periode Berjalan Time History Arah Vertikal, Lateral dan Longitudinal

Frekuensi lompatan yang khas untuk berjalan adalah sekitar 2 langkah perdetik, yang mana memberikan frekuensi kekuatan vertikal sebesar 2Hz. Hal ini telah ditetapkan dengan berbagai percobaan, sebagai contoh oleh Matsumoto et al. (1972), (1978) yang menyelidiki 505 orang sebagai contohnya. Dia menyimpulkan bahwa frekuensi lompatan mengikuti suatu aliran normal sebesar 2 Hz dengan standart deviasi sebesar 0.173 Hz. Berjalan dengan lambat berada pada kisaran 1,4-1,7 Hz dan berjalan cepat berada pada kisaran 2,2-2,4 Hz. Ini berarti total dari cakupan frekuensi tekanan vertikal adalah 1,4-3 Hz dengan diambil rata-rata sebesar 2 Hz. Sejak komponen dari tekanan

vertikal di aplikasikan pada separuh frekuensi langkah, frekuensi tekanan lateral antara 0.71-1,2 Hz.

Fujino et l. (1993), ketika berjalan kaki pada suatu struktur, pejalan kaki menghasilkan beban dinamis lateral pada permukaan struktur. Walaupun diketahui secara luas bahwa manusia berjalan dengan frekuensi rata-rata sebesar 2 Hz, itu tidak biasa diketahui tetapi sekitar 10% dari beban vertikal bekerja lateral ketika seseorang berjalan. Tekanan ini merupakan suatu konsekuensi goyangan lateral dari pusat gravitasi tubuh manusia dan goyangan lateral merupakan konsekuensi dari perpindahan tubuh ketika seseorang melangkah menggunakan kaki kanan atau kaki kirinya. Amplitudo dari goyangan lateral secara umum antara 1-2 cm. Harus menjadi catatan bahwa parameter dari beban lateral tidak secara baik terhitung. Hanya sedikit pengukuran mengenai pentingnya beban lateral kaitannya dengan berjalan.

#### 5.4.2 Pejalan Kaki – Pengaruh Tindakan dan Pemodelan Relevan

Pejalan kaki mempengaruhi beban yang terjadi akibat adanya aktifitas pada struktur JPO, khususnya berjalan. Beban dalam kaitannya dengan berjalan dapat diwakili dengan suatu deret fourier dengan koefisien frekuensi yang terpisah. Fungsi tekanan dalam kaitannya dengan rytme tubuh seseorang dapat dijelaskan menggunakan suatu deret fourier:

$$F(t) = G \left( 1 + \sum_{n=1}^I r_n \sin(2nf_n \pi t + \phi_n) \right)$$

Dimana  $G$  = Beban mati dari pejalan kaki (800N),  $r_n$  = Koefisien Fourier dari  $i$ -th yang harmoni,  $f_n$  = tingkat aktivitas

$1/T_p$  (Hz),  $t$  = waktu (s),  $\varphi_n$  = sudut fase  $i$ -th yang harmoni,  $I$  = nomor dari  $i$ -th yang harmoni dan  $n$  = total nomor harmoni.

Pada *Tabel 5.1* nilai-nilai yang bersangkutan mengenai koefisien fourier dan sudut fase dijelaskan oleh Emad (2003) untuk menggambarkan aktifitas berjalan normal.

*Tabel 5.1* Sepuluh Koefisien fourier dan sudut fase pertama, untuk beban berjalan normal ( $T_p = 0.6$  s), Emad (2003).

*Tabel 5.1* Sepuluh Koefisien Fourier dan Sudut Fase Pertama

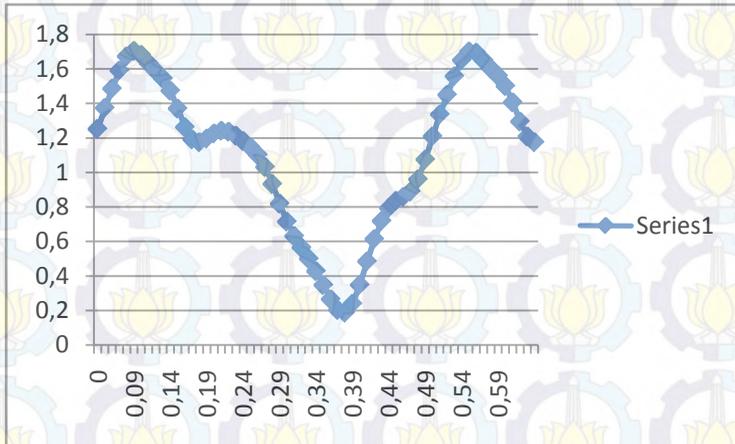
N	rn	$\varphi_n =$
1	0.585731	19.91
2	0.168027	-17.53
3	0.097902	-45.06
4	0.0594	-76.72
5	0.034773	-87.68
6	0.021061	-93.15
7	0.013486	-96.26
8	0.009109	-98
9	0.006444	-98.85
10	0.00474	-99.06

Dengan memasukkan koefisien yang telah diketahui kedalam persamaan fourier, maka didapatkan nilai  $F(t)$  untuk 0.6 detik pertama sebagai berikut :

**Tabel 5.2**  $F(t)$  Berdasarkan Fungsi Waktu

time (s)	force	time	force
0	1,251094	0.31	0,346618
0.01	1,37296	0.32	0,264861
0.02	1,484365	0.33	0,202043
0.03	1,589709	0.34	0,186862
0.04	1,67186	0.35	0,238327
0.05	1,703333	0.36	0,347978
0.06	1,68048	0.37	0,483858
0.07	1,632238	0.38	0,613166
0.08	1,58758	0.39	0,718102
0.09	1,54295	0.40	0,792485
0.10	1,472709	0.41	0,835468
0.11	1,369194	0.42	0,858017
0.12	1,261394	0.43	0,888955
0.13	1,190593	0.44	0,959178
0.14	1,173998	0.45	1,074011
0.15	1,195506	0.46	1,208503
0.16	1,225188	0.47	1,335135
0.17	1,24089	0.48	1,448892
0.18	1,23523	0.49	1,556849
0.19	1,212291	0.50	1,649673
0.20	1,181066	0.51	1,6997
0.21	1,146234	0.52	1,692475
0.22	1,100795	0.53	1,648365
0.23	1,030848	0.54	1,601094
0.24	0,931837	0.55	1,558925
0.25	0,818361	0.56	1,49946
0.26	0,713851	0.57	1,405174
0.27	0,630829	0.58	1,294005
0.28	0,563746	0.59	1,207649
0.29	0,499031	0.60	1,173889
0.30	0,427193		

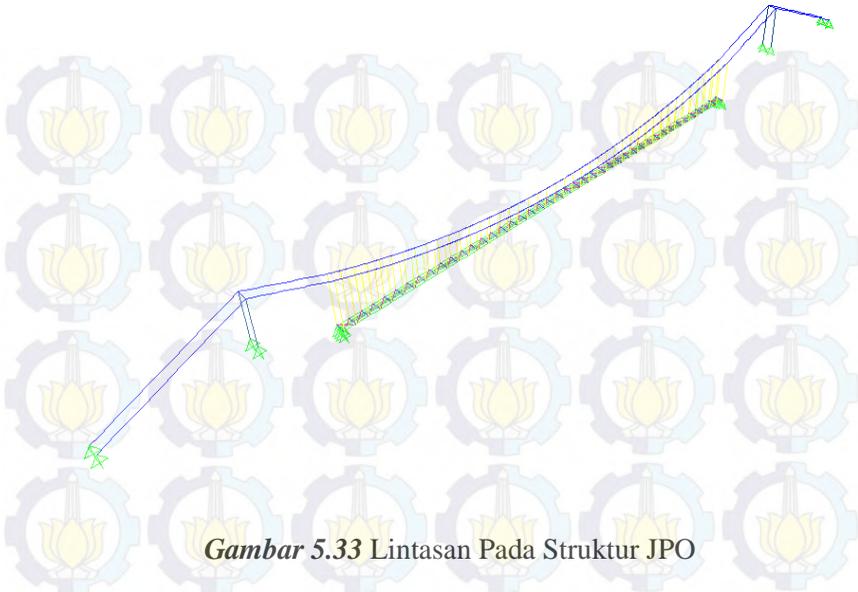
Berdasarkan *Tabel 5.2*, dapat ditarik suatu grafik yang menunjukkan  $F(t)$  didasarkan pada fungsi waktu selama 0.6 s.



*Gambar 5.32* Grafik  $F(t)$  Berdasarkan Fungsi Waktu 0.6 s

### 5.4.3 Beban Manusia Pada Struktur JPO

Setelah mengetahui fungsi dari beban berjalan normal, dibuat pemodelan beban berjalan manusia dengan program bantu SAP 2000. Dengan bantuan Bridge-Vehicle, beban manusia di transformasikan menjadi beban terpusat yang berjalan dengan berat massa 800 N. Lalu, lintasan beban mulai dibuat dengan memanfaatkan lane pada menu bridge. Lintasan yang digunakan ada 3, yaitu ditengah bentang jembatan dan kedua tepi jembatan berjarak 30cm dari as jembatan, mulai jarak 0 m – 84 m.



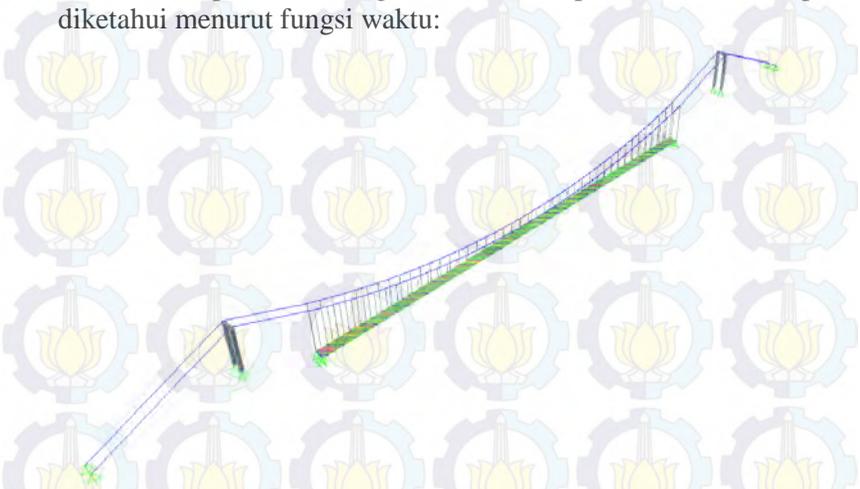
**Gambar 5.33** Lintasan Pada Struktur JPO

Langkah selanjutnya setelah lintasan dapat didefinisikan adalah menentukan load pattern pada struktur JPO. Beban yang digunakan adalah beban manusia dengan tipe bridge live. Waktu mulai beban dimulai pada detik ke 0 s. Jarak yang dibutuhkan untuk struktur JPO 84 m. Kecepatan orang berjalan normal adalah 1.39 m/s seperti yang diutarakan oleh ellis (2000). Sehingga waktu yang dibutuhkan oleh beban untuk sampai pada ujung lintasan adalah 60 s.

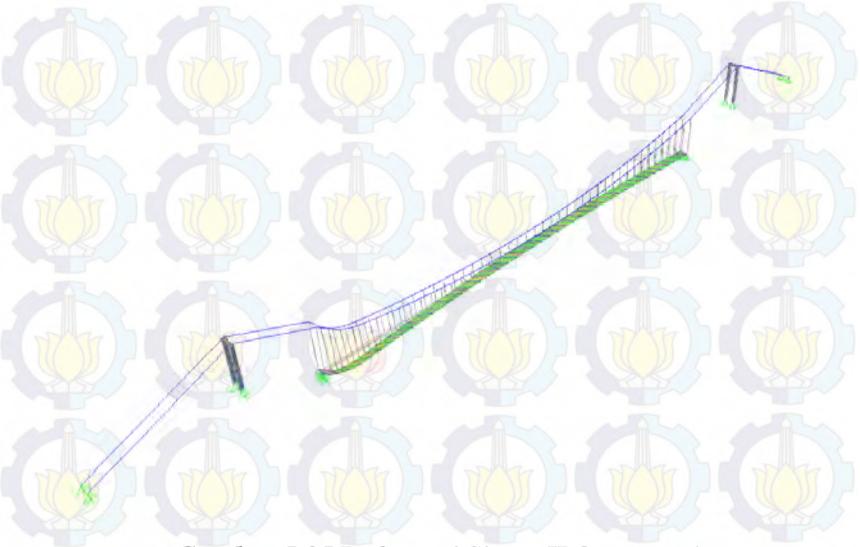
Setelah load pattern terdefinisi, langkah selanjutnya adalah menentukan load case yang akan dipakai. Dengan menggunakan tipe load case time history, fungsi beban yang dipakai adalah beban manusia yang telah didefinisikan dengan fungsi time history antara beban tekanan tubuh dengan waktu seperti tergambar pada gambar 5.1.  $F(t)$  berdasarkan fungsi waktu 0.6 s.

### 5.5 Deformed Shape

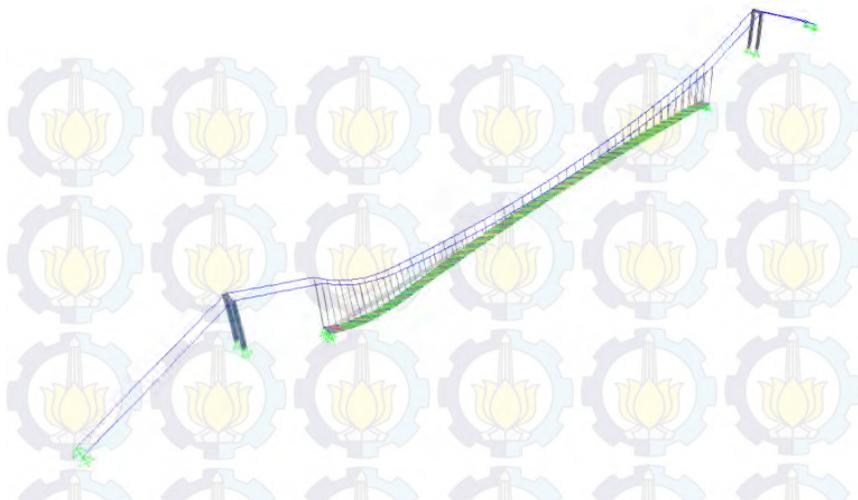
Setelah proses running, deformed Shape struktur JPO dapat diketahui menurut fungsi waktu:



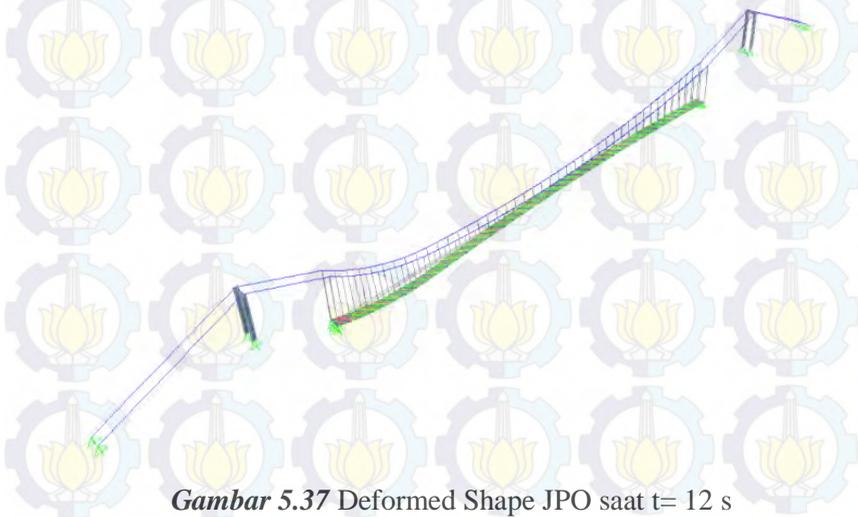
*Gambar 5.34* Deformed Shape JPO saat  $t = 0$  s



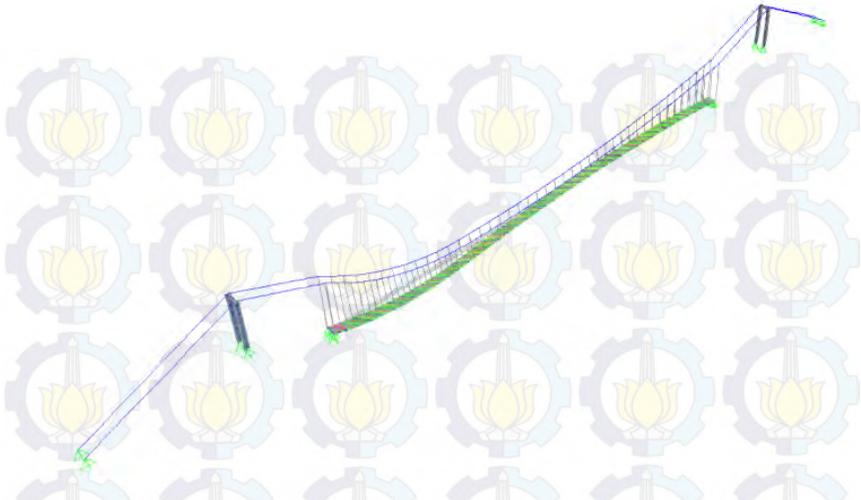
*Gambar 5.35* Deformed Shape JPO saat  $t = 4$  s



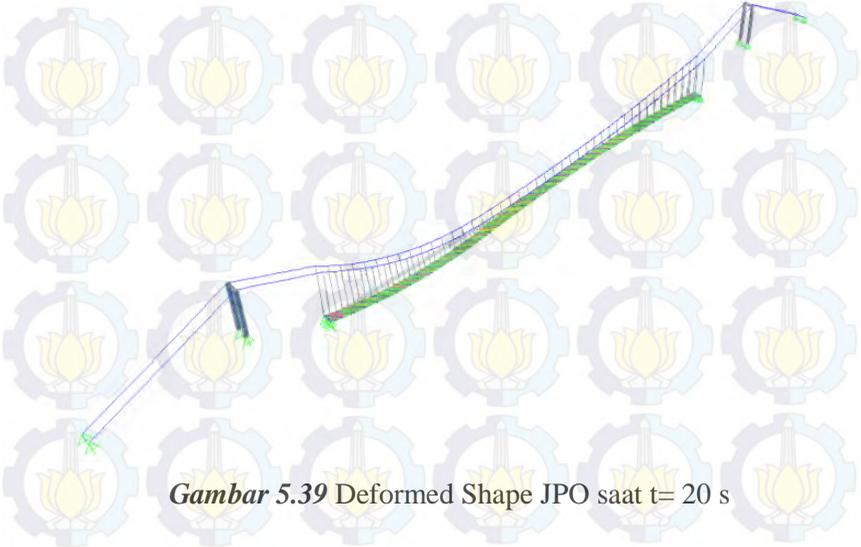
**Gambar 5.36** Deformed Shape JPO saat  $t= 8$  s



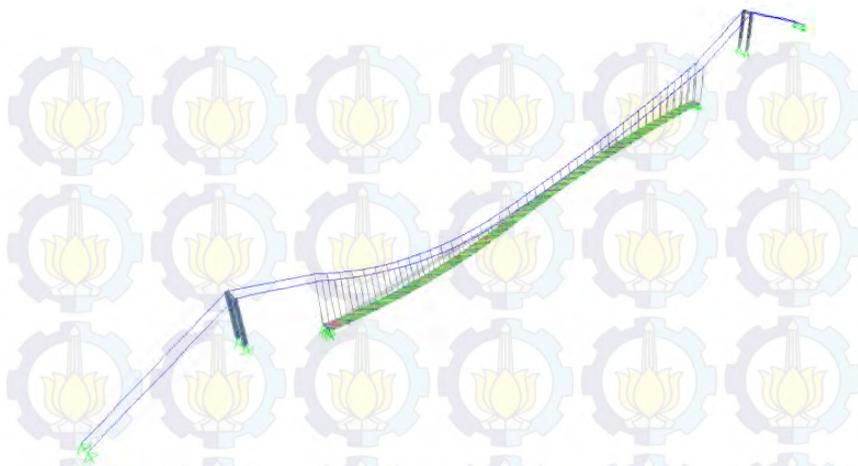
**Gambar 5.37** Deformed Shape JPO saat  $t= 12$  s



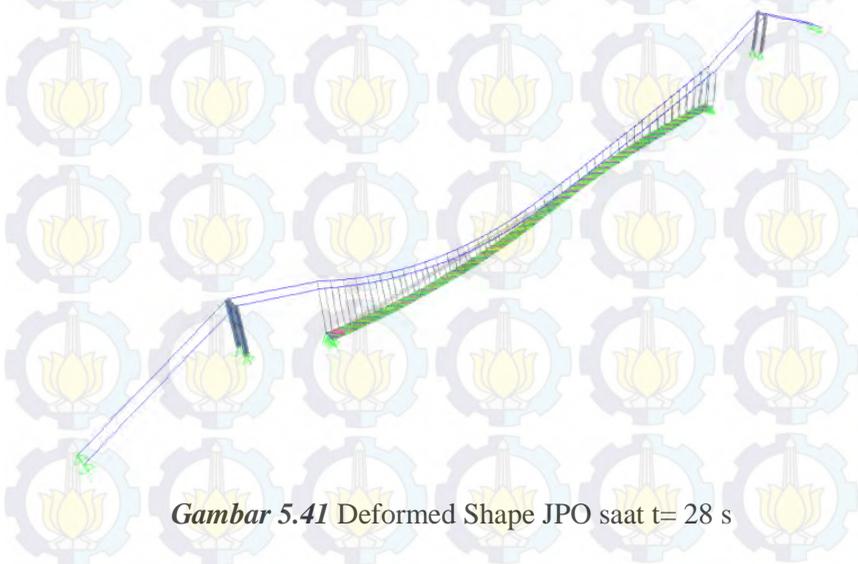
**Gambar 5.38** Deformed Shape JPO saat  $t= 16$  s



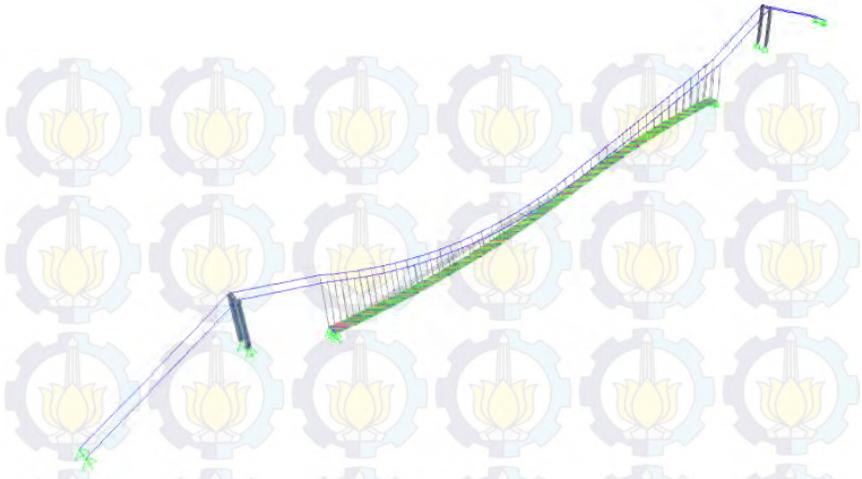
**Gambar 5.39** Deformed Shape JPO saat  $t= 20$  s



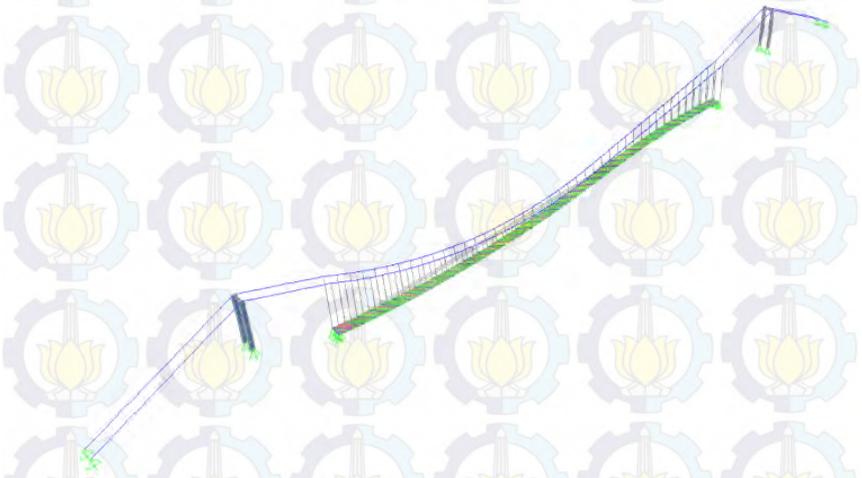
**Gambar 5.40** Deformed Shape JPO saat  $t= 24$  s



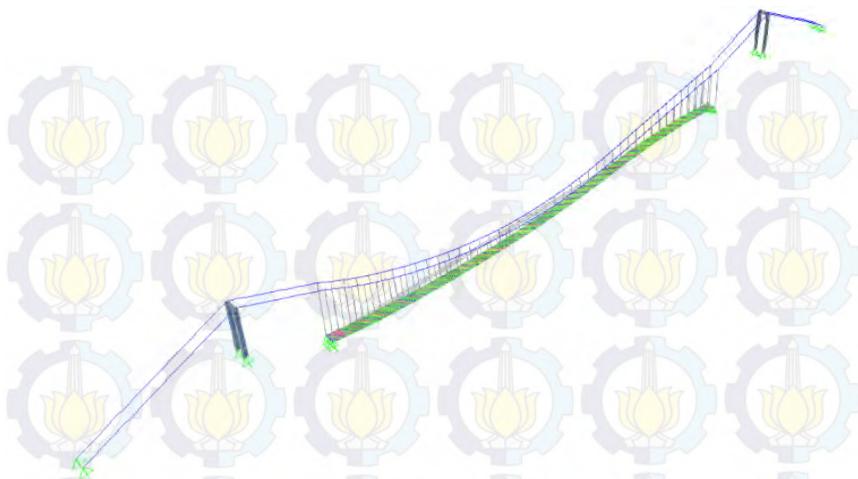
**Gambar 5.41** Deformed Shape JPO saat  $t= 28$  s



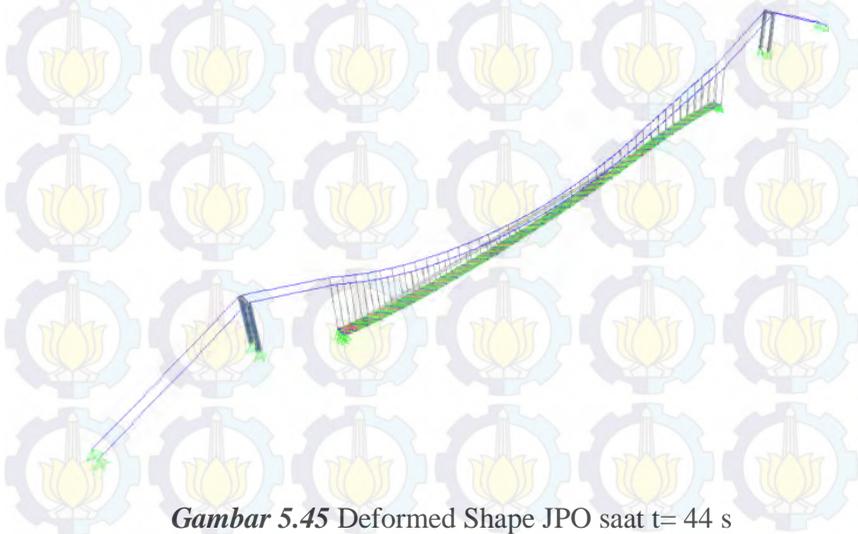
**Gambar 5.42** Deformed Shape JPO saat  $t= 32$  s



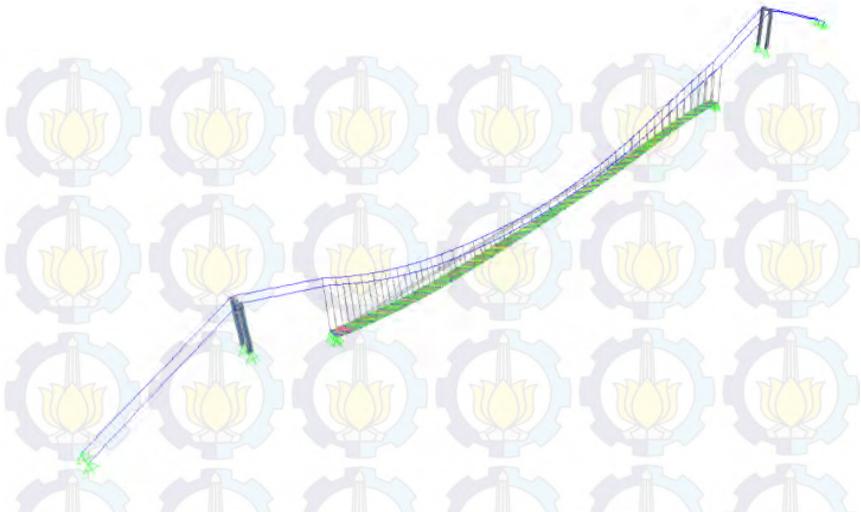
**Gambar 5.43** Deformed Shape JPO saat  $t= 36$  s



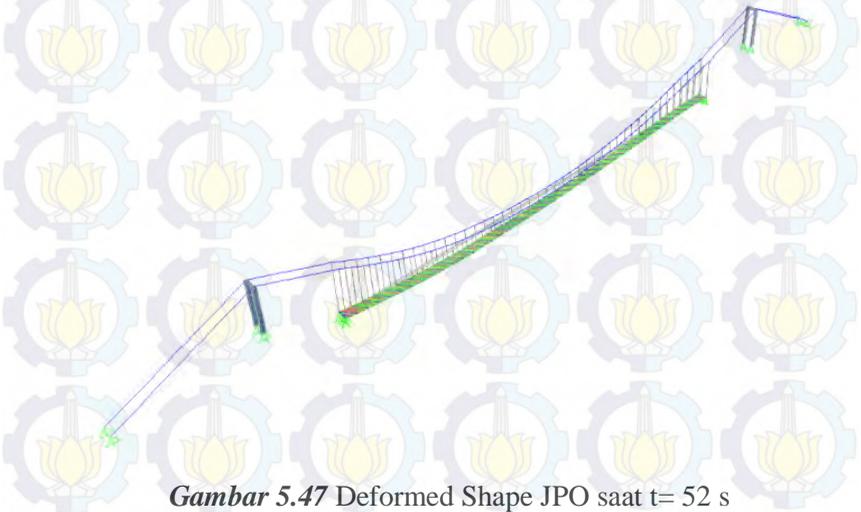
**Gambar 5.44** Deformed Shape JPO saat  $t= 40$  s



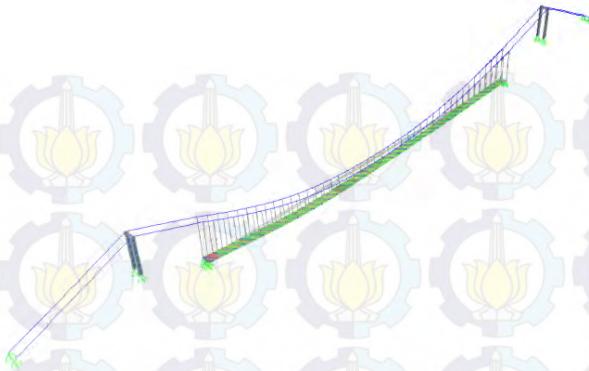
**Gambar 5.45** Deformed Shape JPO saat  $t= 44$  s



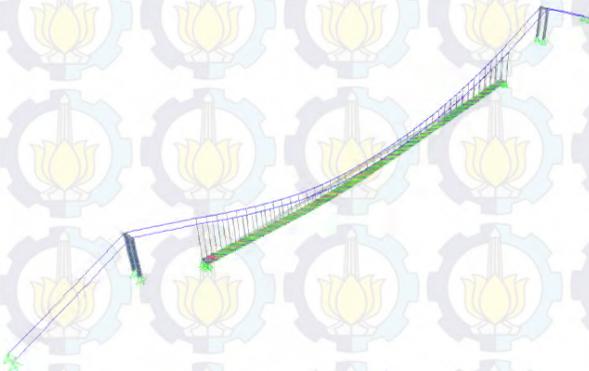
**Gambar 5.46** Deformed Shape JPO saat  $t= 48$  s



**Gambar 5.47** Deformed Shape JPO saat  $t= 52$  s



**Gambar 5.48** Deformed Shape JPO saat  $t= 56$  s



**Gambar 5.49** Deformed Shape JPO saat  $t= 60$  s

Dapat ditarik kesimpulan dari beberapa gambar diatas bahwa ketika beban berjalan saat waktu dan jarak tertentu, keseluruhan struktur mengalami deformasi. Namun deformasi terbesar terjadi di titik dimana beban sedang bekerja pada jarak  $x$ .

**Tabel 5.3** Frekuensi Alami dan Mode Shape Struktur JPO

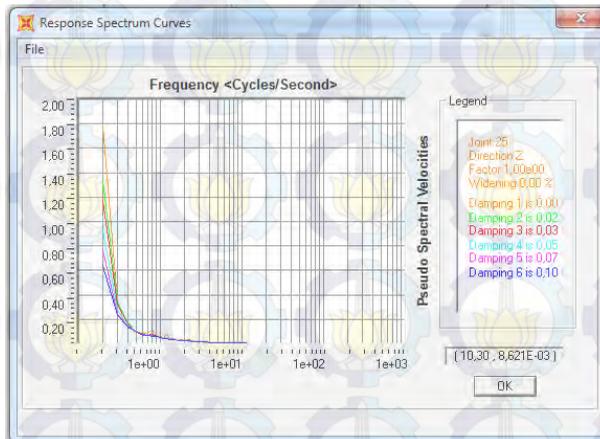
Mode	Frekuensi Jembatan	Bentuk Getaran
1	0,32478	vertikal
2	0,63191	vertikal
3	0,68838	vertikal
4	0,89023	vertikal
5	1,00783	vertikal
6	1,15355	torsi
7	1,19841	torsi
8	1,2594	vertikal
9	1,58231	vertikal
10	1,58402	horisontal
11	1,66021	horisontal
12	1,7321	vertikal
13	1,81748	torsi
14	1,88105	vertikal
15	2,19383	vertikal
16	2,29389	torsi
17	2,49573	vertikal
18	2,80294	vertikal
19	2,8359	vertikal, horisontal, torsi
20	2,87739	torsi
21	3,10361	vertikal
22	3,40699	vertikal
23	3,41465	torsi
24	3,70692	vertikal
25	3,95993	torsi
26	4,00972	vertikal
27	4,20303	torsi
28	4,30898	vertikal
29	4,4957	torsi
30	4,61295	vertikal

## 5.6 Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis Manusia

Ketika struktur JPO menerima beban dinamis manusia, maka struktur tersebut akan mengalami getaran. Sehingga tiap tipe struktur akan memiliki frekuensi yang berbeda-beda menurut konstruksi struktur itu sendiri ketika menerima beban dinamis manusia.

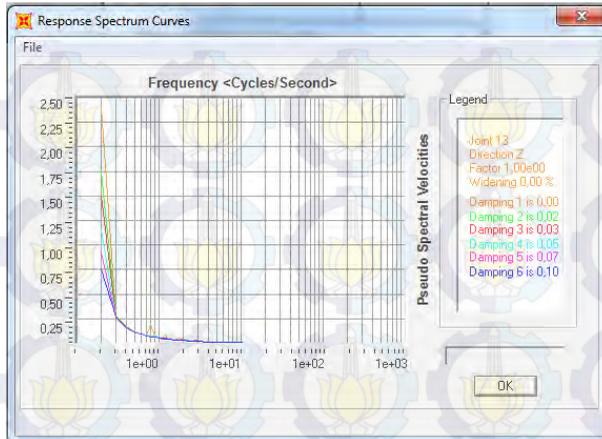
Beban yang berjalan akan memberikan frekuensi yang berbeda-beda di setiap titik yang ditinjau pada struktur. Hal ini dikarenakan ketika beban dinamis manusia berada di satu titik struktur jembatan, maka keseluruhan struktur jembatan akan memberikan respon getaran yang berbeda-beda di tiap segmen struktur tersebut.

Beban dinamis manusia akan dimodelkan berjalan tiap 4 m pada JPO, dan akan ditinjau nilai frekuensi dari struktur JPO tersebut.



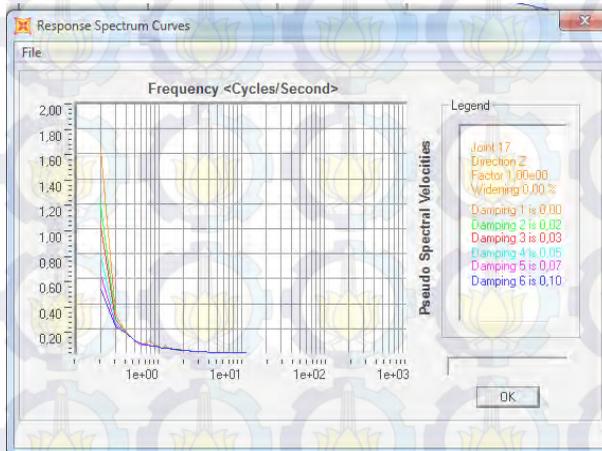
Frekuensi = 1,76 Hz

**Gambar 5.50** Frekuensi JPO gantung pada jarak 4 m



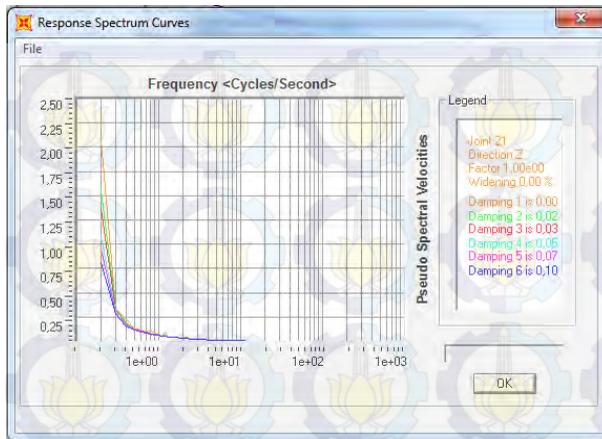
Frekuensi = 2,40 Hz

**Gambar 5.51** Frekuensi JPO gantung pada jarak 8 m



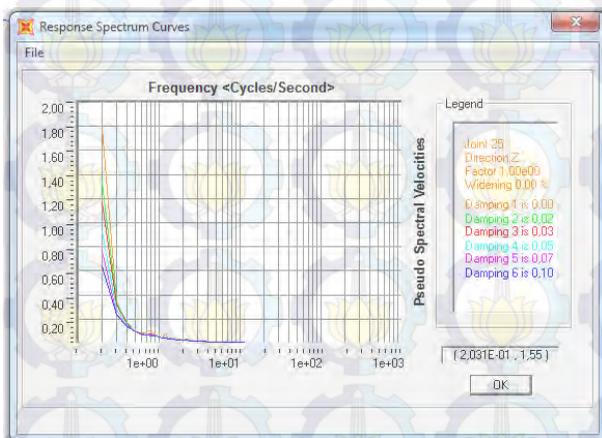
Frekuensi = 1,64 Hz

**Gambar 5.52** Frekuensi JPO gantung pada jarak 12 m



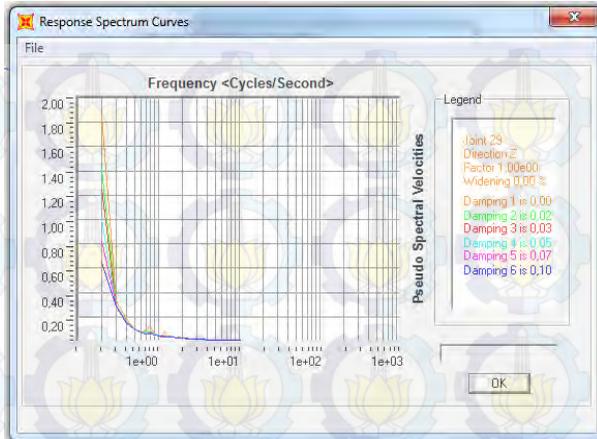
Frekuensi = 2,10 Hz

**Gambar 5.53** Frekuensi JPO gantung pada jarak 16 m



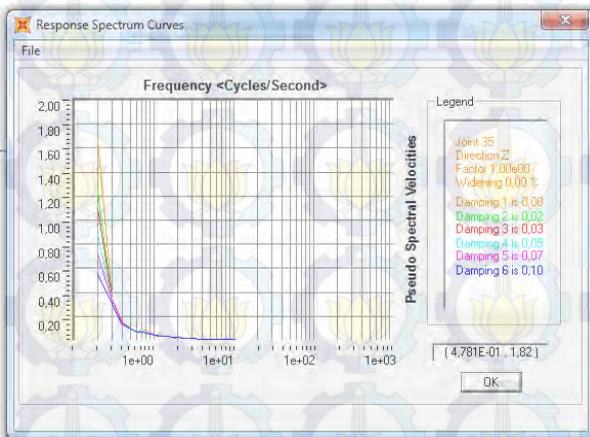
Frekuensi = 1,80 Hz

**Gambar 5.54** Frekuensi JPO gantung pada jarak 20 m



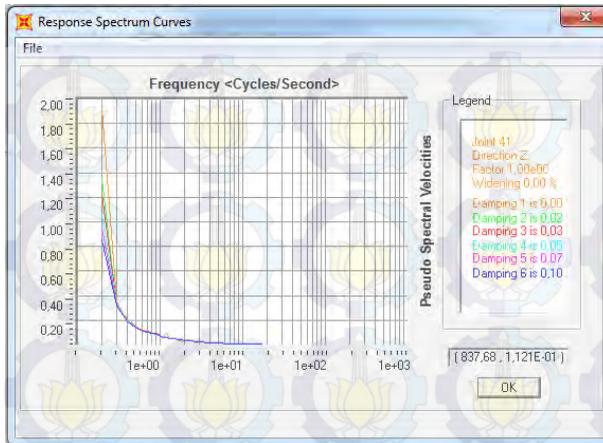
Frekuensi = 1,86 Hz

**Gambar 5.55** Frekuensi JPO gantung pada jarak 24 m



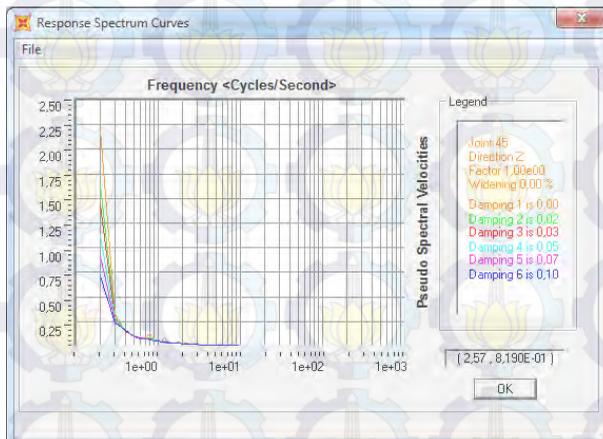
Frekuensi = 1,66 Hz

**Gambar 5.56** Frekuensi JPO gantung pada jarak 28 m



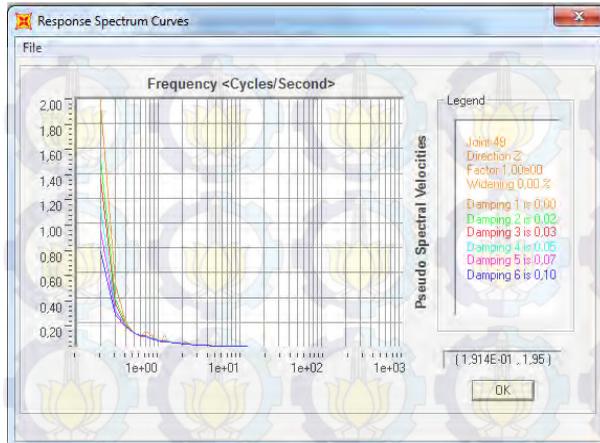
Frekuensi = 1,90 Hz

**Gambar 5.57** Frekuensi JPO gantung pada jarak 32 m



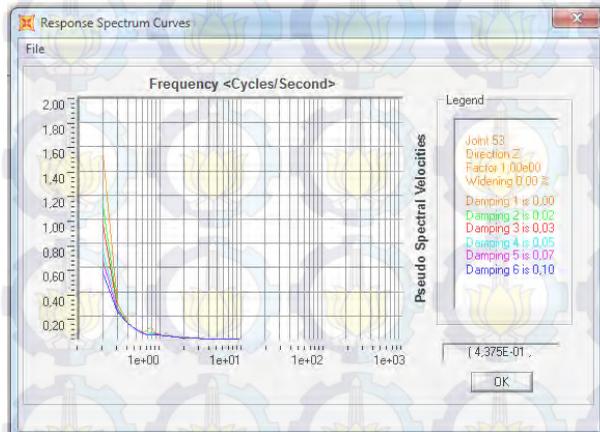
Frekuensi = 2,20 Hz

**Gambar 5.58** Frekuensi JPO gantung pada jarak 36 m



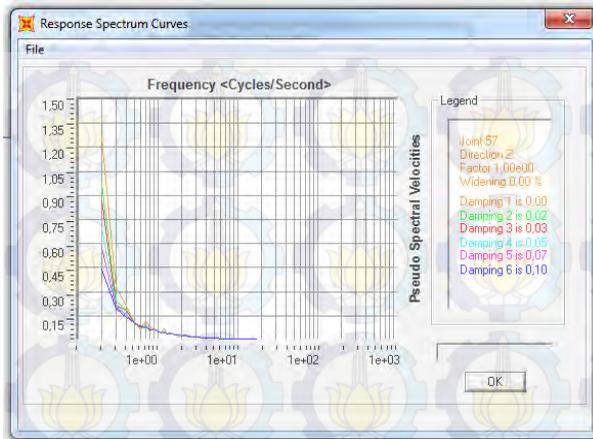
Frekuensi = 1,95 Hz

**Gambar 5.59** Frekuensi JPO gantung pada jarak 40 m



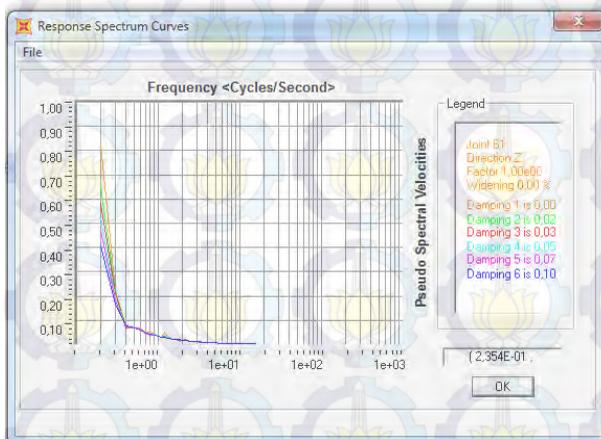
Frekuensi = 1,54 Hz

**Gambar 5.60** Frekuensi JPO gantung pada jarak 44 m



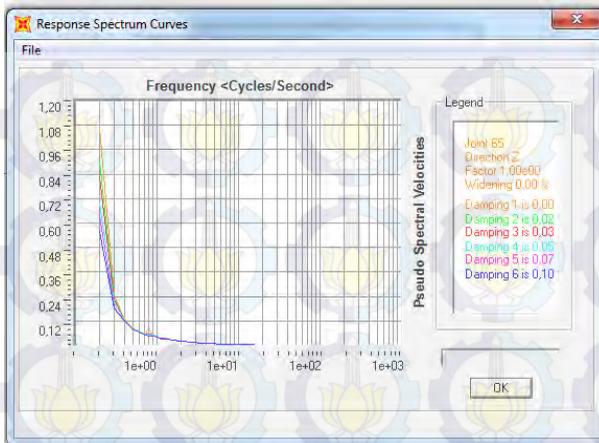
Frekuensi = 1,25 Hz

**Gambar 5.61** Frekuensi JPO gantung pada jarak 48 m



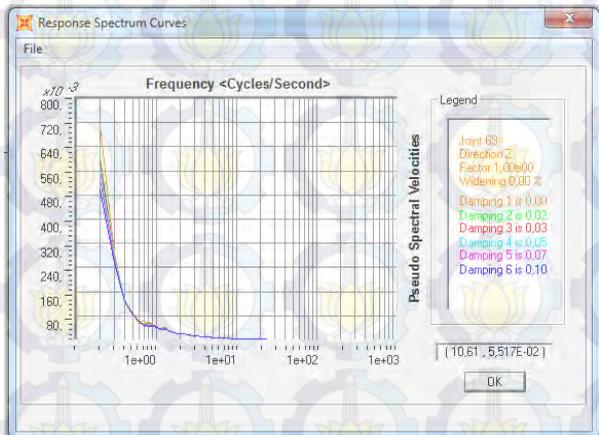
Frekuensi = 0,84 Hz

**Gambar 5.62** Frekuensi JPO gantung pada jarak 52 m



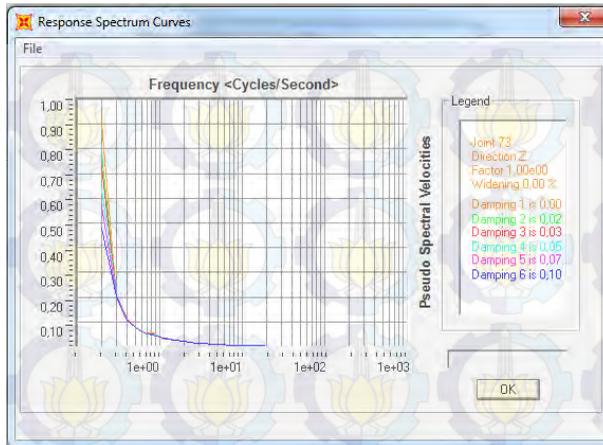
Frekuensi = 1,07 Hz

**Gambar 5.63** Frekuensi JPO gantung pada jarak 56 m



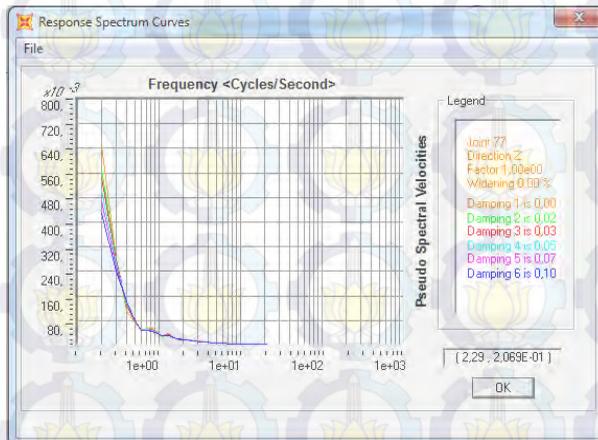
Frekuensi = 0,72 Hz

**Gambar 5.64** Frekuensi JPO gantung pada jarak 60 m



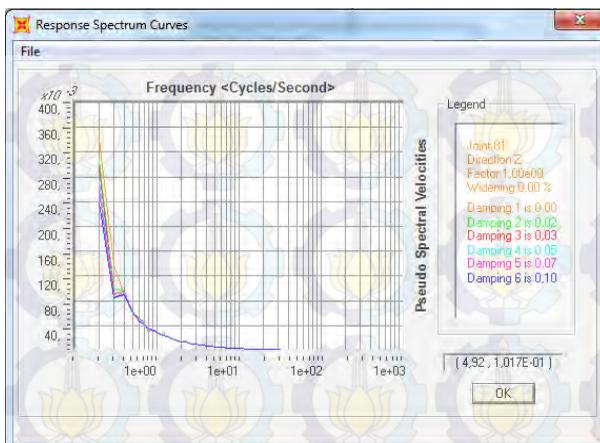
Frekuensi = 0,92 Hz

**Gambar 5.65** Frekuensi JPO gantung pada jarak 64 m



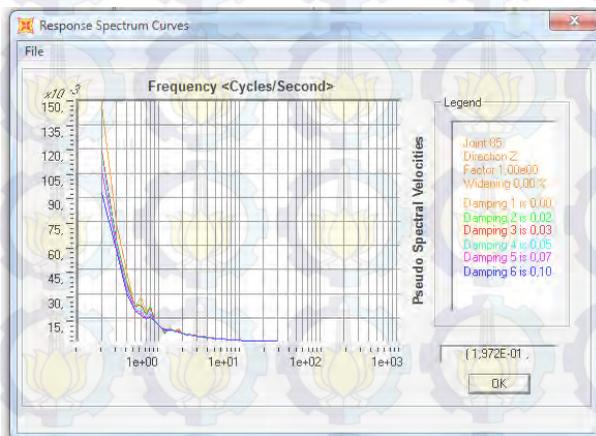
Frekuensi = 0,64 Hz

**Gambar 5.66** Frekuensi JPO gantung pada jarak 68 m



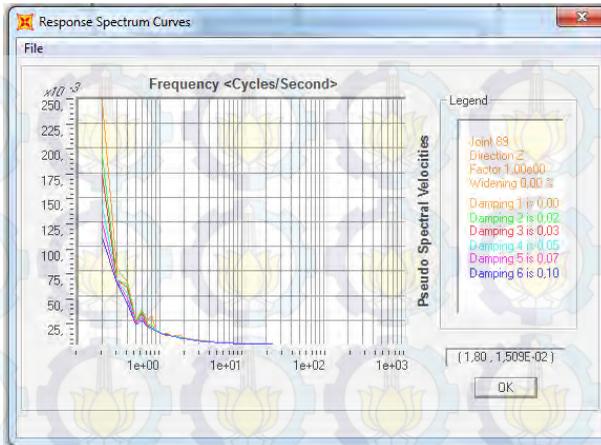
Frekuensi = 0,34 Hz

**Gambar 5.67** Frekuensi JPO gantung pada jarak 72 m



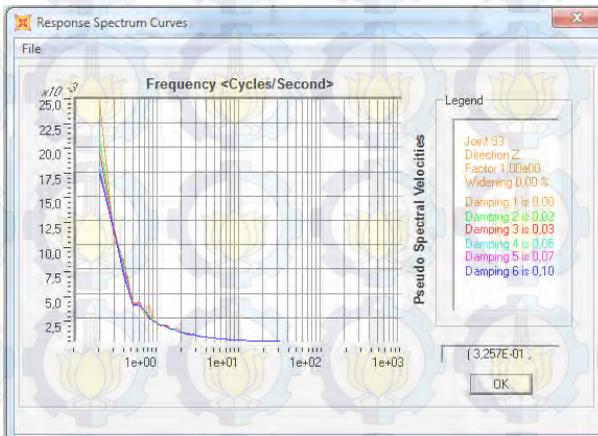
Frekuensi = 0,15 Hz

**Gambar 5.68** Frekuensi JPO gantung pada jarak 76 m



Frekuensi = 0,24 Hz

*Gambar 5.69* Frekuensi JPO gantung pada jarak 80 m



Frekuensi = 0,024 Hz

*Gambar 5.70* Frekuensi JPO gantung pada jarak 84 m

Nilai frekuensi struktur JPO akibat beban dinamis dapat dilihat pada *tabel 5.4* sebagai berikut :

*Tabel 5.4* Nilai Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis

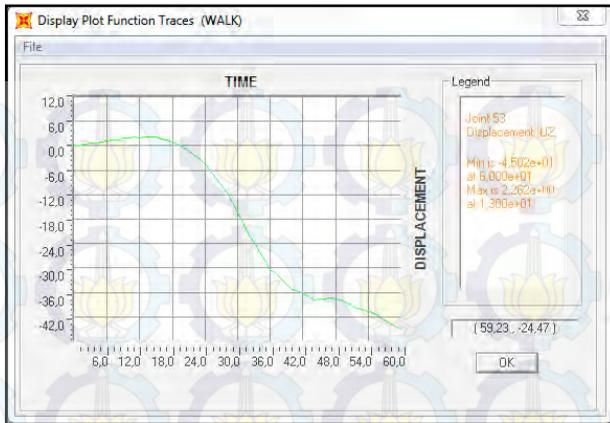
Jarak ( m )	Frekuensi ( Hz )
	JPO Gantung
4	1,76
8	2,4
12	1,64
16	2,1
20	1,8
24	1,86
28	1,66
32	1,9
36	2,2
40	1,95
44	1,54
48	1,25
52	0,84
56	1,07
60	0,72

**Tabel 5.5** Perbandingan Nilai Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis Dengan Frekuensi Alami

Jarak (m)	Frekuensi (Hz)	Frekuensi Alami (Hz)	$f_{\text{Dinamis}} / f_{\text{alami}}$
	JPO Gantung	JPO Gantung	
4	1,76	0,32478	5,42
8	2,4		7,39
12	1,64		5,05
16	2,1		6,47
20	1,8		5,54
24	1,86		5,73
28	1,66		5,11
32	1,9		5,85
36	2,2		6,77
40	1,95		6,00
44	1,54		4,74
48	1,25		3,85
52	0,84		2,59
56	1,07		3,29
60	0,72		2,22

### 5.7 Displacement Struktur JPO Akibat Beban Dinamis Manusia

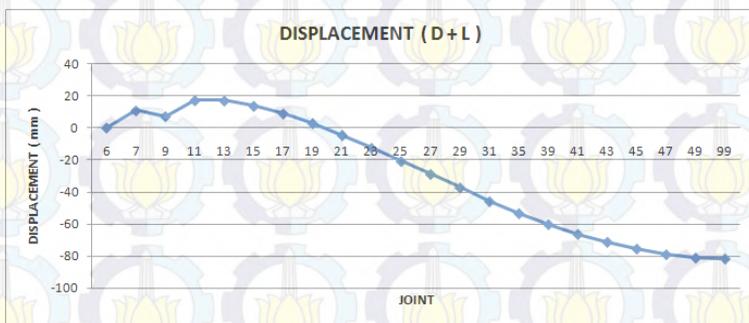
Sebagai titik acuan yang digunakan untuk mengetahui displacement dari struktur JPO, dipakai titik/joint yang berada di tengah bentang jembatan.



**Gambar 5.71** Displacement Struktur Jembatan JPO Gantung Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan

Didapatkan bahwa displacement maksimal pada JPO gantung akibat beban mati & beban dinamis berupa manusia berjalan sebesar -44,90 mm pada waktu 60 s.

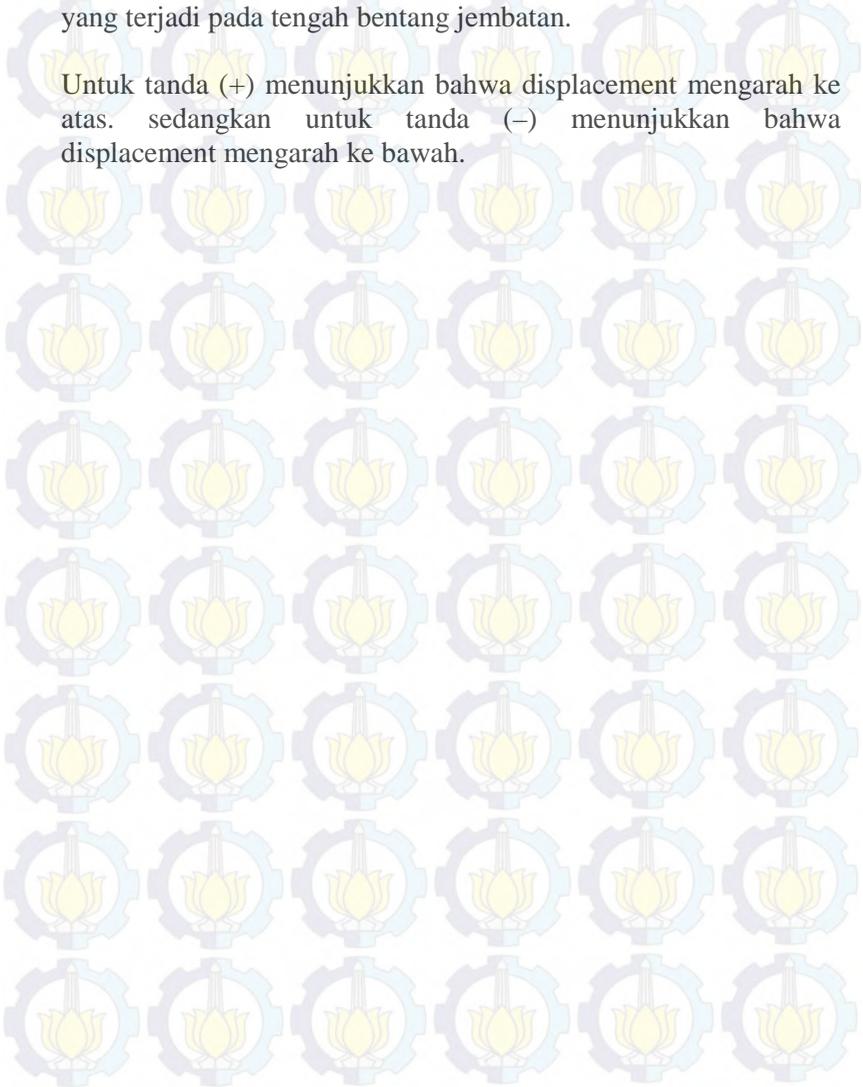
Untuk tanda (+) menunjukkan bahwa displacement mengarah ke atas. sedangkan untuk tanda (-) menunjukkan bahwa displacement mengarah ke bawah.



**Gambar 5.72** Displacement Struktur Jembatan JPO Gantung Akibat Beban Hidup Merata

Didapatkan bahwa displacement maksimal pada JPO gantung akibat beban mati & beban hidup merata sebesar - 82,054 mm yang terjadi pada tengah bentang jembatan.

Untuk tanda (+) menunjukkan bahwa displacement mengarah ke atas. sedangkan untuk tanda (-) menunjukkan bahwa displacement mengarah ke bawah.





*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 KESIMPULAN**

Kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut:

Untuk bentuk getaran dari mode pertama, struktur JPO didominasi oleh bentuk getaran vertikal. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk struktur JPO sangat rentan terhadap beban vertikal dibandingkan dengan beban horisontal atau torsi.

Setiap struktur memiliki bentuk vibrasi alami masing-masing, dimana dapat teridentifikasi dengan memiliki nilai frekuensi tertentu. Begitu juga dengan struktur JPO gantung yang dilakukan pada studi ini. Untuk mode pertama, JPO gantung memiliki frekuensi sebesar 0,32478 Hz. Dalam peraturan British Standart (BS5400\_2 2006), untuk super struktur yang frekuensi alami fundamental dengan getaran melebihi 5 Hz dalam arah vertikal dan 1,5 Hz untuk jembatan arah horizontal, getaran tersebut memenuhi persyaratan servis. Dalam kasus ini, maka bisa dikatakan bahwa struktur jembatan mengalami vibrasi apabila ada beban dinamis yaitu manusia berjalan.

Displacement maksimum pada JPO akibat beban dinamis manusia berjalan sebesar 44,90 mm terjadi ketika beban manusia mencapai ujung jembatan ( waktu tempuh  $t = 60$  s ). Sedangkan displacement maksimum akibat beban hidup merata terjadi di tengah bentang jembatan sebesar 82,054 mm. Nilai ini lebih rendah daripada nilai ijin lendutan yang terjadi pada jembatan yaitu 168 mm.

Sehingga dapat dikatakan bahwa secara JPO gantung tersebut secara kekuatan memenuhi syarat, tetapi secara

kenyamanan masih kurang, sehingga perlu perkuatan, agar kekakuan struktur JPO gantung lebih tinggi dan menyebabkan meningkatnya nilai frekuensi alami struktur tersebut.

## **6.2 SARAN**

Saran yang bisa penulis berikan untuk penyempurnaan tugas akhir ini dikemudian hari adalah :

1. Diperlukannya pendetailan lebih mendalam terhadap elemen struktur JPO gantung.
2. Perlunya analisa struktur JPO lebih detail dengan beban manusia berjalan yang bervariasi sehingga nantinya dihasilkan perilaku jembatan JPO yang lebih mendekati kondisi di lapangan.

FAKULTAS

FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN FTSP - ITS  
SURABAYA  
2012

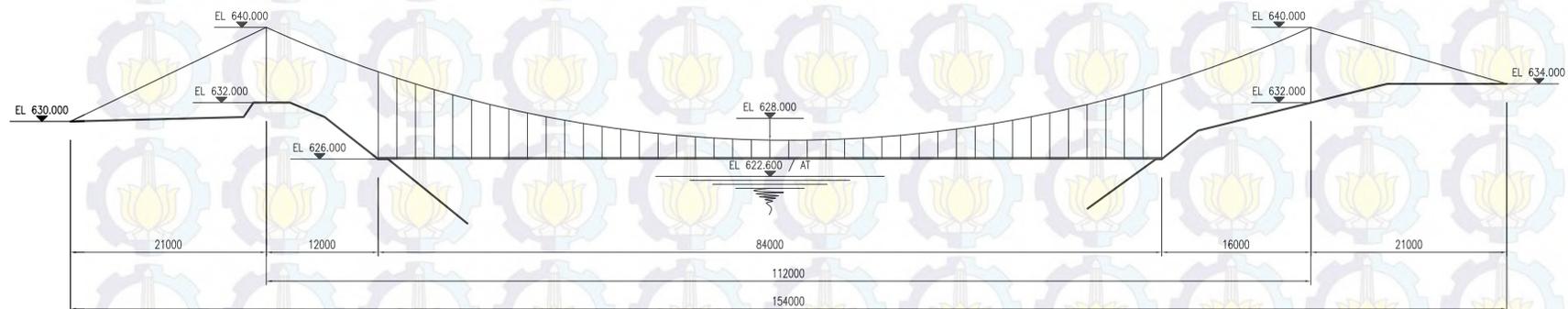
LOKASI STUDI

DESA SELOREJO  
KECAMATAN NGANTANG  
KABUPATEN MALANG

JUDUL TUGAS AKHIR

Studi Perilaku Dinamis Struktur Jembatan  
Penyeberangan Orang (JPO)  
Akibat Beban Manusia Bergerak

CATATAN :



TAMPAK SAMPING  
Skala 1 : 750

DOSEN PEMBIMBING

ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D  
DATA IRANATA, ST., MT., Ph.D

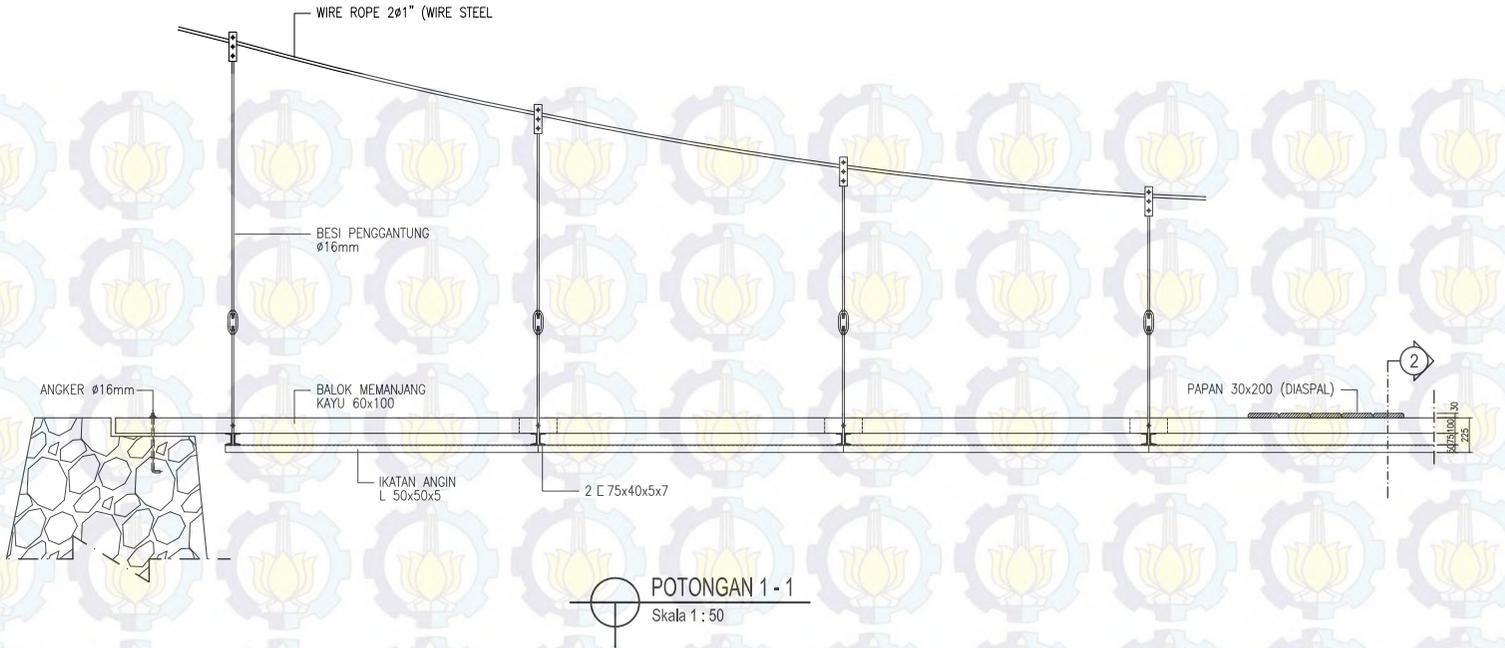
MAHASISWA

ADI SATRIA PUTRA  
3107 100 127

JUDUL GAMBAR	SKALA
TAMPAK SAMPING	1 : 750
NO. LEMBAR	JML. GAMBAR

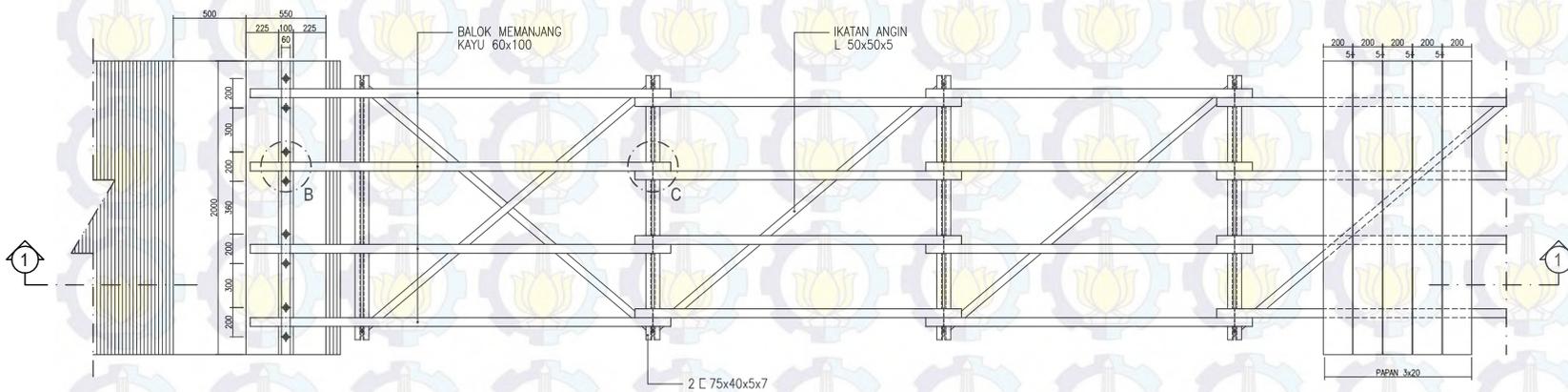
01

04



POTONGAN 1 - 1

Skala 1 : 50



DETAIL A ( TAMPAK ATAS )

Skala 1 : 50

FAKULTAS

FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN FTSP - ITS  
SURABAYA  
2012

LOKASI STUDI

DESA SELOREJO  
KECAMATAN NGANTANG  
KABUPATEN MALANG

JUDUL TUGAS AKHIR

Studi Perilaku Dinamis Struktur Jembatan  
Penyeberangan Orang (JPO)  
Akibat Beban Manusia Bergerak

CATATAN :

DOSEN PEMBIMBING

ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D  
DATA IRANATA, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

ADI SATRIA PUTRA  
3107 100 127

JUDUL GAMBAR

SKALA

POTONGAN 2-2

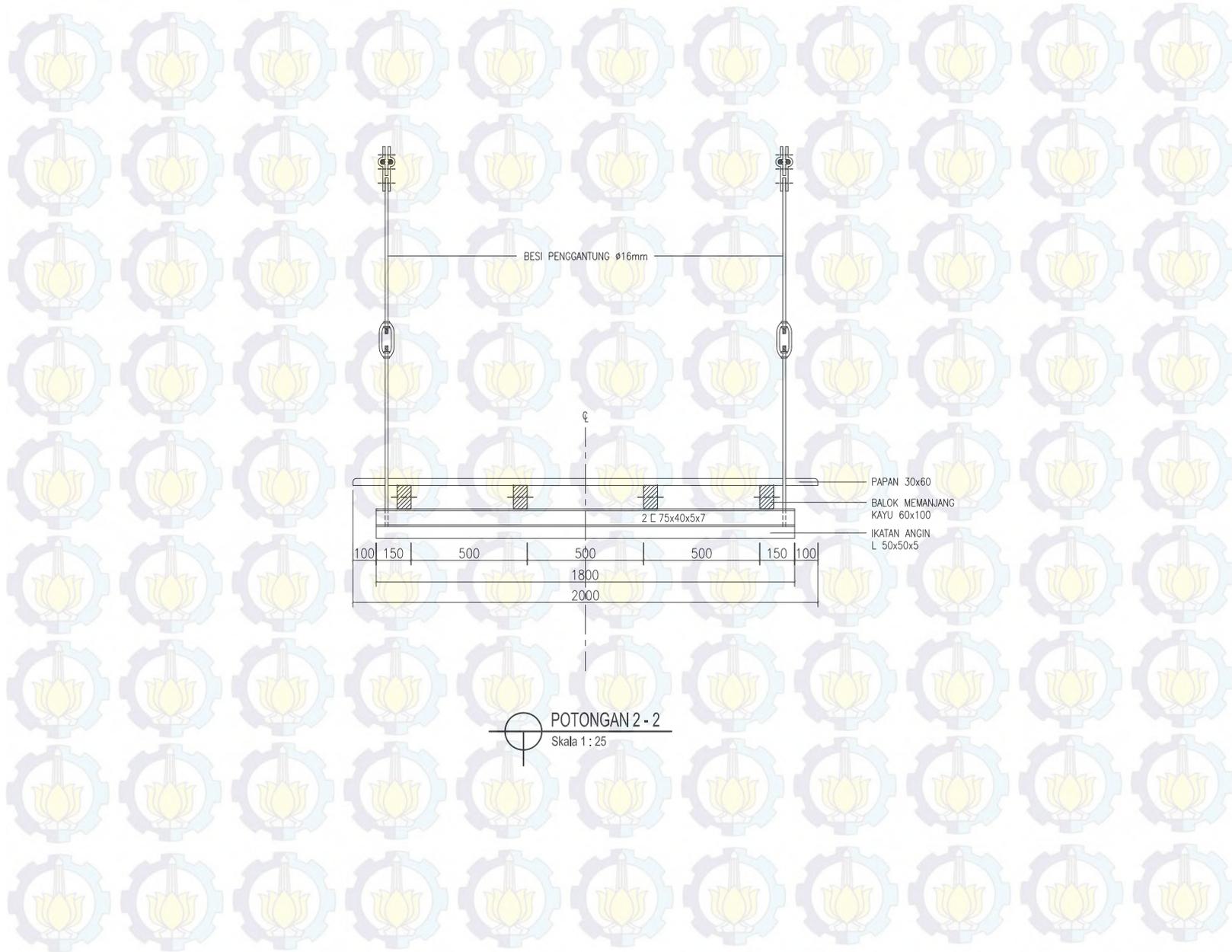
1 : 50

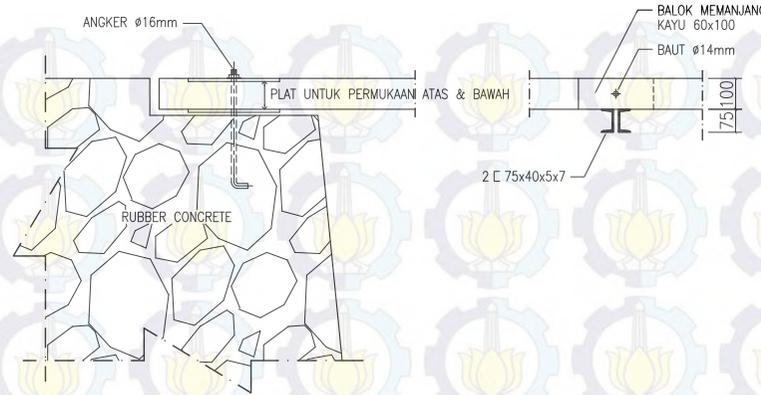
NO. LEMBAR

JML. GAMBAR

03

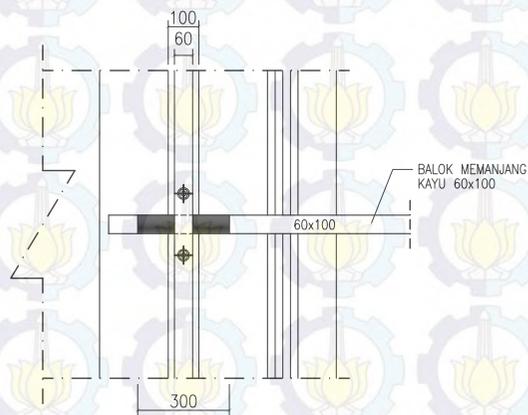
04





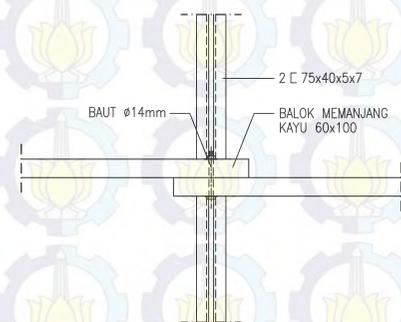
DETAIL A (TAMPAK SAMPING)

Skala 1 : 25



DETAIL B (TAMPAK ATAS)

Skala 1 : 25



DETAIL C (TAMPAK ATAS)

Skala 1 : 25

## DAFTAR PUSTAKA

Bachmann, H. and Ammann, W. (1987). *Vibration in Structure: Induced by Man and Machines*, International Association of Bridge and Structural Engineering (IABSE)

BMS, 1992, *Bridge Design Code Vol. 1, Bridge Management System*, Dinas Pekerjaan Umum, Jakarta.

British Standard, 2006, "Steel, Concrete and Composite Bridge", UMIST, Manchester, UK.

Brownjohn, J.M.W., A. Pavic. (2007), "Experimental methods for estimating modal mass in footbridges using human-induced dynamic excitation", Elsevier, *Engineering Structures*, 29(21): 2833-2843

Dallard, P., Fitzpatrick, A.J., Flint, A., Lee Bourva, S., (2001). "The London Millennium Footbridge", *Structural Engineer*, UK, 79 (22): 17-33.

Ellis, B. R. and T. Ji (2002). "Load generated by jumping crowds: experimental assessment (IP 4/02 BRE)", Building Research Establishment (BRE): 1-12.

Ellis, B. R. (2003). "The influence of crowd size on floor vibrations induced by walking." *The Structural Engineering* 81(6): 20 - 27.

Ellis, B. R. and T. Ji (2004). "Load generated by jumping crowds: numerical modelling." *The Structural Engineer* 82(17):35 - 40.

Emad, A.M. (2003). "Floor Vibration Induced by Walking Loads", UMIST, Manchester, UK.

Figueiredo et al, 2008, "A parametric study of composite footbridges under pedestrian walking loads", *Engineering Structures*, 30(3), 605-615.

Litter, J.D. (2003). "Frequencies of synchronized human loading from jumping and stamping". IStrucE, The Structural Engineer, 81(11): 27-35

Piccardo, G., Tubino, F., (2008), "Parametric resonance of flexible footbridges under crowd-induced lateral excitation", Journal of Sound and Vibration, 311: 353-371.

Wahyuni, E (2009a). *Using Dynamic Measurements to Predict Structural Responses of a Composite Floor Induced by an Individual Walking Load*. The 1st International Seminar on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries, November 2-3, 2009, Bandung - Indonesia.

Wahyuni, E (2009b). *Structural Responses of a Concrete Beam Subjected to Human Dynamic Load*. Engineering & Science International Conference, November 24 -25, 2009, Curtin University of Technology, Sarawak Campus, Miri, Sarawak.

Wyatt, T.A. (1989). "Design guide on the vibration of floors", Ascot, Steel Construction Institute, London, UK.

## BIODATA PENULIS



Adi Satria Putra lahir di Jombang, 18 September 1987, merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK PKK Jombang, SDN Tunggorono 1 Jombang, SMPN 5 Jombang dan SMKN 3 Jombang. Setelah lulus dari SMKN 3 tahun 2006, Penulis masuk D1 PPNS

jurusan CAD dan ANIMASI (PATSI) di PPNS , tahun 2007 penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2007 dan terdaftar dengan NRP 3107100127. Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Struktur. Selama kuliah penulis pernah mengikuti seminar dan beberapa lomba dibidang keteknik sipilan, dan keluar sebagai juara 1 dan mendapat kategori *best design* pada lomba gambar teknik tingkat nasional, mendapat juara 2 pada lomba desain perpustakaan tingkat nasional, serta mendapat juara 3 pada lomba desain gerbang tol tingkat nasional. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail : [adisatria125@yahoo.co.id](mailto:adisatria125@yahoo.co.id) dan [adi.satria.s50@gmail.com](mailto:adi.satria.s50@gmail.com)