



TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

**STUDI PERBANDINGAN HASIL PERENCANAAN OPTIMAL  
JEMBATAN PENYEBERANGAN ORANG (JPO)  
BERTINGKAT AKIBAT BEBAN STATIS DAN BEBAN  
DINAMIS MANUSIA BERJALAN**

AZIZUR RAHMAN  
NRP. 3114 105 040

Dosen Pembimbing I  
Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – RC14 – 1501

**COMPARATIVE STUDY OF OPTIMAL DESIGN OF  
MULTILEVEL FOOTBRIDGE DUE TO STATIC LOADS AND  
DYNAMIC LOADS OF WALKING HUMAN**

AZIZUR RAHMAN  
NRP. 3114 105 040

Supervisor I  
Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D

Supervisor II  
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**STUDI PERBANDINGAN HASIL PERENCANAAN  
OPTIMAL JEMBATAN PENYEBERANGAN ORANG  
(JPO) BERTINGKAT AKIBAT BEBAN STATIS DAN  
BEBAN DINAMIS MANUSIA BERJALAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada**

**Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**AZIZUR RAHMAN**

**NRP : 3114 105 040**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Endah Wahyuni, **ST., M.Sc., Ph.D.**  (Pembimbing I)

2. Budi Suswanto, **ST., MT., Ph.D.**  (Pembimbing II)



**SURABAYA  
JULI, 2016**

# **STUDI PERBANDINGAN HASIL PERENCANAAN OPTIMAL JEMBATAN PENYEBERANGAN ORANG (JPO) BERTINGKAT AKIBAT BEBAN STATIS DAN BEBAN DINAMIS MANUSIA BERJALAN**

**Nama Mahasiswa** : Azizur Rahman  
**NRP** : 3114105040  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D  
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

## **Abstrak**

*Manusia sebagai beban dinamis sangat berpengaruh dalam merencanakan jenis struktur tertentu, seperti stadion, lantai gedung olahraga, atau JPO. Apabila beban manusia tersebut tidak diperhitungkan sebagai beban dinamis maka dapat menjadi penyebab kegagalan struktur. Hal ini dikarenakan beban dinamis manusia menghasilkan reaksi vertikal dan horizontal yang dapat menimbulkan vibrasi dan resonansi.*

*Dalam studi ini dilakukan pemodelan beban akibat manusia berjalan dari literatur yang ada. Model beban berupa beban manusia individu.. Dengan menggunakan program SAP2000, pembebanan ini akan dihitung secara dinamis, sehingga akibat orang yang berjalan akan menghasilkan reaksi vertikal dan horizontal serta berubah terhadap waktu. Dari pengujian ini dapat dilihat kekuatan dan perilaku dinamis struktur JPO akibat beban dinamis manusia berjalan. Selanjutnya dilakukan optimasi elemen-elemen struktur JPO dan membandingkan hasil perencanaan JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan. Kemudian melakukan pengecekan kekuatan sambungan pada JPO eksisting.*

*Uji kasus dilakukan untuk menganalisa JPO bertingkat di Jl. Ngagel No. 123 Surabaya. Dari hasil analisa struktur berdasarkan beban hidup statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup> sudah memenuhi persyaratan kekuatan. Akan tetapi apabila dianalisa menggunakan beban hidup statis 500 kg/m<sup>2</sup> struktur tidak aman. Struktur yang dianalisa menggunakan beban dinamis manusia berjalan mempunyai rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (PMM) dan displacement lebih kecil dibandingkan analisa menggunakan beban statis. Perilaku dinamis sruktur tidak terjadi resonansi dan masih nyaman digunakan oleh pejalan kaki. Dengan menggunakan beban dinamis dapat diperoleh struktur yang optimal.*

***Kata Kunci : Jembatan Penyeberangan Orang, Beban Manusia Berjalan, Optimasi, Resonansi***

# COMPARATIVE STUDY OF OPTIMAL DESIGN OF MULTILEVEL FOOTBRIDGE DUE TO STATIC LOADS AND DYNAMIC LOADS OF WALKING HUMAN

**Name of Student** : Azizur Rahman  
**NRP** : 3114105040  
**Department** : Civil Engineering FTSP - ITS  
**Supervisor** : Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D  
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

## **Abstract**

*Humans as a dynamic loads would greatly affect to the design of certain types of structures such as stadiums, floor for sport, or footbridge. If the kind of loads was not considered in the design as dynamic loads that could be the cause of structural failure. It is because the human dynamic load generates vertical and horizontal reaction can cause vibration and resonance.*

*The modeling of the dynamic loads was based on existing literatures. The human loads were modelled as an individual load. These loads were calculated as a dynamic load by using SAP2000, thus the responses on the structure would be as vertical and horizontal vibrations. The strength and dynamic behavior of footbridge structure due to the dynamic load of human walking were studied in this final project. Furthermore, the optimization of the structural elements of footbridge and compare results of footbridge planning due to the static load and the dynamic load of human walking. Then checking the connection strength to the existing footbridge.*

*A study case was conducted to analyze an example of multilevel footbridge at Jl. Ngagel No. 123 Surabaya. The analysis of the structure based on the static live load of 250 kg/m<sup>2</sup> and 310 kg/m<sup>2</sup> have meet the strength requirements. If the analyzed using the static live load of 500 kg/m<sup>2</sup>, the structure was not safe. The structure analyzed using a dynamic load of human walking has the ratio of PMM and displacement smaller than the analysis using a static load. The resonance did not occur in the structure and it was still pleasant to be used by pedestrians. By using the dynamic load then it can be obtained an optimal design of the structure.*

**Key Words: Footbridge, Human Walking Load, Optimal, Resonance**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Pembebanan pada Struktur .....	7
2.1.1 Beban Statis .....	7
2.1.2 Beban Dinamis.....	9
2.1.3 Beban Angin Jembatan .....	10
2.1.4 Beban Gempa .....	11
2.2 Kombinasi Pembebanan .....	14



2.3	Beban Dinamis Manusia .....	15
2.4	Manusia sebagai Sumber Beban JPO.....	22
2.5	Pemodelan Beban Manusia Berjalan .....	23
2.6	Analisa Struktur Jembatan .....	24
2.6.1	Kontrol Momen Lentur .....	24
2.6.2	Kontrol Geser.....	25
2.6.3	Kontrol <i>Displacement</i> .....	25
2.6.4	Kontrol Batang Tarik.....	25
2.6.5	Kontrol Batang Tekan.....	26
2.7	Getaran Bebas .....	26
2.7.1	Getaran Bebas Tanpa Redaman .....	26
2.7.2	Getaran Bebas Teredam.....	28
2.8	Jembatan Penyeberangan Orang .....	30
2.9	Optimasi Struktur.....	31
2.10	Sambungan .....	32
2.10.1	Sambungan Baut.....	32
2.10.2	Sambungan Las .....	34
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI .....</b>	<b>37</b>
3.1	Umum .....	37
3.2	Uraian Tahapan Studi .....	41
3.2.1	Studi Literatur.....	41
3.2.2	Pengumpulan Data.....	41
3.2.3	Pemodelan Struktur JPO dengan Beban Statis .....	42
3.2.4	Analisa Struktur Akibat Beban Statis .....	42

3.2.5	Pemodelan Struktur JPO dengan Beban Dinamis Manusia Berjalan.....	43
3.2.6	Analisa Struktur Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan .....	43
3.2.7	Optimasi Elemen .....	44
3.2.8	Perbandingan Hasil Perencanaan.....	45
3.2.9	Analisa Sambungan .....	45
3.2.10	Kesimpulan dan Saran .....	45
3.3	Lokasi Studi.....	46
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>		<b>47</b>
4.1	Umum.....	47
4.2	Pemodelan Struktur .....	47
4.2.1	Awalan .....	47
4.2.2	Pendefinisian Data.....	48
4.3	Pembebanan Struktur .....	51
4.2.1.	Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan .....	51
4.2.2	Tahapan Pembebanan .....	52
4.4	Cek Desain Elemen Struktur.....	56
4.4.1	Cek Desain Elemen Struktur dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> .....	57
4.4.1.1	Cek Desain Balok Silang.....	57
4.4.1.2	Cek Desain Balok Memanjang.....	60
4.4.1.3	Cek Desain Balok Melintang .....	65
4.4.1.4	Cek Desain Kolom Portal.....	69
4.4.1.5	Cek Desain Rangka .....	73

4.4.1.5 Kontrol <i>Displacement</i> .....	77
4.4.2 Cek Desain Elemen Struktur dengan Beban Hidup	
Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan 310 kg/m <sup>2</sup> .....	77
4.4.2.1 Kontrol <i>Displacement</i> .....	78
4.4.3. Cek Desain Elemen Struktur dengan Beban Hidup	
Statis 500 kg/m <sup>2</sup> .....	78
4.4.3.1 Kontrol <i>Displacement</i> .....	79
4.5 Frekuensi Alami dan <i>Mode Shape</i> JPO Eksisting .....	80
4.5.1 Frekuensi Alami.....	80
4.5.2 <i>Mode Shape</i> (Bentuk Model).....	80
4.6 Pemodelan Beban Dinamis Manusia Berjalan .....	85
4.7 Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis Manusia ....	93
4.8 Cek Desain.....	94
4.8.1 Cek Desain Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan	
Beban Dinamis Manusia Berjalan .....	95
4.8.1.1 Cek Desain Balok Silang.....	98
4.8.1.2 Cek Desain Balok Memanjang .....	100
4.8.1.3 Cek Desain Balok Melintang.....	105
4.8.1.4 Cek Desain Kolom Portal .....	109
4.8.1.5 Cek Desain Rangka .....	113
4.8.2 Cek Desain Akibat Beban Dinamis Manusia	
Berjalan .....	119
4.8.2.1 Cek Desain Balok Silang.....	120
4.8.2.2 Cek Desain Balok Memanjang .....	123
4.8.2.3 Cek Desain Balok Melintang.....	127

4.8.2.4 Cek Desain Kolom Portal.....	132
4.8.2.5 Cek Desain Rangka .....	135
4.9 <i>Displacement</i> JPO .....	141
4.10 Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan	142
4.10.1 Akselerasi Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan .....	142
4.10.2 Akselerasi Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan .....	143
4.11 Optimasi Elemen Struktur JPO .....	145
4.11.1 Optimasi Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan.....	145
4.11.2 Optimasi Akibat Beban Beban Dinamis Manusia Berjalan .....	155
4.12 Perbandingan Hasil Analisa .....	166
4.13 Analisa Sambungan .....	174
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	183
5.1 Kesimpulan.....	183
5.2 Saran.....	185
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	 xxv
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Faktor Beban Akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Koefisien Seret $C_w$ .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Kecepatan Angin Rencana $V_w$ .....	11
<b>Tabel 2.4</b> Kombinasi Beban Kerja.....	14
<b>Tabel 2.5</b> Kombinasi pada Keadaan Ultimit.....	14
<b>Tabel 2.6</b> Karakteristik Manusia Berjalan.....	15
<b>Tabel 2.7</b> Penelitian tentang Beban Dinamis Manusia.....	16
<b>Tabel 2.8</b> Jarak Tepi Minimum baut.....	33
<b>Tabel 2.9</b> Ukuran Minimum Las Sudut.....	35
<b>Tabel 4.1</b> Cek Desain Struktur Akibat Beban Hidup Statis 250 $kg/m^2$ dan 310 $kg/m^2$ .....	78
<b>Tabel 4.2</b> Cek Desain Struktur Akibat Beban Hidup Statis 500 $kg/m^2$ .....	79
<b>Tabel 4.3</b> Frekuensi Alami dan Mode Shape Struktur JPO.....	83
<b>Tabel 4.4</b> Sepuluh Koefisien Fourier dan Sudut Fase.....	86
<b>Tabel 4.5</b> $F(t)$ Manusia Berjalan Lambat Berdasarkan Fungsi Waktu.....	87
<b>Tabel 4.6</b> $F(t)$ Manusia Berjalan Normal Berdasarkan Fungsi Waktu.....	88
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Frekuensi Dinamis 3 Lintasan dan Frekuensi Alami.....	93
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Frekuensi Dinamis 7 Lintasan dan Frekuensi Alami.....	94
<b>Tabel 4.9</b> Cek Desain Struktur Akibat Beban Hidup Statis 250 $kg/m^2$ dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan.....	118
<b>Tabel 4.10</b> Cek Desain Struktur Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan.....	140

<b>Tabel 4.11</b>	Kontrol Displacement Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan.....	141
<b>Tabel 4.12</b>	Kontrol Displacement Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan.....	141
<b>Tabel 4.13</b>	Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan.	142
<b>Tabel 4.14</b>	Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan.	143
<b>Tabel 4.15</b>	Profil Baja pada Alternatif 1 .....	145
<b>Tabel 4.16</b>	Cek Desain Alternatif 1 Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan.....	146
<b>Tabel 4.17</b>	Profil Baja pada Alternatif 2.....	147
<b>Tabel 4.18</b>	Cek Desain Alternatif 2 Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan.....	148
<b>Tabel 4.19</b>	Profil Baja pada Alternatif 3.....	149
<b>Tabel 4.20</b>	Cek Desain Alternatif 3 Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan.....	150
<b>Tabel 4.21</b>	Profil Baja pada Alternatif 4.....	151
<b>Tabel 4.22</b>	Cek Desain Alternatif 4 Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan.....	152
<b>Tabel 4.23</b>	Kontrol Displacement Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan...	153
<b>Tabel 4.24</b>	Cek Frekuensi Alami Mode 1 .....	153
<b>Tabel 4.25</b>	Perbandingan Frekuensi Dinamis 3 Lintasan dan Frekuensi Alami .....	154
<b>Tabel 4.26</b>	Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan.	155
<b>Tabel 4.27</b>	Profil Baja pada Alternatif 1 .....	156
<b>Tabel 4.28</b>	Cek Desain Alternatif 1 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan.....	157
<b>Tabel 4.29</b>	Profil Baja pada Alternatif 2.....	158

<b>Tabel 4.30</b> Cek Desain Alternatif 2 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan .....	159
<b>Tabel 4.31</b> Profil Baja pada Alternatif 3.....	160
<b>Tabel 4.32</b> Cek Desain Alternatif 3 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan .....	161
<b>Tabel 4.33</b> Profil Baja pada Alternatif 4.....	162
<b>Tabel 4.34</b> Cek Desain Alternatif 4 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan .....	163
<b>Tabel 4.35</b> Kontrol Displacement.....	164
<b>Tabel 4.36</b> Cek Frekuensi Alami Mode 1 .....	164
<b>Tabel 4.37</b> Perbandingan Frekuensi Dinamis 7 Lintasan dan Frekuensi Alami .....	165
<b>Tabel 4.38</b> Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan	166
<b>Tabel 4.39</b> Perbandingan Hasil Analisa JPO Eksisting .....	168
<b>Tabel 4.40</b> Perbandingan Hasil Analisa Perilaku Dinamis .....	169
<b>Tabel 4.41</b> Perbandingan Hasil Analisa Akibat Beban Statis dan Beban Dinamis 3 Lintasan .....	170
<b>Tabel 4.42</b> Perbandingan Hasil Analisa Optimasi Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan.....	171
<b>Tabel 4.43</b> Perbandingan Hasil Perencanaan Akibat Beban Statis dengan Perencanaan yang Optimal Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan.....	172
<b>Tabel 4.44</b> Perbandingan Hasil Perencanaan Akibat Beban statis dengan Perencanaan yang Optimal Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan.....	172
<b>Tabel 4.45</b> Tebal Las Masing-masing Profil .....	174
<b>Tabel 4.46</b> Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> .....	176
<b>Tabel 4.47</b> Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan 310 kg/m <sup>2</sup> .....	177
<b>Tabel 4.48</b> Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 500 kg/m <sup>2</sup> .....	178



<b>Tabel 4.49</b> Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia .....	179
<b>Tabel 4.50</b> Analisa Sambungan dengan Beban Dinamis Manusia Penuh .....	180

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Pembebanan untuk Pejalan Kaki.....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Grafik Fungsi Waktu Beban Dinamis .....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Periode Berjalan Time History Arah Vertikal, Lateral, dan Longitudinal.....	23
<b>Gambar 2.4</b>	Getaran Bebas Tanpa Redaman .....	28
<b>Gambar 2.5</b>	Getaran Bebas Tereدام.....	29
<b>Gambar 2.6</b>	Baut dan Bagian-bagiannya .....	33
<b>Gambar 2.7</b>	Ukuran Diameter Baut .....	33
<b>Gambar 2.8</b>	Sambungan Las.....	34
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Studi .....	39
<b>Gambar 3.2</b>	Peta Lokasi Studi .....	46
<b>Gambar 4.1</b>	Tampilan X-Y Pemodelan Struktur .....	49
<b>Gambar 4.2</b>	Tampilan X-Z Pemodelan Struktur.....	50
<b>Gambar 4.3</b>	Tampilan Y-Z Pemodelan Struktur.....	50
<b>Gambar 4.4</b>	Tampilan 3D Pemodelan Struktur.....	50
<b>Gambar 4.5</b>	Tampilan Menu Define Load Pattern.....	52
<b>Gambar 4.6</b>	Tampilan Menu Define Response Spectrum Functions.....	53
<b>Gambar 4.7</b>	Tampilan Menu Load Case Data .....	53
<b>Gambar 4.8</b>	Tampilan Menu Load Case Data .....	54
<b>Gambar 4.9</b>	Tampilan menu Load Combination Data.....	55
<b>Gambar 4.10</b>	Tampilan menu Design Load Combination Selection .....	56
<b>Gambar 4.11</b>	Mode 1 JPO.....	80
<b>Gambar 4.12</b>	Mode 2 JPO.....	81
<b>Gambar 4.13</b>	Mode 3 JPO.....	81
<b>Gambar 4.14</b>	Mode 4 JPO.....	82
<b>Gambar 4.15</b>	Mode 5 JPO.....	82

<b>Gambar 4.16</b>	Grafik $F(t)$ Manusia Berjalan Lambat Berdasarkan Fungsi Waktu 0.588 s.....	89
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik $F(t)$ Manusia Berjalan Normal Berdasarkan Fungsi Waktu 0.5 s.....	89
<b>Gambar 4.18</b>	Lintasan Beban Berjalan Bersamaan Pada Struktur JPO dengan 3 Lintasan.....	90
<b>Gambar 4.19</b>	Lintasan Beban Berjalan Bersamaan Pada Struktur JPO dengan 7 Lintasan.....	91
<b>Gambar 4.20</b>	Tampilan Menu Multi Step Bridge Live Berjalan Lambat.....	92
<b>Gambar 4.21</b>	Tampilan Menu Multi Step Bridge Live Berjalan Normal.....	92
<b>Gambar 4.22</b>	Sketsa Beban Manusia Berjalan Lambat dengan Selisih Waktu 1 Detik.....	96
<b>Gambar 4.23</b>	Sketsa Beban Manusia Berjalan Normal dengan Selisih Waktu 1 Detik.....	97
<b>Gambar 4.24</b>	Sketsa Beban Manusia Berjalan Lambat dengan Selisih Waktu 1 Detik.....	119
<b>Gambar 4.25</b>	Sketsa Beban Manusia Berjalan Normal dengan Selisih Waktu 1 Detik.....	120
<b>Gambar 4.26</b>	Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Lambat .....	142
<b>Gambar 4.27</b>	Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Normal .....	143
<b>Gambar 4.28</b>	Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Lambat .....	144
<b>Gambar 4.29</b>	Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Normal .....	144

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jembatan penyeberangan orang (JPO) merupakan fasilitas pejalan kaki untuk menyeberang jalan raya atau jalan tol, sehingga orang dan lalu lintas kendaraan dipisah secara fisik. Selain itu, JPO dapat berfungsi sebagai jembatan penghubung antar gedung yang letaknya berdekatan, contohnya JPO yang menghubungkan Pondok Indah Mall I dengan Pondok Indah Mall II, dan JPO yang menghubungkan RSUP Sardjito dengan Fakultas Kedokteran UGM. JPO ini dapat didesain bertingkat atau tidak bertingkat. 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 yang diasumsikan sebagai beban dinamis berjalan, 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).

Manusia sebagai beban dinamis sangat berpengaruh dalam merencanakan jenis struktur tertentu, seperti stadion, lantai gedung olahraga, atau JPO. Apabila beban manusia tersebut tidak dipertimbangkan sebagai beban dinamis maka dapat menjadi penyebab kegagalan struktur. Dalam RSNI-T-02-2005 beban manusia hanya dianalisa sebagai beban hidup merata statis. Padahal pengaruh terbesar pada jembatan penyeberangan orang adalah akibat manusia berjalan yang menghasilkan reaksi vertikal dan horizontal yang bisa menimbulkan vibrasi pada jembatan (Wahyuni, 2012). Karena beban manusia hanya diperhitungkan

atau dimodelkan sebagai beban statis saja, maka struktur JPO tidak dapat diketahui apakah perilaku dinamis dan perilaku akibat beban dinamis manusia berjalan sudah memenuhi persyaratan atau belum.

Pada dasarnya vibrasi yang ditimbulkan oleh beban manusia tersebut mengakibatkan struktur mengalami resonansi. Struktur yang mengalami resonansi dapat menyebabkan terjadinya deformasi yang besar, sehingga dapat menyebabkan kerusakan atau keruntuhan struktur. Oleh karena itu, selain direncanakan terhadap beban statis, struktur JPO harus direncanakan berdasarkan beban dinamis manusia, sehingga dapat dianalisa apakah perbandingan frekuensi dinamis dengan frekuensi alaminya berada pada batasan dimana struktur tersebut mengalami atau tidak mengalami resonansi.

Melihat kondisi – kondisi tersebut maka diperlukan adanya studi lebih lanjut tentang pengaruh beban dinamis manusia pada perencanaan JPO. Dalam tugas akhir ini akan dijelaskan langkah-langkah menganalisa struktur JPO akibat beban statis dan dinamis menggunakan program SAP2000, yaitu dengan memodelkan struktur dan pembebanannya, mengkaji perilaku dinamis JPO untuk mengetahui nilai frekuensi alami struktur, cek desain struktur JPO, pembuatan pemodelan beban dinamis manusia berjalan, dan menganalisa perilaku JPO akibat beban manusia, melakukan optimasi elemen-elemen struktur JPO, sehingga diperoleh struktur JPO yang optimal, aman dan murah. Setelah itu, membandingkan hasil perencanaan JPO akibat beban statis dengan hasil perencanaan JPO yang optimal akibat beban dinamis manusia berjalan.

Tugas akhir dengan topik “STUDI PERBANDINGAN HASIL PERENCANAAN OPTIMAL JEMBATAN PENYEBERANGAN ORANG (JPO) BERTINGKAT AKIBAT BEBAN STATIS DAN BEBAN DINAMIS MANUSIA BERJALAN” ini bermaksud menambah referensi yang

sebelumnya sudah ada agar dapat diketahui perilaku dan pengoptimalan elemen-elemen struktur JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia individual yang berjalan bersamaan dengan selisih waktu dan lintasan yang berbeda, dengan studi kasus JPO yang berbeda dengan sebelumnya, yaitu JPO bertingkat satu bentang penghubung Mall dan Apartemen Marvel City di Jl. Ngagel No. 123 Surabaya dengan lebar bentang 6,5 meter, terdiri dari 2,25 meter untuk pejalan kaki sedangkan 4,25 meter digunakan untuk aktivitas pertokoan. Studi ini diharapkan dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

Dengan adanya JPO yang dianalisa dan di desain dari semua beban yang memungkinkan terjadi pada struktur tersebut diharapkan dapat dijadikan acuan dalam merencanakan struktur JPO akibat beban statis maupun dinamis yang lebih murah dan masih memenuhi syarat perencanaan. Sehingga bangunan-bangunan komersial yang berdekatan dapat dihubungkan dengan JPO untuk memperlancar transportasi manusia maupun barang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang ditinjau dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana pemodelan dan cek desain struktur JPO akibat beban statis?
2. Bagaimana pemodelan dan analisa perilaku dinamis struktur JPO akibat beban dinamis manusia berjalan?
3. Bagaimana cek desain struktur JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan?
4. Bagaimana optimasi struktur struktur JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan?
5. Bagaimana perbandingan hasil perencanaan optimal JPO akibat beban statis dengan beban dinamis manusia berjalan?
6. Bagaimana analisa sambungan yang digunakan pada struktur JPO eksisting?

### **1.3 Batasan Masalah**

Dengan terbatasnya waktu, maka tugas akhir ini dibatasi pada:

1. Hanya dilakukan studi numerik dengan menggunakan program SAP2000 V.14.2.2.
2. Beban manusia berupa beban banyak orang yang dianalisa secara individual yang berjalan bersamaan pada JPO dengan lintasan dan waktu yang berbeda, tidak membahas beban manusia kelompok.
3. Tidak membahas tentang struktur bawah jembatan.
4. Optimasi perencanaan JPO ini hanya meninjau dari aspek profil strukturnya saja, tidak mengubah konfigurasi struktur, tidak meninjau analisa biaya dan manajemen konstruksinya.

### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pemodelan dan cek desain struktur JPO akibat beban statis.
2. Mengetahui pemodelan beban manusia sebagai beban dinamis dan analisa perilaku dinamis struktur akibat beban manusia berjalan.
3. Mengetahui hasil cek desain struktur JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan.
4. Mendapatkan profil yang lebih optimal untuk merencanakan struktur JPO.
5. Mengetahui perbandingan hasil perencanaan optimal JPO akibat beban statis dengan beban dinamis manusia berjalan.
6. Mengetahui kekuatan sambungan profil JPO eksisting.

### **1.5 Manfaat**

Dengan adanya JPO yang dianalisa dan di desain dari semua beban yang memungkinkan terjadi diharapkan mempunyai manfaat sebagai langkah awal untuk merencanakan JPO yang optimal sehingga dapat dijadikan acuan dalam merencanakan struktur JPO yang lebih murah dan masih memenuhi syarat perencanaan dan bangunan komersial yang berdekatan dapat dihubungkan dengan JPO untuk memperlancar transportasi manusia maupun barang. Selain itu, tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan acuan untuk mengetahui perbandingan hasil perencanaan optimal JPO akibat beban statis dengan beban dinamis manusia berjalan.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembebanan pada Struktur**

Dalam menjalankan fungsinya, setiap struktur Teknik Sipil akan menerima pengaruh beban dari luar yang perlu dipikul. Selain pengaruh beban dari luar, sistem struktur yang terbuat dari material bermassa, juga akan memikul massanya sendiri akibat pengaruh gravitasi. Selain pengaruh beban dari luar yang dapat diukur sebagai besaran gaya atau beban, seperti beban akibat hunian atau penggunaan struktur, pengaruh angin atau getaran gempa, tekanan tanah atau tekanan hidrostatik air, terdapat juga pengaruh luar yang tidak dapat diukur sebagai gaya. Sebagai contoh adalah pengaruh penurunan pondasi pada struktur bangunan, atau pengaruh temperatur / suhu pada elemen-elemen struktur.

Dalam melakukan analisis dan desain dari suatu struktur bangunan, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besarnya beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang berkaitan dengan karakteristik beban untuk keperluan analisis struktur adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis. Secara umum, beban luar yang bekerja pada struktur Teknik Sipil dapat dibedakan menjadi beban statis (beban mati dan beban hidup), beban dinamis, beban angin dan beban gempa.

##### **2.1.1 Beban Statis**

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur dan tidak tergantung terhadap waktu. Nilai yang didapatkannya tidak berubah menurut waktu. Dengan demikian, jika suatu beban mempunyai perubahan intensitas yang berjalan cukup lambat sedemikian rupa sehingga pengaruh waktu tidak dominan, maka beban tersebut dapat dikelompokkan sebagai beban statik (*static load*). Beban statis pada umumnya dapat dibagi lagi menjadi beban mati dan beban hidup.

### 1. Beban Mati

Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya (RSNI-T-02-2005 pasal 3.6).

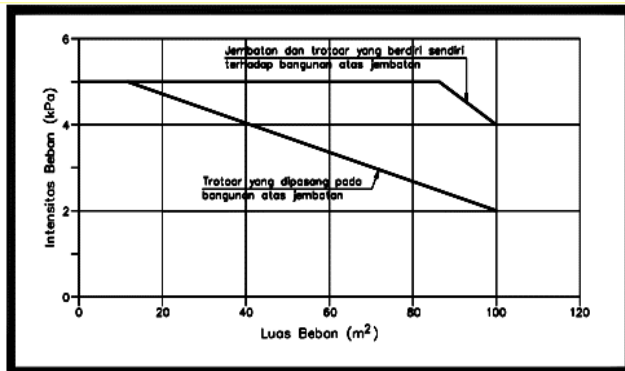
### 2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan (RSNI-T-02-2005 pasal 3.7).

Beban hidup yang paling dominan pada struktur JPO atau jembatan penyeberangan adalah beban hidup pejalan kaki. RSNI-T-02-2005 pasal 6.9 mengatur beban hidup untuk pejalan kaki sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Faktor Beban Akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki.

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	KsTP	KuTP
Transien	1,0	1,8



**Gambar 2.1** Pembebanan untuk Pejalan Kaki

Sumber : RSNI-T-02-2005

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa.

Luas area yang dibebani pejalan kaki :

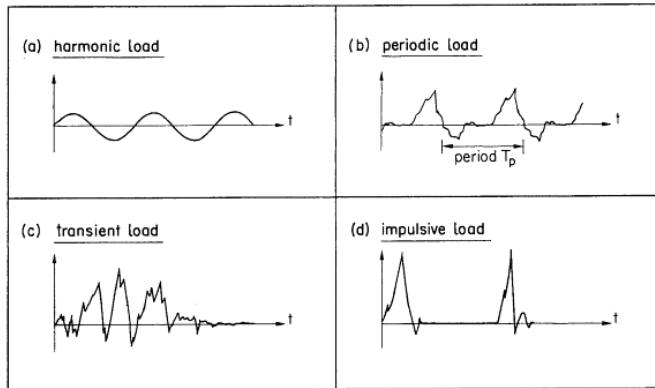
$A = \text{lebar jembatan} \times \text{panjang jembatan}$

Untuk JPO penghubung antar bangunan komersial beban hidup tidak hanya berupa beban manusia, tetapi dapat berupa beban hidup pertokoan. Beban hidup toko ini perlu dianalisa apabila JPO direncanakan terdapat toko-toko pada jembatannya. Besarnya beban hidup pertokoan sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> (PPIUG 1983 tabel 3.1).

### 2.1.2 Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat. Dengan demikian, jika suatu beban mempunyai perubahan intensitas yang bervariasi secara cepat terhadap waktu, maka beban tersebut disebut sebagai beban dinamis (*dynamic load*). Bachmann, H., dan Ammann (1987) mengelompokkan beban dinamis menjadi 4 kelompok:

1. Beban selaras (*Harmonic*), terdiri dari beban operasi mesin.
2. Beban berulang (*Periodic*), terdiri dari beban operasi mesin, manusia bergerak, dan angin.
3. Beban sementara (*Transient*), terdiri dari beban angin, gelombang air laut, gempa, lalu lintas kereta api dan jalan raya.
4. Beban kejut (*Impuls*), terdiri dari beban gelombang ledakan, tabrakan, pelaksanaan konstruksi, dan kehilangan dukungan.



**Gambar 2.2** Grafik Fungsi Waktu Beban Dinamis

Sumber : Bachmann, H., dan Ammann (1987)

### 2.1.3 Beban Angin Jembatan

Dalam RSNI-T-02-2005 pasal 7.6, gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut :

$$T_{EW1} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \quad (\text{kN}) \quad (2.1)$$

Dimana :

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

$C_w$  = Koefisien seret

$A_b$  = Luas koefisien bagian samping jembatan ( $\text{m}^2$ )

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang masif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekuivalen ini dianggap 30% dari luas yang dibatasi oleh batang-batang terluar. Besarnya kecepatan angin rencana yang akan digunakan bergantung dari

pada kondisi letak struktur jembatan yang ada. Beberapa parameter tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 2.2 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)
Banguna 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 %	

**Tabel 2.3 Kecepatan Angin Rencana  $V_w$**

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

#### 2.1.4 Beban Gempa

Beban Gempa adalah semua beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh gerakan tanah yang merupakan akibat dari gempa bumi (baik gempa tektonik atau vulkanik) yang akan mempengaruhi struktur tersebut. Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*) (Suharjanto, 2013).

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut :

**a. Metode Analisis Statis**

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statis pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya statis yang ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*). Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horizontal pada akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara suatu konstanta berat atau massa dari elemen struktur tersebut.

**b. Metode Analisis Dinamis**

Analisis dinamis untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamis dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Response Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*). Sedangkan pada analisis dinamis inelastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*).

Model Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) adalah dasar struktur bangunan digetar oleh gempa yang pada umumnya memakai rekaman gempa tertentu. Sebagaimana sifat beban dinamik maka penyelesaian/hitungan respon struktur tidak hanya dilakukan sekali tetapi dapat ratusan kali bahkan sampai ribuan kali. Untuk keperluan itu, maka penyelesaian problem dinamik dengan memakai kalkulator tangan (*hand calculator*) dirasa tidak praktis bahkan dapat dikatakan tidak mungkin. Peralatan komputer dan penguasaan integrasi numerik merupakan prasyarat untuk menyelesaikan problem dinamik dengan model analisis *Time History Analysis* (THA). (Pawirodikromo, 2001)

*Response spektrum* adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur  $T$ , lawan respon-respon maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan gempa tertentu. Respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Terdapat dua macam *Respons Spektrum*, yaitu *Response Spektrum Elastik* dan *Response Spektrum Inelastik*. *Respons Spektrum Elastik* adalah suatu spektrum yang didasarkan atas respon elastik struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. *Response Spektrum Inelastik* juga disebut *Response Spektrum Design*, yaitu spektrum yang diturunkan berdasarkan *Response Spektrum Elastik* dengan tingkat daktilitas elemen tertentu (Pawirodikromo, 2012).



## 2.2 Kombinasi Pembebanan

Untuk keperluan desain, analisis dari sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap adanya kombinasi pembebanan dari beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut RSNI-T-02-2005 (Standard Pembebanan untuk Jembatan), ada 2 kondisi kombinasi pembebanan yaitu kombinasi beban untuk keadaan batas layan (beban kerja) dan ultimit seperti pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.4** Kombinasi Beban Kerja

Aksi/Beban	Faktor Beban	Kombinasi			
		1	2	3	4
<b>A. Aksi tetap</b>					
Berat Sendiri	$K_{MS}$	1	1	1	1
Beban Mati Tambahan	$K_{MA}$	1	1	1	1
<b>B. Aksi Transien</b>					
Beban Pejalan Kaki	$K_{TP}$		1		
Beban Angin	$K_{EW}$			1	
<b>C. Aksi Khusus</b>					
Beban Gempa	$K_{EQ}$				1

**Tabel 2.5** Kombinasi pada Keadaan Ultimit

Aksi/Beban	Faktor Beban	Kombinasi			
		1	2	3	4
<b>A. Aksi tetap</b>					
Berat Sendiri (baja)	$K_{MS}$	1,1	1,1	1,1	1,1
Berat Sendiri (beton)		1,3	1,3	1,3	1,3
Beban Mati Tambahan	$K_{MA}$	2	2	2	2
<b>B. Aksi Transien</b>					
Beban Pejalan Kaki	$K_{TP}$		1,8		
Beban Angin	$K_{EW}$			1,2	
<b>C. Aksi Khusus</b>					
Beban Gempa	$K_{EQ}$				1

### 2.3 Beban Dinamis Manusia

Salah satu beban dinamis adalah beban manusia. Beban ini menghasilkan reaksi – reaksi vertikal dan horizontal yang bisa menimbulkan vibrasi. 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 aktivitas yang mereka lakukan. Umumnya, beberapa kriteria, digunakan dalam mendesain berdasarkan tingkatan dari :

1. Frekuensi alami
2. Karakteristik damping dan
3. Maksimum kedutan dan kecepatan yang terjadi.

Manusia adalah sensor yang sensitif terhadap vibrasi. Setengah amplitudo dari 1.00 mm 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 aktivitas 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) dalam (Wahyuni, 2012).

Figueiredo, dkk (2008) membagi kegiatan manusia berjalan menjadi 3 kegiatan, seperti pada tabel 2.4.

**Tabel 2.6** Karakteristik Manusia Berjalan

Kegiatan	Kecepatan (m/s)	Jarak Langkah (m)	Frekuensi Langkah (Hz)
Berjalan Lambat	1.1	0.6	1.7
Berjalan Normal	1.5	0.75	2.0
Berjalan Cepat	2.2	1.0	2.3

British Standard BS 5400 (BSI, 1978) adalah standar yang pertama kali memperhatikan kemungkinan masalah vibrasi pada jembatan. Ide ini kemungkinan 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 (Figueiredo dkk, 2008).

Penelitian tentang beban dinamis manusia sudah banyak dilakukan, seperti pada **Tabel 2.7** di bawah ini.

**Tabel 2.7** Penelitian tentang Beban Dinamis Manusia

<b>Peneliti</b>	<b>Lingkup Penelitian</b>
Brownjohn (1997)	Meneliti tentang karakteristik getaran pada jembatan penyeberangan orang (JPO) gantung di Singapura Bentang 35 m.
Litter (2003)	Meneliti tentang frekuensi yang disebabkan oleh manusia meloncat pada kelompok pada batasan 2.8 Hz
Ellis (2004)	Meneliti tentang beban kelompok meloncat dengan menggunakan analisis numerikal
Brownjohn dan Pavic (2007)	Meneliti tentang modal mass di jembatan penyeberangan berdasarkan hasil eksperimen dari beban manusia dalam mempengaruhi perilaku dinamis struktur
Wahyuni (2007)	Meneliti tentang respon dinamik pada balok beton bertulang di atas dua perletakan yang diakibatkan oleh beban manusia <i>jumping</i> (meloncat-loncat) dengan frekuensi lompatan tertentu

**Tabel 2.7** Penelitian tentang Beban Dinamis Manusia (Lanjutan)

<b>Peneliti</b>	<b>Lingkup Penelitian</b>
Supriyadi (2008)	Meneliti tentang pengaruh beban sejumlah orang bernyanyi dan berjoget bersama pada struktur lantai gedung berbentang panjang (Studi kasus gedung Grha Sabha Pramana UGM )
Wahyuni dan ji (2009)	Meneliti tentang respon dinamik pada lantai komposit akibat beban manusia berjalan yang berupa kecepatan dan perpindahan
Wahyuni (2009)	Meneliti tentang respon dinamis balok beton bertulang akibat beban manusia.
Wahyuni (2012)	Meneliti tentang perilaku dinamis struktur jembatan penyeberangan orang (JPO) akibat beban manusia bergerak. (Studi kasus JPO beton depan Citi Bank Basuki Rahmat, Surabaya dan JPO baja depan Mac Donald's Basuki Rahmat, Surabaya)
Putra (2012)	Meneliti tentang perilaku dinamis struktur jembatan penyeberangan orang (JPO) akibat beban dinamis manusia bergerak. (Studi kasus jembatan gantung Desa Selorejo, Ngantang, Malang Bentang 84 m
De Deos A H (2014)	Meneliti tentang analisis dinamis struktur jembatan gantung akibat beban pejalan kaki bergerak (Studi Kasus Jembatan Gantung Dukuh Sepi, Desa Drakah, Selo, Boyolali Bentang 92 m)
Alantia (2015)	Meneliti tentang perilaku struktur jembatan pejalan kaki akibat beban statis dan dinamis dari beban manusia berjalan. (Studi kasus jembatan gantung tanjung, Silih Nara, Aceh Tengah bentang 60 m)

Brownjohn (1997) meneliti tentang karakteristik getaran pada jembatan penyeberangan orang (JPO) gantung yang terletak di Singapura dengan panjang bentang 35 m. Dalam perencanaannya jembatan ini di desain berdasarkan beban statis pejalan kaki dan beban angin. Jembatan jenis ini biasanya lebih ringan, efisien dan mempunyai perilaku dinamis. Jembatan ini dianalisa menggunakan beban dinamis manusia. Model parameter distribusi dan *finite element* digunakan untuk mengetahui perilaku vertikal struktur jembatan dan juga menggunakan tes dinamis purwarupa menggunakan beban kejut untuk mengecek model dan perilaku dinamisnya. Mode getaran vertikal pertama terjadi pada frekuensi yang sama, 2 Hz rata-rata langkah kaki pejalan kaki. Respon pejalan kaki disimulasikan menggunakan model linier dan non-linier.

Suatu konsensus di Eropa pada tahun 1993 mengatakan bahwa frekuensi pada kelompok manusia yang melakukan loncatan dan tetap sinkron adalah antara 1.5 Hz sampai 2.8 Hz. Untuk itu, Litter (2003) meneliti tentang frekuensi yang disebabkan oleh manusia meloncat pada kelompok pada batasan 2.8 Hz. Dilakukan pengetestan 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 2.8 Hz bukan batasan atas dari beban akibat loncatan. Peneliti tersebut juga melakukan pengetestan pada lantai dansa sudah diatur dalam BS6399 bagian I (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.

Brownjohn dan Pavic (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 getaran. Biasanya perhitungan massa 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 lapangan diberikan faktor 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 ini dapat digunakan untuk struktur secara umum dimana resonansi akibat beban manusia yang perlu diperhatikan pada jembatan penyeberangan termasuk pula dalam memperhitungkan pelat lantai.

Supriyadi (2008) meneliti tentang pengaruh beban sejumlah orang bernyanyi dan berjoget bersama pada struktur lantai gedung berbentuk panjang. Studi ini dilakukan pada lantai 2 gedung auditorium Universitas Gadjah Mada dengan luas efektif 18m x 25m yang didukung kolom beton bertulang dan beton pratekan. Gedung ini mempunyai fungsi serbaguna, seperti wisuda sarjana, resepsi pernikahan, pertemuan massal, ospek mahasiswa baru dan sebagai gedung pertunjukan. Penelitian dilakukan dengan

mengumpulkan sejumlah 35 orang untuk berjoget mengikuti musik dengan frekuensi berbeda. Lagu pertama dengan frekuensi 1 ketukan per detik dan lagu kedua dengan frekuensi 2,1 ketukan per detik. Frekuensi fundamental yang diperoleh sebesar 4,175 s.d 4,822 Hz. Lendutan dinamik yang terjadi karena beban 35 orang yang berjoget di daerah tengah bentang menghasilkan lendutan dinamik sebesar 3,31 cm. Ini melebihi lendutan ijin maksimum 2,729 cm sehingga menyebabkan ketidaknyamanan dan kekhawatiran pada para pencatat dan pengamat yang tidak ikut berjoget. Kekhawatiran akan terbayang bila jumlah orang yang berjoget bertambah banyak atau lebih dari 1000 orang.

Wahyuni dan ji (2009a) telah membahas tentang respons dinamik pada lantai komposit akibat beban manusia berjalan yang berupa kecepatan dan perpindahan. Respon dinamik lantai komposit 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 dikaji pada (Wahyuni, 2007). Diketahui bahwa jenis lompatan dari orang yang diuji akan sangat mempengaruhi respons yang terjadi pada balok. Apakah seseorang meloncat dan kembali ke balok dengan tumitnya, ataukah dengan ujung jari, ataukah dengan telapak kaki, yang pertama kali menyentuh balok, akan memberikan perbedaan hasil. Setelah diteliti lebih lanjut diperoleh hasil yang memuaskan untuk mengetahui respon balok beton bertulang akibat manusia meloncat dan kemudian membandingkan dengan teori yang ada.

Penelitian tentang respon dinamis balok beton bertulang akibat beban manusia ini Wahyuni(2009b) menyimpulkan bahwa prediksi respons struktur dapat terjadi kesalahan fatal akibat kesalahan dalam mengartikan model struktur ataupun akibat *input* data yang tidak tertentu, bahkan hanya untuk balok di atas dua perletakan. Kesimpulan lain adalah dengan menggunakan bantuan hubungan antara kekuatan modal, dan frekuensi alami terukur,

maka respon struktur akibat beban manusia bergerak dapat diprediksi dengan akurat.

Wahyuni (2012) meneliti tentang perilaku dinamis struktur jembatan penyeberangan orang (JPO) akibat beban manusia bergerak, penggetasan dilakukan pada struktur jembatan penyeberangan baja dan beton di Surabaya dengan model beban dinamis manusia berupa model individu. Beban dinamis manusia tersebut akan dimodelkan berjalan tiap 2 m untuk JPO beton dan JPO baja, dan ditinjau nilai frekuensi dari struktur JPO tersebut. Frekuensi yang terjadi pada struktur JPO baja lebih besar dibandingkan frekuensi yang terjadi pada struktur beton. Hal ini dikarenakan struktur JPO baja apabila terkena beban dinamis manusia akan lebih mudah bergetar bila dibandingkan dengan struktur JPO beton.

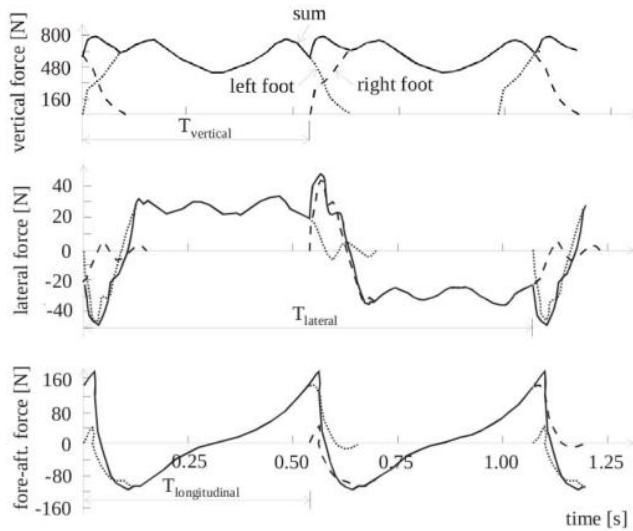
Putra (2012), De Deos A H (2014) dan Alantia (2015) meneliti tentang perilaku dinamis struktur jembatan penyeberangan orang dengan studi kasus jembatan gantung akibat beban manusia bergerak. Pemodelan beban manusia dibuat 2 skenario, beban individu dan beban banyak orang yang berjalan pada jembatan penyeberangan dengan waktu dan lintasan yang berbeda. Dua skenario pembebanan dinamis tersebut dilewatkan di atas bentang jembatan dengan kecepatan manusia berjalan normal, untuk kemudian didapatkan respon struktur berupa *displacement* di sepanjang bentang, frekuensi alami, dan frekuensi dinamis struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa *displacement* terbesar akibat beban dinamis pejalan kaki didapat saat beban dinamis sekelompok manusia berjalan normal lewat di atas struktur. Dibanding beban individu berjalan, beban banyak orang yang berjalan memiliki frekuensi dinamis lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa saat beban banyak orang berjalan mencapai tengah bentang, struktur mengalami puncak vibrasi.



## 2.4 Manusia sebagai Sumber Beban 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 yang dipertimbangkan sebagai persyaratan gerakan tingkat menengah. Untuk menjelaskan macam dari gerakan manusia Ellis (2003) menjelaskan bahwa ada dua dasar yang diperlukan untuk menentukan karakteristik tindakan berjalan dan kekakuan dinamis yang dipengaruhi akibat berjalan yaitu 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 pengaruh beban dinamis manusia telah dilaksanakan untuk mengetahui efek getaran pada struktur. Selama berjalan, manusia menghasilkan beban yang mengacu terhadap waktu yang dinamis menjadi 3 arah : vertikal, horizontal - lateral, dan horizontal – longitudinal (Brownjohn dan Pavic, 2007). Pengukuran langkah dari individu mempertimbangkan bahwa frekuensi dasar dari kekuatan pejalan kaki lateral 2 kali lebih rendah dari arah vertikal dan longitudinal (Brownjohn dan Pavic, 2007), dengan bentuk umum dari kekuatan yang berkesinambungan dapat digambarkan apabila periode atau waktu tertentu dapat diasumsikan secara sempurna seperti pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Periode Berjalan *Time History* Arah Vertikal, Lateral, dan Longitudinal

Sumber : Townshend, (2013)

## 2.5 Pemodelan Beban Manusia Berjalan

Kelakuan dinamis struktur jembatan dapat dianalisa secara teoritis maupun numerik yaitu dengan melihat bagaimana struktur bergetar bebas yang disebut *free vibration*. Dari perilaku struktur ini dapat diperkirakan kondisi yang terburuk yang mungkin dapat terjadi pada struktur jembatan akibat beban dinamis.

Model beban dinamis akibat manusia berjalan didapatkan dengan melakukan beberapa pengujian dari hubungan manusia berjalan dengan struktur. Model beban manusia tersebut dibuat secara matematis sehingga bisa diterapkan dalam perhitungan analisa struktur jembatan. Pembebanan tersebut merupakan pembebanan secara dinamis, sehingga akibat orang yang berjalan akan menghasilkan reaksi vertikal dan horizontal dan yang berubah terhadap waktu.

Ellis (2004) telah memodelkan beban individu dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(t) = G_s \left( 1.0 + \sum_{n=1}^{\infty} r_n \sin \left( \frac{2n\pi t}{T_p} + \phi_n \right) \right) \quad (2.2)$$

dimana :

- F(t) = waktu variasi beban
- G = berat penjalan kaki (800 N)
- n = jumlah masa Fourier
- rn = koefisien Fourier (*dynamic load factor*)
- Tp = periode beban siklik
- ø<sub>n</sub> = fase lag masa n

beban tersebut dapat divariasikan dengan waktu, berat individu dan periode yang berbeda-beda. Program SAP2000 akan digunakan sebagai alat bantu untuk menganalisa pembebanan manusia berjalan tersebut dengan metode *Time History*. Beberapa uji numerik dengan variasi tersebut yang akan dilakukan sehingga beban dapat digunakan dalam melakukan analisa perilaku dinamis struktur jembatan.

## 2.6 Analisa Struktur Jembatan

Tata cara desain jembatan sudah diatur dalam Standar Nasional Indonesia RSNI-T-03-2005. Diantaranya:

### 2.6.1 Kontrol Momen Lentur

Struktur yang memikul momen lentur harus memenuhi persyaratan dalam RSNI-T-03-2005 pasal 7.1:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (2.3)$$

Dimana :

$M_u$  = Momen lentur terfaktor (Nmm)

$\phi$  = faktor reduksi (0,9)

$M_n$  = kuat lentur nominal (Nmm)

### 2.6.2 Kontrol Geser

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi persyaratan dalam RSNI-T-03-2005 pasal 7.8.1.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.4)$$

Dimana :

$V_u$  = gaya geser terfaktor (N)

$\phi$  = faktor reduksi (0,9)

$V_n$  = kuat geser nominal pelat badan (N)

### 2.6.3 Kontrol *Displacement*

Balok di atas dua tumpuan atau gelagar menerus, *displacement* maksimumnya adalah  $\frac{1}{800}$  x bentang. Kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah  $\frac{1}{1000}$  x bentang (RSNI-T-03-2005 pasal 4.7.2)

### 2.6.4 Kontrol Batang Tarik

Dalam perencanaan komponen struktur tarik harus memenuhi persyaratan kontrol sesuai dengan RSNI-T-03-2005 pasal 5.1.

#### Batas leleh

$$N_u \leq \phi \times A_g \times f_y \quad (2.5)$$

#### Batas putus

$$N_u \leq \phi \times A_e \times f_u \quad (2.6)$$

Dimana :

- $N_u$  = kuat tarik terfaktor (N)  
 $\emptyset$  = faktor reduksi  
           - untuk batas leleh (0,9)  
           - untuk batas putus (0,75)  
 $A_g$  = luas penampang bruto (mm<sup>2</sup>)  
 $A_e$  = luas penampang efektif (mm<sup>2</sup>)  
 $F_y$  = tegangan leleh (MPa)  
 $F_u$  = tegangan putus (MPa)

### 2.6.5 Kontrol Batang Tekan

Dalam perencanaan komponen struktur tekan harus memenuhi persyaratan kontrol sesuai dengan RSNI-T-03-2005 pasal 6.1.

$$N_u \leq \emptyset N_n \quad (2.7)$$

Dimana :

- $N_u$  = kuat tekan terfaktor (N)  
 $\emptyset$  = faktor reduksi (0,9)  
 $N_n$  = kuat tekan nominal (N)

## 2.7 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.

### 2.7.1 Getaran Bebas Tanpa Redaman

Persamaan dinamik getaran bebas tanpa redaman (Chopra, 2007):

$$m \ddot{u} + k u = 0 \quad (2.8)$$

- dimana:            m = massa struktur  
                       k = kekakuan lateral

$u$  = peralihan lateral

karena struktur bergetar bebas, maka dalam persamaan di atas, pada suku sebelah kanan tidak ada gaya luar  $Gg$  tergantung waktu yaitu  $p(t)$ . Solusi umum persamaan getaran bebas adalah :

$$\ddot{u}(t) = -A\omega\sin\omega t + B\omega\cos\omega t \quad (2.9)$$

$$u(t) = A\cos\omega t + B\sin\omega t \quad (2.10)$$

Perpindahan awal berupa  $u(0)$  pada saat  $t = 0$  dan kecepatan  $\dot{u}(0)$  pada saat  $t = 0$ . Dari persamaan di atas jika dimasukkan syarat awal, maka didapat koefisien  $A$  dan  $B$  yaitu :

$$A = u(0), B = \frac{\dot{u}(0)}{\omega} \quad (2.11)$$

Sehingga respon getaran bebas adalah :

$$u(t) = u(0) \cos\omega t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega} \sin\omega t \quad (2.12)$$

$$\text{dimana} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{detik}} \right] \quad (2.12 \text{ a})$$

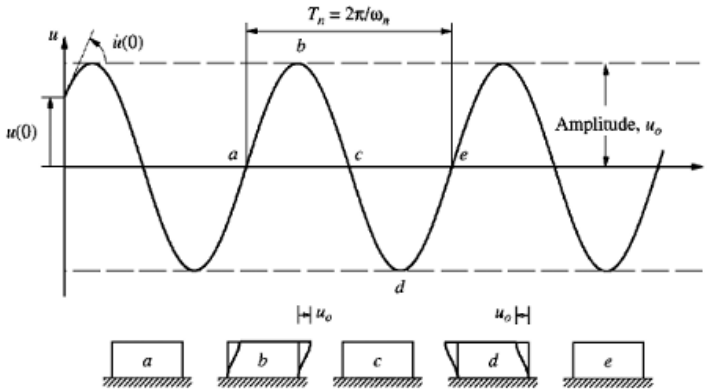
waktu yang diperlukan oleh sistem untuk melakukan satu kali getaran disebut periode getar alami,  $T$  dan berhubungan dengan frekuensi getar alami  $\omega$ . Periode getar alami dinyatakan sebagai berikut :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.13)$$

Jumlah getaran yang dilakukan setiap detiknya disebut frekuensi, dinyatakan sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{T} \left[ \frac{\text{Hz}}{\frac{\text{cyc}}{\text{detik}}} \right] \tag{2.14}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \tag{2.15}$$



**Gambar 2.4** Getaran Bebas Tanpa Redaman

*Sumber : Chopra, (2007)*

2.7.2 Getaran Bebas Teredam

Persamaan dinamik getaran bebas dengan redaman (Chopra, 2007) adalah :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \tag{2.16}$$

dibagi dengan m , maka :

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = 0 \tag{2.17}$$

Dimana:

$$\omega_n = \sqrt{k/m} \tag{2.17 a}$$

Kondisi peredaman dibagi menjadi 3, yaitu

1. Peredaman Kritis (*Critical Damping*)

Peredaman kritis diperoleh dengan  $\zeta$  (*damping ratio*) atau perbandingan redam, dengan rumus sebagai berikut :

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{c_{cr}} \quad (2.18)$$

maka didapatkan koefisien peredaman kritis (*Critical damping coefficient*).

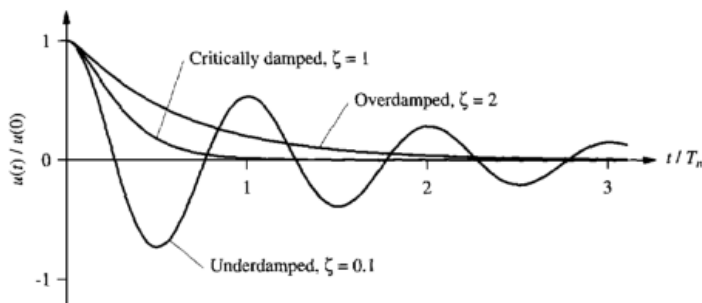
$$C_{cr} = 2m\omega_n = 2\sqrt{km} = \frac{2k}{\omega_n} \quad (2.19)$$

2. Kurang Teredam (*Under Damping*)

Sistem ini banyak dijumpai pada bangunan teknik sipil dengan  $\zeta$  (*damping ratio*) atau perbandingan redam  $\leq 20\%$ . Sistem ini berlaku apabila struktur mempunyai redaman yang lebih kecil dari peredaman kritis atau  $C < C_{cr}$ .

3. Teredam berlebihan (*over damping*)

Sistem ini tidak dijumpai pada struktur dalam keadaan normal. Sistem ini berlaku apabila struktur mempunyai redaman yang lebih besar dari peredaman kritis.  $C > C_{cr}$  atau  $\zeta > 1$ .



**Gambar 2.5** Getaran Bebas Teredam

Sumber : Chopra, (2007)



## 2.8 Jembatan Penyeberangan Orang

Figueiredo, dkk (2008) mengembangkan model pembebanan yang akan mempengaruhi beban di JPO. 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 ini didasarkan atas interaksi antara beban satu kaki ketika berjalan dan simultan dengan satu kaki yang tidak membebani. Model beban dalam studi ini dinyatakan dalam bentuk matematis dimana amplitudo terbesar adalah di tengah, dan frekuensi dimisalkan sama dengan frekuensi fundamental jembatan. Model pembebanan dinamis yang biasanya dimodelkan secara matematis dengan *Series Fourier* (Ellis, 2004) kemungkinan tidak sesederhana *series* tersebut, karena adanya pengaruh tumit manusia ketika berjalan sehingga ada waktu *transient* dari model pembebanannya. Pengaruh tumit manusia dalam model beban ini (Ellis, 2004) dibuat faktor 1.12, namun demikian perlu ditekankan bahwa nilai ini sangat terpengaruh atau berbeda antara satu orang dengan yang lainnya.

Model jembatan secara numerik dilakukan pada jembatan penyeberangan orang baja komposit dengan menggunakan program ANSYS (Figueiredo, dkk, 2008). Pada model ini, girder baja dimodelkan sebagai balok tiga dimensi sedangkan slab beton dimodelkan sebagai elemen shell, dan dilakukan pula pemodelan sebagai struktur komposit antara beton dan baja tersebut. Pemodelan jembatan ini juga memperhatikan perbedaan eksentrisitas dari slab dan girder. Tiap mode pada pemodelan ini mempunyai enam derajat kebebasan (DOF) dalam ruang. Analisa dinamis dilakukan pada pemodelan numerik jembatan yang mempunyai panjang berbeda. Untuk maksud perhitungan secara praktis, analisa linier *time-history* 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.

Figueiredo, dkk (2008) menyimpulkan bahwa standar (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 vibrasi yang tinggi yang berarti ketidaknyamanan dari pengguna jembatan dan terutama keselamatannya.

## **2.9 Optimasi Struktur**

Standar perencanaan struktur baja untuk jembatan (RSNI-T-03-2005) mensyaratkan pemenuhan terhadap ketentuan minimum bagi para perencana dalam merencanakan pekerjaan jembatan di Indonesia, sehingga struktur yang dihasilkan dari pekerjaan tersebut memenuhi persyaratan keamanan, kenyamanan, kemudahan pelaksanaan, ekonomis dan bentuk estetika.

Menurut Setiawan (2008) perencanaan adalah sebuah proses untuk mendapatkan suatu hasil yang optimum. Suatu struktur dikatakan optimum apabila memenuhi kriteria-kriteria berikut:

1. Biaya minimum
2. Berat minimum
3. Waktu konstruksi minimum
4. Tenaga kerja minimum
5. Biaya manufaktur minimum
6. Manfaat maksimum pada saat masa layan.

Biasanya ada beberapa kriteria yang terlibat, yang masing-masing harus dibandingkan. Dengan melihat kriteria di atas, jelaslah bahwa penetapan kriteria yang bisa diukur (seperti berat dan biaya) untuk mencapai perencanaan optimum kadang-kadang sulit dan tidak mungkin. Dalam praktek umumnya penilaian harus kualitatif.

Jika kriteria obyektif tertentu dapat dinyatakan secara matematis, maka teknik optimasi bisa diterapkan untuk mendapatkan fungsi obyektif maksimum atau minimum. Kriteria berat minimum ditekankan pada seluruh pembahasan, dengan anggapan umum bahwa bahan yang minimum menghasilkan biaya minimum.

## **2.10 Sambungan**

Sambungan bertujuan untuk menggabungkan beberapa batang baja menjadi satu kesatuan struktur konstruksi dan mendapatkan ukuran baja sesuai kebutuhan. Selain itu sambungan dapat mempermudah penggantian bila suatu bagian/batang konstruksi mengalami kerusakan. Ada 2 alat sambung yang umum dipakai dalam konstruksi baja, yaitu sambungan menggunakan baut dan las.

### **2.10.1 Sambungan Baut**

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur/pengunci. Keuntungan sambungan baut antara lain:

1. Lebih mudah dalam pemasangan/penyetelan konstruksi di lapangan.
2. Konstruksi sambungan dapat di bongkar - pasang.
3. Dapat dipakai untuk menyambung dengan jumlah tebal baja  $> 4d$ .
4. Dengan menggunakan jenis baut pass maka dapat digunakan untuk konstruksi berat/jembatan.

Jarak antar pusat lubang pengencang tidak boleh kurang dari 3 kali diameter nominal pengencang. Jarak minimum pada pelat harus melalui perhitungan struktur seperti pada SNI.

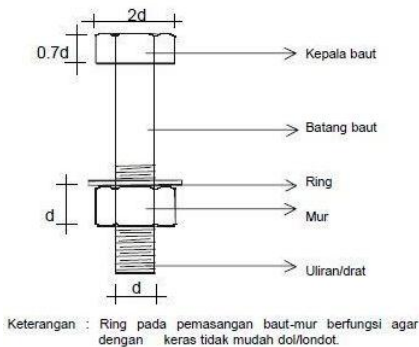
Berdasarkan RSNI T-03-2005 jarak minimum dari pusat pengencang ke tepi pelat atau pelat sayap profil harus memenuhi spesifikasi dalam **Tabel 2.8**.

Jarak dari pusat tiap pengencang ke tepi terdekat suatu bagian yang berhubungan dengan tepi yang lain tidak boleh lebih dari 12

kali tebal pelat lapis luar tertipis dalam sambungan dan juga tidak boleh melebihi 150 mm.

**Tabel 2.8** Jarak Tepi Minimum baut

Tepi dipotong dengan tangan	Tepi dipotong dengan mesin	Tepi profil bukan hasil potongan
$1,75 d_b$	$1,5 d_b$	$1,25 d_b$



**Gambar 2.6** Baut dan Bagian-bagiannya

$\varnothing 7/16''$  (  $d = 11,11$  mm )

$\varnothing 1/2''$  (  $d = 12,70$  mm )

$\varnothing 5/8''$  (  $d = 15,87$  mm )

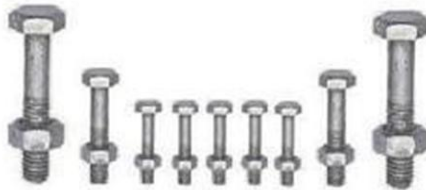
$\varnothing 3/4''$  (  $d = 19,05$  mm )

$\varnothing 7/8''$  (  $d = 22,22$  mm )

$\varnothing 1''$  (  $d = 25,40$  mm )

$\varnothing 1\frac{1}{8}''$  (  $d = 28,57$  mm )

$\varnothing 1\frac{1}{4}''$  (  $d = 31,75$  mm )



**Gambar 2.7** Ukuran Diameter Baut

### 2.10.2 Sambungan Las

Las adalah alat sambung dengan cara memanaskan baja hingga mencapai suhu lumer (meleleh) dengan ataupun tanpa bahan pengisi, yang kemudian setelah dingin akan menyatu dengan baik.

Keuntungan sambungan las antara lain:

1. Pertemuan baja pada sambungan dapat melumer bersama elektrode las dan menyatu dengan lebih kokok (lebih sempurna).
2. Konstruksi sambungan memiliki bentuk lebih rapi.
3. Konstruksi baja dengan sambungan las memiliki berat lebih ringan. Dengan las berat sambungan hanya berkisar 1-1,5 % dari berat konstruksi, sedangkan sambungan baut berkisar 2,5-4% dari berat konstruksi.
4. Pengerjaan konstruksi relatif lebih cepat (tidak perlu membuat lubang-lubang baut, tidak perlu memasang potongan baja siku/pelat penyambung, dan sebagainya).
5. Luas penampang baja tetap utuh karena tidak dilubangi, sehingga kekuatannya utuh.



**Gambar 2.8** Sambungan Las

Pada konstruksi baja umumnya menggunakan 2 macam las, yaitu las tumpul dan las sudut.

Las tumpul adalah las untuk menyambung arah memanjang / melintang pelat atau profil baja. Las tumpul terdiri dari las

tumpul penetrasi penuh dan las tumpul penetrasi sebagian. Las tumpul penetrasi penuh yaitu las tumpul dimana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan. Las tumpul penetrasi sebagian yaitu las tumpul dimana kedalaman penetrasi lebih kecil dari pada kedalaman penuh sambungan.

Las sudut adalah las untuk menyambung arah sudut dari pelat atau profil baja. Penentuan tebal las didasarkan pada dimensi profil baja yang disambungkan.

Berdasarkan RSNi T-03-2005 pasal 11.7.3.2 ukuran minimum las sudut, selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, harus sesuai dengan dengan **Tabel 2.9**, kecuali bahwa ukuran las tidak boleh lebih besar dari bagian paling tipis dari sambungan.

**Tabel 2.9** Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut, a (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t \leq 20$	6
$20 < t \leq 40$	8
$40 < t \leq 60$	10
$60 < t \leq 70$	12

Adapun persamaan - persamaan dalam perhitungan sambungan las adalah sebagai berikut:

$$f_v = \frac{V_u}{A} \quad (2.20)$$

$$t_e = 0,707 a \quad (2.21)$$

$$f_h = \frac{M_u}{S} \quad (2.22)$$

$$f_{total} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2} \quad (2.23)$$

$$\phi f_n = \phi \times f_u \text{ las} \quad (2.24)$$

dimana:

$f_v$  = Tegangan akibat gaya geser (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_h$  = Tegangan akibat momen (kg/cm<sup>2</sup>)

$V_u$  = Gaya geser ultimate (kg)

$M_u$  = Momen ultimate (kg.cm)

$A$  = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)

$S$  = *Section Modulus* (cm<sup>2</sup>)

$t_e$  = tebal efektif las (cm)

$a$  = tebal las (cm)

$\phi$  = 0,75

$f_u \text{ las}$  = tegangan putus las (kg/cm<sup>2</sup>)

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Umum

Tugas akhir ini akan dilaksanakan dengan studi literatur, melakukan kajian tentang beban statis, beban dinamis akibat manusia berjalan beserta optimasi perencanaannya dan perbandingan hasil perencanaan keduanya. Metodologi studi dalam hal ini dengan sendirinya sudah termasuk di dalam proses studi itu sendiri melalui cara berfikir kritis, logis dan aplikatif, misalnya dalam pembuktian teorema dan teori. Setelah kajian teoritik, kemudian akan dilakukan kajian numerik menggunakan program SAP2000.

Pertama yang akan dilakukan adalah mengumpulkan data eksisting JPO. Kemudian mulai memodelkan struktur JPO tersebut dengan menggunakan program SAP2000. Setelah dimodelkan, dilanjutkan dengan pembebanan pada struktur JPO, yaitu beban yang diperoleh dari data perencanaan JPO eksisting. Kemudian dilanjutkan dengan analisa struktur yang bertujuan untuk mengetahui cek desain struktur JPO eksisting. Perilaku dinamis JPO eksisting yang biasa disebut *free vibration* akan dianalisa pada tahapan ini.

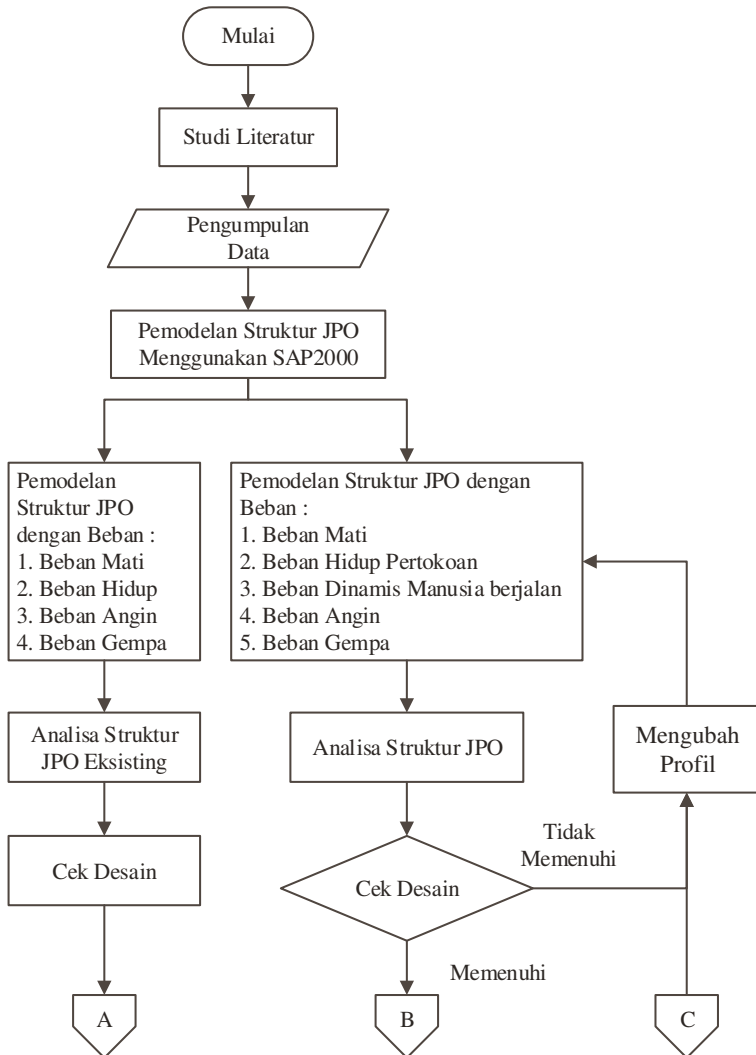
Tahap selanjutnya adalah memodelkan struktur JPO eksisting dengan beban *riil* yang ada di lapangan, yaitu beban dinamis manusia berjalan. Model beban manusia berjalan akan dibuat secara matematis sehingga bisa diterapkan dalam perhitungan analisa struktur JPO. Pembebanan ini akan dihitung secara dinamis, sehingga beban akibat manusia berjalan akan menghasilkan reaksi vertikal dan horizontal dan berubah terhadap waktu.



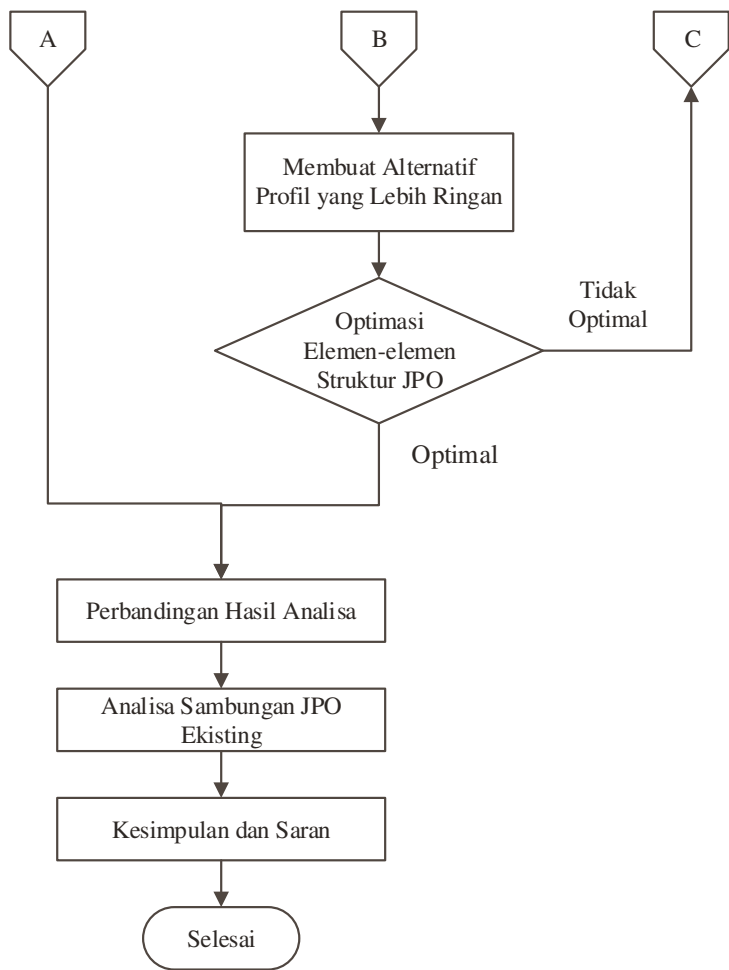
Tahap selanjutnya adalah menganalisa struktur JPO akibat beban dinamis manusia berjalan. Tahapan ini bertujuan untuk menganalisa perilaku JPO akibat beban manusia berjalan yang biasa disebut *force vibration* dan untuk cek desain struktur JPO akibat beban dinamis berjalan.

Tahap selanjutnya adalah mengoptimalkan elemen-elemen struktur JPO, yaitu dengan membuat alternatif perubahan profil baja pada elemen-elemen struktur JPO untuk mendapatkan hasil yang optimal dan masih memenuhi persyaratan. Profil baja tersebut dimodelkan kembali dalam SAP2000 dan dianalisa menggunakan beban dinamis manusia berjalan. Setelah mendapatkan profil yang optimum tahapan selanjutnya adalah membuat perbandingan hasil perencanaan optimal PO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan.

Tahap selanjutnya adalah analisa sambungan profil dengan menggunakan pembebanan rencana. Kemudian membuat kesimpulan dan saran dari hasil studi. Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari seluruh tahapan studi.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Studi



**Gambar 3.1** Diagram Alir Studi (Lanjutan)

## 3.2 Uraian Tahapan Studi

### 3.2.1 Studi Literatur

Rancangan studi ini meliputi yang *pertama* adalah melakukan studi literatur tentang beban statis dan beban dinamis manusia berdasarkan penelitian sebelumnya dan jurnal yang membahas tentang pengaruh beban dinamis manusia terhadap struktur JPO.

### 3.2.2 Pengumpulan Data

Tahapan *kedua* adalah mengumpulkan data-data eksisting JPO yang berada di Jl. Ngagel No. 123, Surabaya. Adapun data-data yang dibutuhkan meliputi :

1. Lokasi : Jl. Ngagel No 123 Surabaya
2. Fungsi : Penghubung Mall dan Apartemen  
Marvel City
3. Panjang total : 29,95 meter
4. Lebar total : 6,55 meter
5. Profil baja yang digunakan
  - a. Balok silang : WF 200x100x5,5x8
  - b. Balok melintang : WF 350x175x7x11  
: WF 400x400x13x21
  - c. Balok memanjang: WF 350x175x7x11  
: WF 400x200x8x13
  - d. Kolom portal : WF 400x400x13x21
  - e. Rangka : WF 200x200x8x12  
: WF 250x250x9x14
6. Sambungan yang digunakan  
Sambungan las dengan tebal las sebagai beriku:
 

Profil WF 200x100x5,5x8	= 4 mm
Profil WF 350x175x7x11	= 5 mm
Profil WF 400x200x8x13	= 6 mm
Profil WF 200x200x8x12	= 6 mm
Profil WF 250x250x9x14	= 6 mm
Profil WF 400x400x13x21	= 9 mm
7. Mutu Baja : BJ 37
8. Mutu beton ( $f'_c$ ) : 25 MPa

9. Mutu Las : EX-70XX

### 3.2.3 Pemodelan Struktur JPO dengan Beban Statis

Setelah data terkumpul, tahapan *ketiga* adalah memodelkan struktur JPO dengan menggunakan program SAP2000 dengan pembebanan yang terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban mati berupa berat sendiri dari masing-masing elemen struktur dan beban mati tambahan sebesar  $150 \text{ kg/m}^2$ . Beban hidup statis sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$ ,  $310 \text{ kg/m}^2$  dan  $500 \text{ kg/m}^2$ , beban angin di peroleh dari **Persamaan 2.1** dan beban gempa diperoleh dari *website* resmi Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman (<http://www.puskim.pu.go.id>). Dari *website* ini diperoleh nilai *Period* (T) dan *Acceleration* (SA) untuk daerah yang ditinjau dengan kondisi tanah dasar tertentu (batuan (B), tanah keras (C), tanah sedang (D) atau tanah lunak (E)). Beban gempa ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi menggunakan fungsi *response spectrum* pada program SAP2000, yaitu dengan mengisi data *period* (T) dan *acceleration* (SA) untuk daerah dan kondisi tanah yang ditinjau ke dalam kotak isian *Response Spectrum Function Definition*.

### 3.2.4 Analisa Struktur Akibat Beban Statis

Setelah struktur dimodelkan dan beban sudah di masukkan, tahapan *keempat* adalah analisa struktur JPO. Analisa ini bertujuan untuk cek desain struktur JPO eksisting yang dianalisa berdasarkan beban statis. Cek desain struktur ini memiliki fungsi untuk mengetahui kekuatan profil baja dalam memikul beban luar dan tingkat keekonomisan penggunaan profil baja pada JPO baja. Perilaku dinamis struktur JPO eksisting akan di analisa pada tahapan ini. Perilaku dinamis struktur biasa disebut dengan *free vibration*, yaitu getaran yang terjadi pada struktur akibat berat sendiri dan berat tambahan yang melekat pada struktur tanpa adanya pengaruh beban dari luar. *Mode shape* dan *natural frequency* dari JPO akan dikaji sehingga dapat diperoleh batasan nilai frekuensi alami. Batasan ini berhubungan dengan frekuensi

beban manusia berjalan. Pembatasan nilai frekuensi alami struktur ini sangat penting, karena dengan melihat batasan perencana akan mengetahui apakah frekuensi alami strukturnya berada pada batasan dimana struktur tersebut akan mengalami resonansi atau tidak. Selain itu, British Standard (BSI, 2005) dalam Wahyuni (2012) menjelaskan struktur yang frekuensi alami untuk getaran melebihi 5 Hz dalam arah vertikal dan 1,5 Hz untuk getaran arah horizontal, berarti memenuhi persyaratan *service* getaran pada struktur.

### **3.2.5 Pemodelan Struktur JPO dengan Beban Dinamis Manusia Berjalan**

Tahapan *kelima* adalah pemodelan struktur JPO dengan beban *riil* yang ada di lapangan, yaitu beban mati, beban hidup pertokoan selebar 4,25 meter, beban dinamis manusia berjalan selebar 2,25 meter, beban angin dan beban gempa. Beban manusia berjalan dimodelkan sebagai beban dinamis yang didapatkan dari studi literatur dan penelitian pendahuluan yang sudah dilakukan. Model beban dinamis manusia berupa model beban individu yang berjalan bersamaan dengan selisih waktu dan lintasan yang berbeda. Model beban manusia tersebut akan dibuat secara matematis sehingga bisa diterapkan dalam perhitungan analisa struktur JPO. Program SAP2000 akan digunakan sebagai alat bantu untuk menganalisa pembebanan manusia berjalan dengan metode *Time History*, yaitu dengan mengisi data beban manusia berjalan berdasarkan fungsi waktu pada kotak isian *Define Function*. Ellis(2004) telah memodelkan beban manusia berjalan berdasarkan fungsi waktu dengan **Persamaan 2.2**.

### **3.2.6 Analisa Struktur Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan**

Tahapan *keenam* adalah menganalisa struktur JPO dengan menggunakan program SAP2000. Selain dari mengetahui perilaku dinamis struktur JPO, tahapan ini juga bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur JPO akibat beban dinamis atau biasa disebut dengan *force vibraton*, yaitu getaran yang terjadi pada

struktur akibat adanya beban dinamis, sehingga dapat diketahui frekuensi struktur akibat beban dinamis manusia berjalan. Nilai frekuensi ini kemudian dibandingkan dengan nilai frekuensi alami untuk mengetahui apakah struktur mengalami resonansi atau tidak. Struktur yang mengalami resonansi akan berakibat pada kegagalan struktur. Struktur JPO akan mengalami resonansi ketika frekuensi akibat beban dinamis manusia mendekati frekuensi alami dari struktur JPO tersebut. Apabila nilai perbandingan frekuensi struktur adalah :

$$\frac{f_{\text{dinamis}}}{f_{\text{alami}}} < 0,5 \text{ atau } \frac{f_{\text{dinamis}}}{f_{\text{alami}}} > 2 \quad (3.1)$$

maka struktur tidak mengalami resonansi (Litter, 2003). Selain itu, dalam tahapan ini dilakukan cek desain struktur JPO akibat beban dinamis manusia berjalan.

### 3.2.7 Optimasi Elemen

Tahap *ketujuh* adalah optimasi elemen, yaitu membuat alternatif perencanaan dengan mengubah profil baja eksisting dengan profil baja yang mempunyai berat profil lebih ringan untuk mendapatkan struktur JPO yang lebih optimal, murah dan masih memenuhi persyaratan. Profil baja tersebut dimodelkan ke dalam program SAP2000 dengan menggunakan statis dan beban dinamis manusia berjalan kemudian dianalisa perilaku dinamis, perilaku struktur akibat beban dinamis manusia dan di cek kekuatan profil strukturnya. Begitu seterusnya sampai mendapatkan profil baja yang paling optimal. Perencanaan dikatakan optimal apabila :

$$\frac{\text{Beban ultimate yang terjadi}}{\text{Beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja}} \leq 1 \quad (3.2)$$

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengoptimalan dengan rasio mendekati atau sama dengan 1.

### **3.2.8 Perbandingan Hasil Perencanaan**

Setelah mendapatkan profil baja yang optimal maka rancangan studi *kedelapan* adalah membuat perbandingan hasil perencanaan optimal JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan. Dari hasil perencanaan JPO eksisting akibat beban statis diperoleh berat profil yang digunakan, *Natural Frequency*, *Demand Capacity Rasio*, dan *Dispalement*. Sedangkan dari hasil perencanaan JPO yang optimal akibat beban dinamis manusia berjalan diperoleh berat profil yang optimal, *Natural Frequency*, *Dinamic Frequency*, *Demand Capacity Rasio*, *Dispalement* dan *Acceleration*. Kemudian dari hasil perencanaan tersebut dibuat perbandingannya.

### **3.2.9 Analisa Sambungan**

Setelah mendapatkan profil yang optimal, rancangan studi *kesembilan* adalah analisa sambungan. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan eksisting dengan beban-beban yang dianalisa. Sambungan yang digunakan adalah sambungan las.

### **3.2.10 Kesimpulan dan Saran**

Tahapan *kesembilan* adalah kesimpulan dan saran dari hasil studi yang sudah dilakukan. Tahapan ini bertujuan untuk membuat kesimpulan dari seluruh hasil studi yang sudah dilakukan dan membuat saran untuk penyempurnaan studi di masa yang akan datang. Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari seluruh rangkaian studi.



### 3.3 Lokasi Studi

Lokasi studi JPO pada tugas akhir ini berada di Jl. Ngagel No. 123 Surabaya. JPO ini menghubungkan Mall dan Apartemen Marvell City.



**Gambar 3.2** Peta Lokasi Studi

*Sumber :* <http://www.google.co.id/maps>

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang perbandingan hasil perencanaan struktur JPO akibat beban statis dengan beban dinamis manusia berjalan. Dalam perencanaan JPO eksisting beban-beban yang bekerja terdiri dari berat sendiri, beban mati tambahan sebesar  $150 \text{ kg/m}^2$ , beban hidup sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$ , beban angin dan beban gempa. Analisa yang dilakukan menggunakan pembebanan eksisting (beban hidup  $250 \text{ kg/m}^2$ ), pembebanan berdasarkan RSNI-T-02-2005 (beban hidup  $250 \text{ kg/m}^2$  dan  $310 \text{ kg/m}^2$ , dan beban hidup  $500 \text{ kg/m}^2$ ), dan beban dinamis manusia berjalan dengan lebar pembebanan 2,25 meter (beban dinamis dengan lebar setengah lebar jembatan) dan 6,55 meter (beban dinamis penuh). Kemudian dilanjutkan dengan pengoptimalan elemen struktur akibat beban dinamis manusia berjalan dan membuat perbandingan hasil analisa perencanaan akibat beban statis dengan perencanaan yang optimal akibat beban dinamis manusia berjalan. Setelah itu mengecek kekuatan sambungan yang digunakan pada JPO eksisting.

#### **4.2 Pemodelan Struktur**

##### **4.2.1 Awalan**

Tahapan kerja pertama dalam membuat model adalah mengatur satuan yang digunakan. Satuan yang digunakan adalah satuan berat, panjang dan temperatur. Direncanakan untuk berat : kgf, panjang : m, suhu : C, maka dalam SAP2000 satuan yang harus digunakan adalah kgf,m,C.

Setelah satuan disesuaikan dengan satuan rencana, maka dilanjutkan dengan tahap membuat model. Dalam pembuatan model ini ada 2 hal yang harus dipahami yaitu mengenai sistem koordinat global dan *gridline*.

Sistem koordinat yang digunakan dalam SAP2000 adalah sistem koordinat kartesian 3 dimensi yang terdiri dari sumbu x, y, dan z. Untuk mempermudah pembuatan model, sumbu y mewakili lebar model dan sumbu z mewakili tinggi model.

*Gridline* adalah garis bantu dalam pembuatan model yang menunjukkan bentuk geometri dan dimensi dari struktur bangunan. Secara umum *gridline* dapat disimpulkan sebagai sebuah pola gambar dari sebuah struktur bangunan.

Tahap terakhir adalah pembuatan model perletakan, umumnya model perletakan untuk struktur jembatan pejalan kaki adalah sendi, namun jika perlu dilakukan modifikasi maka SAP2000 telah menyediakan 3 bentuk perletakan lainnya yaitu sendi, rol dan bebas.

#### 4.2.2 Pendefinisian Data

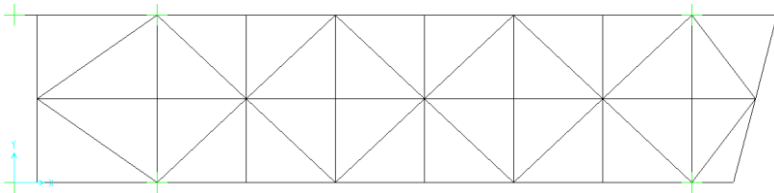
Model yang telah dibuat pada tahap pertama belum bisa dianggap sebagai sebuah struktur karena model tersebut belum didefinisikan material dan penampang elemen strukturnya. Oleh karena itu langkah selanjutnya adalah memasukkan data material yang digunakan yaitu beton dan baja. Untuk mendefinisikan material beton dan baja yaitu dengan memasukkan data karakteristik kedua bahan tersebut dengan cara memilih menu *define – Material - add new material*, kemudian isikan sesuai jenis material seperti di bawah ini:

- Material pelat lantai dan pelat atap menggunakan beton (concrete) dengan spesifikasi sebagai berikut:
  - Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa
  - Berat volume beton ( $\gamma_{\text{beton}}$ ) = 2.400 Kg/m<sup>3</sup>, faktor beban = 1,3 sehingga berat volume beton = 2.400x1,3 = 3.120 kg/m<sup>3</sup>.
  - Modulus elastistas (E) =  $4.700 \times \sqrt{f'_c} = 4.700 \times \sqrt{25} = 23.500$  MPa.
  - Poisson Rasio ( $\nu$ ) = 0,2

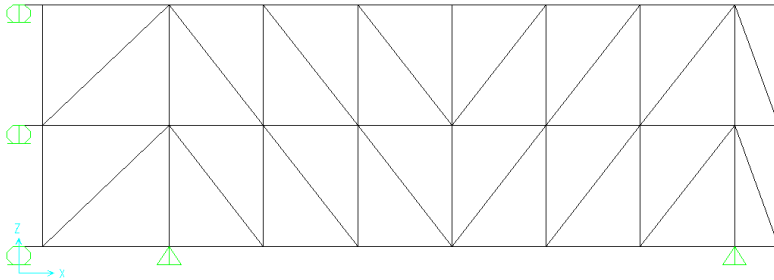
- Material baja BJ 37 dengan type material steel (untuk material balok dan rangka utama) dengan spesifikasi sebagai berikut:
- Berat volume baja ( $\gamma_{\text{beton}}$ ) =  $7.850 \text{ Kg/m}^3$ , faktor beban = 1,1 sehingga berat volume baja =  $7850 \times 1,1 = 8.635 \text{ kg/m}^3$
  - Modulus elastisitas (E) =  $200.000 \text{ MPa}$
  - Poisson Rasio ( $\nu$ ) = 0,3
  - $f_y = 240 \text{ MPa}$
  - $f_u = 370 \text{ MPa}$

Sedangkan untuk mendefinisikan dimensi penampang elemen struktur dengan cara memilih menu *define – section properties – frame section/area section*. Melalui menu *add new properties*, kemudian masukan dimensi elemen struktur sesuai dengan desain rencana. Yaitu Balok silang: WF 200x100x5,5x8, Balok melintang : WF 350x175x7x11 dan WF 400x400x13x21, Balok memanjang : WF 350x175x7x11 dan WF 400x200x8x13, Kolom portal : WF 400x400x13x21, Rangka : WF 200x200x8x12 dan WF 250x250x9x14, pelat lantai tebal 12 cm dan pelat atap tebal 10 cm.

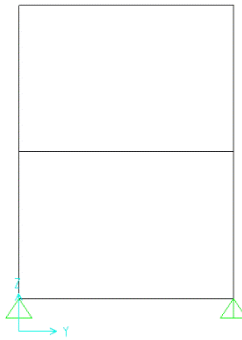
Setelah semuanya terdefinisi tahapan selanjutnya adalah menggambarkan model elemen pada grid yang tampil pada layar SAP2000. Langkah pertama adalah menggambar balok dan rangka utama. Setelah itu menggambar pelat lantai dan pelat atap.



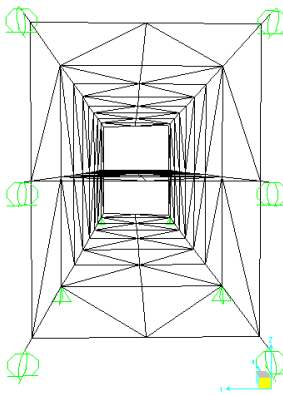
**Gambar 4.1** Tampilan X-Y Pemodelan Struktur



**Gambar 4.2** Tampilan X-Z Pemodelan Struktur



**Gambar 4.3** Tampilan Y-Z Pemodelan Struktur



**Gambar 4.4** Tampilan 3D Pemodelan Struktur

### 4.3 Pembebanan Struktur

#### 4.3.1. Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin, beban gempa dan beban hidup manusia berjalan.

##### a. Beban Mati

Beban mati pada perencanaan ini meliputi berat sendiri dari masing – masing elemen struktur seperti berat balok melintang, balok memanjang, balok silang, pelat lantai, dan rangka utama serta beban mati tambahan sebesar 150 kg/m<sup>2</sup>.

##### b. Beban Hidup

Beban hidup terdiri dari beban hidup pelat lantai dan beban hidup pelat atap. Beban hidup pelat lantai sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> (beban eksisting), 310 kg/m<sup>2</sup> dan 500 kg/m<sup>2</sup> (Gambar 2.1) serta beban hidup pelat atap sebesar 100 kg/m<sup>2</sup>.

##### c. Beban Angin Jembatan

Gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti **Persamaan 2.1** berikut:

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

$$A_b = 29,95 \times 9 \times 0,3 \text{ (luas koefisien bagian samping jembatan)} \\ = 80,865 \text{ m}^2$$

$$T_{EW1} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \\ = 0,0006 \times 1,836 \times (30)^2 \times 80,865 \\ = 80,173 \text{ kN}$$

$$H_{W1} = \frac{T_{EW1}}{30} = 2,67 \text{ kN} = 267 \text{ kg}$$

##### d. Beban Gempa

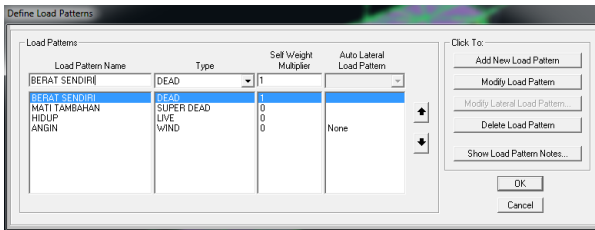
Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur JPO ini ditinjau secara analisa 3 dimensi menggunakan Fungsi *Response Spectrum* berdasarkan wilayah gempa.

Untuk kombinasi pembebanan mengacu pada peraturan RSNI T-02-2005 yaitu sebagai berikut:

- a. Kombinasi D + 2Dtambahan
- b. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1,8L
- c. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1,2W
- d. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1EX
- e. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1EY
- f. Kombinasi Envelope

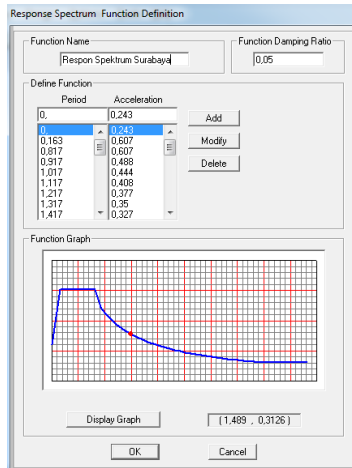
### 4.3.2 Tahapan Pembebanan

1. Mendefinisikan Load Pattern (Jenis beban yang bekerja pada struktur JPO), terdiri dari berat sendiri (self weight multiplier = 1), beban mati tambahan (self weight multiplier = 0), beban hidup (self weight multiplier = 0) dan beban angin (self weight multiplier = 0) yaitu dengan menggunakan menu *Define – Load Pattern* maka akan muncul tab seperti pada **Gambar 4.5**.



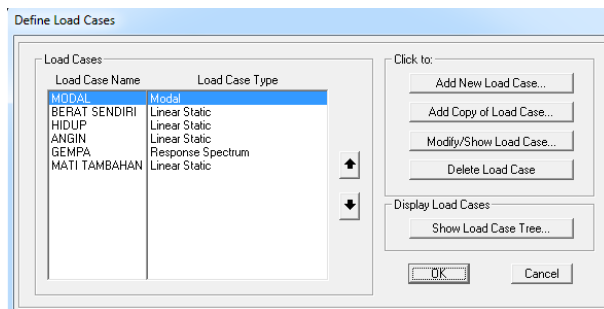
**Gambar 4.5** Tampilan Menu *Define Load Pattern*

2. Mendefinisikan beban gempa berdasarkan fungsi *Response Spektrum*, yaitu dengan menggunakan menu *Define – Function - Response Spectrum*. Dengan memilih *User* pada tab *Choose Function type to Add*, kemudian *Add New Function* maka *Period* dan *Acceleration* dapat diisi sesuai dengan data dari <http://puskim.pu.go.id>. Hasilnya seperti pada **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.6** Tampilan Menu *Define Response Spectrum Functions*

3. Mendefinisikan *Load Case* yang bekerja. Yaitu dengan memanfaatkan menu *Define - Load Case*, maka akan muncul tampilan sebagai berikut:

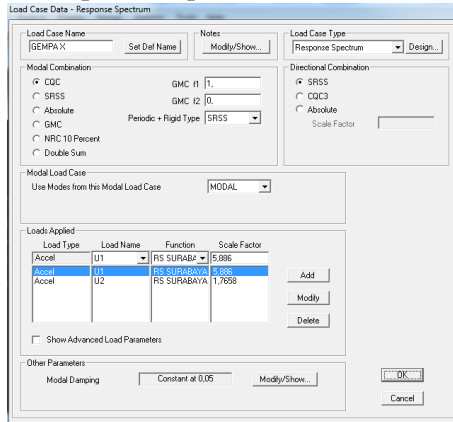


**Gambar 4.7** Tampilan Menu *Load Case Data*

- a. Modal  
 ➤ *Load Case* Modal dirubah dengan memilih *Load Case Name* MODAL kemudian *Modify Show Load Case*.



- *Maximum number of modes* diisi sesuai yang dibutuhkan. Dalam tugas akhir ini *maximum number of modes* diisi sebanyak 12.
- b. *Response Spectrum*
  - Untuk membuat *Load Case Type Response Spectrum* yaitu dengan memilih *Add New Load Case*, maka akan ditampilkan seperti **Gambar 4.8**.

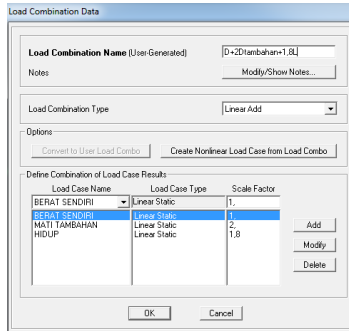


**Gambar 4.8** Tampilan Menu *Load Case Data*

- Mengisi *Load Case Name* GEMPA dengan *Load Case Type Response Spectrum*.  
Beban Gempa Respon Spectrum X (EX) pada *Load Applied* mengisi skala faktor gempa arah U1 = 5,886 (100% arah X) dan U2 = 30% x 5,886= 1,766 (30% arah Y). Dan untuk beban Gempa Respon Spectrum Y (EY) pada *Load Applied* mengisi skala faktor gempa arah U2 = 5,886 (100% arah Y) dan U1 = 30% x 11,772 = 1,766 (30% arah X). Skala faktor tersebut diperoleh dari persamaan  $2.2 = g \times \frac{I}{S} = 9,81 \times \frac{1,2}{2} = 5,886$ .

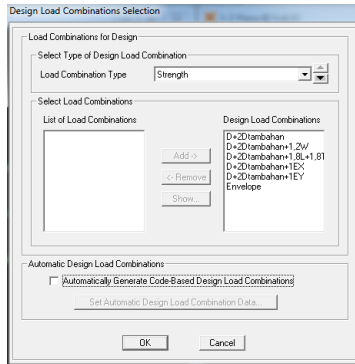
#### 4. Kombinasi beban

Kombinasi pembebanan dibuat dengan memanfaatkan menu *Define – Load Combination*, dengan memilih *Add New Combo*. Maka akan muncul tampilan sebagai berikut:



**Gambar 4.9** Tampilan menu *Load Combination Data*.

Setelah itu mengisi *Load Combination Name*, *Load Case Name* dan *Scale Factor* sesuai tipe kombinasi. Begitu juga untuk kombinasi yang lainnya. Untuk keperluan cek desain maka pada menu *Design – Steel Frame Desain – Select Design Combo* memasukkan kombinasi-kombinasi rencana dan mematikan *Automatically Generated Code - Base Design Load Combination* supaya program SAP2000 menganalisa berdasarkan kombinasi rencana. Apabila kombinasi rencana tidak terbaca pada program maka dapat diketahui.



**Gambar 4.10** Tampilan menu *Design Load Combination Selection*

#### 5. *Input* beban pada struktur JPO.

- *Input* beban hidup pada pelat lantai jembatan sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> (beban eksisting), hidup 310 kg/m<sup>2</sup> dan beban hidup 500 kg/m<sup>2</sup> (beban RSNI T-02-2005) dan beban mati tambahan sebesar 150 kg/m<sup>2</sup> dengan menggunakan menu *Assign – Area Load – Uniform (shell)*.
- *Input* beban hidup pelat atap sebesar 100 kg/m<sup>2</sup>.
- *Input* beban angin pada struktur JPO, dengan cara mengklik *Joint* pada jembatan yang ingin dibebani angin kemudian memilih menu *Assign – Joint Load*. *Input* beban angin sebesar 267 kg ke arah y.
- Setelah semua beban selesai dimasukkan maka struktur JPO siap untuk di *running*.

#### 4.4 Cek Desain Elemen Struktur

Bagian terpenting dari analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000 adalah cek desain struktur. Cek desain struktur ini memiliki 3 fungsi, yaitu :

- a. Mengetahui kekuatan profil baja dalam memikul beban luar yang terjadi.
- b. Mengetahui tingkat keekonomisan penggunaan profil baja.

- c. Memperkirakan jumlah tulangan yang dibutuhkan untuk balok dan kolom pada beton.

Dari hasil cek desain dapat diketahui kekuatan profil baja yang ditunjukkan dengan warna yang memiliki interval nilai tertentu dari 0 s.d. 1. Nilai antara 0 s.d. 1 merupakan nilai perbandingan antara beban *ultimate* dari beban luar yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja dari hasil perhitungan kekuatan profil baja oleh SAP2000 (Rasio PMM). Profil baja dikatakan kuat memikul beban luar yang terjadi apabila nilai perbandingan  $\leq 1$ . Apabila nilai perbandingan  $> 1$ , maka profil baja tidak mampu memikul beban luar yang terjadi dan harus direncanakan ulang. Selain itu, hasil nilai perbandingan yang mendekati 1 berarti profil sudah cukup ekonomis, sebaliknya apabila nilai perbandingan mendekati 0 berarti profil masih sangat boros. Untuk mengetahui kekuatan struktur dalam memikul beban – beban yang bekerja, maka kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada peraturan RSNI T-02-2005 yaitu sebagai berikut:

- a. Kombinasi D + 2Dtambahan
- b. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1,8L
- c. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1,2W
- d. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1EX
- e. Kombinasi D + 2Dtambahan + 1EY
- f. Kombinasi Envelope

#### **4.4.1 Cek Desain Elemen Struktur dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup>**

##### **4.4.1.1 Cek Desain Balok Silang**

- a. Cek Desain Balok Silang Profil WF 200x100x5,5x8 Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum = 0,581 < 1 **OK**

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 1**)

- b. Cek Desain Balok Silang Profil WF 200x100X5,5X8  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{ gaya geser ultimit } (V_u) = -1.446,52 \text{ kg}$$

$$\text{ momen ultimit } (M_u) = -2.536,38 \text{ kg.m}$$

(Nilai  $V_u$  dan  $M_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 2**)

Data material:

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data profil:

$$A = 27,2 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm}$$

$$d = 200 \text{ mm}$$

$$Z_x = 200 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 100 \text{ mm}$$

$$Z_y = 41 \text{ cm}^3$$

$$h = 162 \text{ mm}$$

$$I_x = 1.840 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 8 \text{ mm}$$

$$I_y = 134 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{162}{5,5} = 29,45$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 20 \times 0,55 \times 1 \\ &= 15.840 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 15.840 \end{aligned}$$

$$= 14.256 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 14.256 \text{ kg} > V_u = 1.446,52 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{100}{2 \times 8} = 6,25$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{162}{5,5} = 29,45$$

$$\lambda_p = \frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh:

$$L_P = 112,85 \text{ cm}$$

$$L_R = 377,12 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 112,85 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 200 \times 2.400 \\ &= 480.000 \text{ kg.cm} \\ &= 4.800 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times 4.800 \text{ kg.m} \\ &= 4.320 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\phi M_n = 4.320 \text{ k.gm} > M_u = 2.536,38 \text{ kg. m.... OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{2.536,38}{4.320} = 0,587$$

#### 4.4.1.2 Cek Desain Balok Memanjang

- a. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 400x200x8x13  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,238 < 1 \text{ OK}$$

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 3**)

- b. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 400x200x8x13  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh :

$$\text{gaya geser ultimit } (V_u) = -4.451,2 \text{ kg}$$

$$\text{momen ultimit } (M_u) = -6.140,95 \text{ kg.m}$$

(Nilai  $V_u$  dan  $M_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 4**)

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil:

$$A = 84,12 \text{ cm}^2 \quad t_w = 8 \text{ mm}$$

$$d = 400 \text{ mm} \quad Z_x = 1.286 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 200 \text{ mm} \quad Z_y = 266 \text{ cm}^3$$

$$h = 342 \text{ mm} \quad I_x = 23.700 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 13 \text{ mm} \quad I_y = 1.740 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 40 \times 0,8 \times 1 \\ &= 46.080 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 46.080 \\ &= 41.472 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 41.472 \text{ kg} > V_u = 4.451,2 \text{ kg.... OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7,69$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$



Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 231,07 \text{ cm}$$

$$L_R = 687,09 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 231,07 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1.286 \times 2400 \\ &= 3.086.400 \text{ kg.cm} \\ &= 30.864 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 30.864 \\ &= 27.777,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 27.777,6 \text{ kg.m} > M_u = 6.140,95 \text{ kg.m} \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{6.140,95}{27.777,6} = 0,221$$

- c. Desain Desain Balok Memanjang Profil WF 350x175x7x11 Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,217 < 1 \text{ OK}$$

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 5**)

- d. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 350x175x7x11 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{gaya geser ultimit } (V_u) = 2.516,74 \text{ kg}$$

$$\text{momen ultimit } (M_u) = -3.583,5 \text{ kg.m}$$

(Nilai  $V_u$  dan  $M_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 6**)

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil:

$$\begin{array}{ll}
 A & = 63,14 \text{ cm}^2 & t_w & = 7 \text{ mm} \\
 d & = 350 \text{ mm} & Z_x & = 841 \text{ cm}^3 \\
 b_f & = 175 \text{ mm} & Z_y & = 172 \text{ cm}^3 \\
 h & = 300 \text{ mm} & I_x & = 13600 \text{ cm}^4 \\
 t_f & = 11 \text{ mm} & I_y & = 984 \text{ cm}^4
 \end{array}$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\
 &= 0,6 \times 2.400 \times 35 \times 0,7 \times 1 \\
 &= 35.280 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\
 &= 0,9 \times 35.280 \\
 &= 31.752 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 31.752 \text{ kg} > V_u = 2.516,74 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7,95$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 200,57 \text{ cm}$$

$$L_R = 591,15 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 200,57 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 841 \times 2.400 \\ &= 2.018.400 \text{ kg.cm} \\ &= 20184 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 20184 \text{ kg.m} \\ &= 18165,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 18.165,6 \text{ kg.m} > M_u = 3.583,5 \text{ kg.m} \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{3.583,5}{18.165,6} = 0,197$$

#### 4.4.1.3 Cek Desain Balok Melintang

- a. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,669 < 1 \quad \text{OK}$$

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 7**)

- b. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{gaya geser ultimit } (V_u) = -22.655,19 \text{ kg}$$

$$\text{momen ultimit } (M_u) = -52.352,09 \text{ kg.m}$$

(Nilai  $V_u$  dan  $M_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 8**)

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil:

$$A = 218,7 \text{ cm}^2 \quad t_w = 13 \text{ mm}$$

$$d = 400 \text{ mm} \quad Z_x = 3.600 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 400 \text{ mm} \quad Z_y = 1.695 \text{ cm}^3$$

$$h = 314 \text{ mm} \quad I_x = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 21 \text{ mm} \quad I_y = 22.400 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 40 \times 1,3 \times 1 \\ &= 74.880 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 74.880 \\ &= 67.392 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 67.392 \text{ kg} > V_u = 22.655,19 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 514,19 \text{ cm}$$

$$L_R = 1902,73 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 514,19 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 3.600 \times 2.400 \\ &= 8.640.000 \text{ kg.cm} \\ &= 86.400 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 86.400 \text{ kg.m} \\ &= 77.760 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 77.760 \text{ k.gm} > M_u = 52.352,09 \text{ kg.m} \quad \text{OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{52.352,09}{77.760} = 0,673$$

- c. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,807 > 1 \quad \text{OK}$$

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 9**)

- d. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser ultimit } (V_u) &= -6.051,1 \text{ kg} \\ \text{Momen ultimit } (M_u) &= 14.906,42 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

(Nilai  $V_u$  dan  $M_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 10**)

Data material :

Baja BJ 37

$$\begin{aligned} f_y &= 240 \text{ MPa} & G &= 80.000 \text{ MPa} \\ f_u &= 370 \text{ MPa} & E_s &= 200.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Data Profil:

$$\begin{aligned} A &= 63,14 \text{ cm}^2 & t_w &= 7 \text{ mm} \\ d &= 350 \text{ mm} & Z_x &= 841 \text{ cm}^3 \\ b_f &= 175 \text{ mm} & Z_y &= 172 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= 300 \text{ mm} & I_x &= 13.600 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 11 \text{ mm} & I_y &= 984 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

### Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 35 \times 0,7 \times 1 \\ &= 35.280 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 35.280 \\ &= 31.752 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 31.752 \text{ kg} > V_u = 6.051,1 \text{ kg... OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7,95$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 200,57 \text{ cm}$$

$$L_R = 591,15 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 200,57 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 841 \times 2.400 \\ &= 2.018.400 \text{ kg.cm} \\ &= 20.184 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 20.184 \text{ kg.m} \\ &= 18.165,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 18.165,6 \text{ kg.m} < M_u = 14.906,42 \text{ kg.m. OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{14.906,42}{18.165,6} = 0,821$$

#### 4.4.1.4 Cek Desain Kolom Portal

a. Cek Desain Kolom Portal Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,887 < 1 \text{ OK}$$

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 11**)

b. Cek Desain Kolom Portal profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya aksial ultimit } (P_u) = -119.754 \text{ kg (Tekan)}$$

$$\text{Momen ultimit X } (M_{ux}) = 50565,15 \text{ kg.m}$$



Momen ultimit Y ( $M_{uy}$ ) = 211,98 kg.m  
 (Nilai  $P_u$ ,  $M_{ux}$ , dan  $M_{uy}$  dapat dilihat pada **Lampiran 12**).

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil :

$$A = 218,7 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 17,45 \text{ cm}$$

$$i_y = 10,12 \text{ cm}$$

➤ Kontrol Aksial

$$P_u = -119.754 \text{ kg (tekan)}$$

$$I_x \text{ rangka} = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$I_x \text{ balok} = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

$$L_{\text{balok}} = 325 \text{ cm}$$

$$G_B = 10 \text{ (tumpuan sendi)}$$

$$G_A = \frac{\sum (I_x / L)_{\text{rangka}}}{\sum (I_x / L)_{\text{balok}}} = \frac{66.000 / 450}{66.000 / 325} = 0,72$$

Dari nomogram diperoleh  $k_c = 0,83$

Kelangsingan Komponen Struktur

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

$$L_k = k_c \times L$$

$$\lambda_x = \frac{k_c \times L_k}{i_x} = \frac{0,83 \times 450}{17,45} = 21,4$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i_y} = \frac{0,83 \times 450}{10,12} = 36,91 \text{ (menentukan)}$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 2.000.000 \times 218,7}{21,4^2} = 9.426.510,97 \text{ kg}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \times 2.000.000 \times 218,7}{36,91^2} = 3.168.767,93 \text{ kg}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{36,91}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,407$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,407} \\ &= 1,08 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{218,7 \times 2.400}{1,08} \\ &= 486.000 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 486.000 \\ &= 437.400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 437.400 \text{ kg} > P_u = 119.754 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{119.754}{467.714,85} = 0,256 > 0,2$$

➤ **Kontrol momen**

**Momen Arah X**

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \beta_m \\ &= 0,6 - 0,4 \left( \frac{33.879,36}{50.443,29} \right) \\ &= 0,33 < 1 \end{aligned}$$

$$\delta_{bx} = \frac{c_m}{1 - \left( \frac{N_u}{N_{crbx}} \right)} = \frac{0,33}{1 - \left( \frac{119.754}{9.426.510,97} \right)} = 0,33 < 1$$

Dipakai  $\delta_{bx} = 1$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_{bx} \times M_{ntx} \\ &= 1 \times 50.565,15 \\ &= 50.565,15 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \times f_y \\ &= 3.600 \times 2.400 \\ &= 8.640.000 \text{ kg.cm} \\ &= 86.400 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

**Momen Arah Y**

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \beta_m \\ &= 0,6 - 0,4 \left( \frac{136,83}{211,98} \right) \\ &= 0,38 < 1 \end{aligned}$$

$$\delta_{by} = \frac{c_m}{1 - \left( \frac{N_u}{N_{crby}} \right)} = \frac{0,38}{1 - \left( \frac{119.754}{3.168.767,93} \right)} = 0,39 < 1$$

Dipakai  $\delta_{by} = 1$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_{by} \times M_{nty} \\ &= 1 \times 211,98 \\ &= 211,98 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{ny} = Z_y \times f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.695 \times 2.400 \\
 &= 4.068.000 \text{ kg.cm} \\
 &= 40.680 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} = \frac{50.565,15}{0,9 \times 86.400} + \frac{211,98}{0,9 \times 40.680} = 0,656$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio aksial momen} &= \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \\
 &= 0,256 + \frac{8}{9} (0,656) \leq 1 \\
 &= 0,839 < 1 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.1.5 Cek Desain Rangka

- c. Cek Desain Rangka Profil WF 250x250x9x14 Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum = 0,204 < 1 **OK**

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 13**)

- d. Cek Desain Rangka Profil WF 250x250x9x14 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = -29.962,12 kg (Tekan)

(Nilai  $P_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 14**).

Data material :

Baja BJ 37

$f_y = 240 \text{ MPa}$

$f_u = 370 \text{ MPa}$

$G = 800.00 \text{ MPa}$

$E_s = 200.000 \text{ MPa}$

Data Profil :

$A = 92,18 \text{ cm}^2$

$i_x = 10,82 \text{ cm}$

$$i_y = 6,29 \text{ cm}$$

➤ **Kontrol Batang Tekan**

Gaya dalam yang menentukan :

$$P_u = -29.962,12 \text{ kg (tekan)}$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

**Kelangsingan Komponen Struktur**

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

$L_k = k_c \times L$  dimana  $k_c = 1$  (untuk rangka batang)

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i} = \frac{1 \times 450}{6,29} = 71,54$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{71,54}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,79$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,79} \\ &= 1,34 \end{aligned}$$

**Kuat tekan nominal :**

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{92,18 \times 2.400}{1,34} \\ &= 296.450,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Kuat tekan rencana :**

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 296.450,88 \\ &= 266.805,79 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 266.805,79 \text{ kg} > P_u = 29.962,12 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{29.962,12}{266.805,79} = 0,112$$

- e. Cek Desain Rangka Profil WF 200x200x9x14 Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum =  $0,372 < 1$  **OK**

(Rasio PMM dapat dilihat pada **Lampiran 15**)

- f. Cek Desain Rangka Profil WF 200x200x8x12 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = -14.645,91 kg (Tekan)

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = 49.591,44 kg (Tarik)

(Nilai  $P_u$  dapat dilihat pada **Lampiran 16**)

Data material :

Baja BJ 37

$f_y = 240$  MPa

$G = 80.000$  MPa

$f_u = 370$  MPa

$E_s = 200.000$  MPa

Data Profil :

$A = 53,53$  cm<sup>2</sup>

$i_x = 8,62$  cm

$i_y = 5,02$  cm

➤ **Kontrol Batang Tekan**

Gaya dalam yang menentukan :

$P_u = -14.645,91$  kg (tekan)

$L = 450$  cm

Kelangsingan Komponen Struktur

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

$L_k = k_c \times L$  dimana  $k_c = 1$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i} = \frac{1 \times 450}{5,02} = 89,64$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{89,64}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,99$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,99} \\ &= 1,53 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{53,53 \times 2.400}{1,53} \\ &= 83.968,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 83.968,63 \\ &= 75.571.767 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 75.571.767 \text{ kg} > P_u = 14.645,91 \text{ kg OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{14.645,91}{75.571.767} = 0,194$$

➤ **Kontrol Batang Tarik**

$$P_u = 49.591,44 \text{ kg (tarik)}$$

Batas Leleh

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 53,53 \times 2.400 \\ &= 115.624,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Batas Putus

$$\begin{aligned} A_n &= 0,85 \times A_g \\ &= 0,85 \times 53,53 \\ &= 45,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \times A_n \\ &= 0,85 \times 45,5 \\ &= 40,95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 40,95 \times 3.700 \\ &= 113.636,25 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 113.636,25 \text{ kg} > P_u = 49.591,44 \text{ kg} \dots \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{49.591,44}{113.636,25} = 0,436$$

**4.4.1.5 Kontrol Displacement**

*Displacement* terbesar akibat beban D+Dtambahan+L terjadi pada joint 22 sebesar -0,02042 m ke arah vertikal (dapat dilihat pada **Lampiran 17**).

$$\text{Displacement Ijin} = \Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{1000} = \frac{2100}{1000} = 21 \text{ cm}$$

$$\Delta = 2,042 \text{ cm} < \Delta_{\text{ijin}} = 21 \text{ m} \quad \text{OK}$$

**4.4.2 Cek Desain Elemen Struktur dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup>**

Beban hidup 250 kg/m<sup>2</sup> merupakan beban eksisting jembatan yang bekerja pada jembatan dengan lebar 4,25 meter, sedangkan beban hidup 310 kg/m<sup>2</sup> merupakan beban hidup pejalan kaki yang diperoleh dari grafik 2.4 dengan luas beban = 66,67 m<sup>2</sup>. Beban hidup 310 kg/m<sup>2</sup> ini bekerja pada jembatan dengan lebar 2,25 m.



**Tabel 4.1** Cek Desain Struktur Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup>.

Elemen Struktur	Beban statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan 310 kg/m <sup>2</sup>
	Rasio PMM
Balok silang WF 200x100x5,5x8	0,594
Balok memanjang WF 400x200x8x13	0,243
Balok memanjang WF 350x175x7x11	0,223
Balok melintang WF 400x400x13x21	0,669
Balok melintang WF 350x175x7x11	0,824
Kolom portal 400x400x13x21	0,9
Rangka WF 250x250x9x14	0,211
Rangka WF 200x200x8x12	0,387

Dari tabel di atas diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban hidup sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.4.2.1 Kontrol *Displacement*

*Displacement* terbesar akibat beban D+Dtambahan+L terjadi pada joint 22 sebesar -0,02083 m ke arah vertikal.

$$\text{Displacement Ijin} = \frac{L}{1000} = \frac{2100}{1000} = 21 \text{ cm}$$

$$\Delta = 2,083 \text{ cm} < \Delta_{\text{ijin}} = 21 \text{ cm} \quad \mathbf{Ok}$$

#### 4.4.3. Cek Desain Elemen Struktur dengan Beban Hidup Statis 500 kg/m<sup>2</sup>

Beban hidup 500 kg/m<sup>2</sup> merupakan beban pejalan kaki yang diperoleh dari grafik 2.4 yang bekerja pada JPO dengan luas pembebanan 190,61 m<sup>2</sup>. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur apabila sewaktu-waktu beban hidup pertokoan

(250 kg/m<sup>2</sup>) tidak ada dan jembatan hanya digunakan untuk penyeberangan orang saja (500 kg/m<sup>2</sup>).

**Tabel 4.2** Cek Desain Struktur Akibat Beban Hidup Statis 500 kg/m<sup>2</sup>

Elemen Struktur	Beban statis 500 kg/m <sup>2</sup>
	Rasio PMM
Balok silang WF 200x100x5,5x8	0,803
Balok memanjang WF 400x200x8x13	0,312
Balok memanjang WF 350x175x7x11	0,287
Balok melintang WF 400x400x13x21	0,670
<b>Balok melintang WF 350x175x7x11</b>	<b>1,122</b>
Kolom portal 400x400x13x21	0,979
Rangka WF 250x250x9x14	0,263
Rangka WF 200x200x8x12	0,482

Dari tabel di atas diperoleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) pada balok melintang WF 350x175x7x11 lebih dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa profil tersebut tidak mampu menerima beban hidup sebesar 500 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.4.3.1 Kontrol Displacement

*Displacement* terbesar akibat beban D+Dtambahan+L terjadi pada joint 22 sebesar -0,02694 m ke arah vertikal.

$$\text{Displacement Ijin} = \frac{L}{1000} = \frac{2100}{1000} = 21 \text{ cm}$$

$$\Delta = 2,694 \text{ cm} < \Delta_{\text{ijin}} = 21 \text{ cm} \quad \mathbf{Ok}$$

## 4.5 Frekuensi Alami dan *Mode Shape* JPO Eksisting

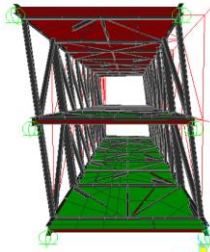
### 4.5.1 Frekuensi Alami

Frekuensi alami struktur adalah getaran yang terjadi pada suatu struktur ketika struktur tersebut tidak menerima gaya-gaya luar. Frekuensi alami struktur dipengaruhi oleh besaran properti internal struktur, yaitu kekakuan dan massa struktur. Nilai frekuensi alami ini dapat digunakan sebagai pedoman apakah suatu struktur akan mengalami resonansi atau tidak. Suatu struktur akan mengalami resonansi apabila frekuensi beban yang diterima struktur mendekati atau sama dengan frekuensi alaminya. Biasanya, pada 3 atau 4 pertama model harmonis yang dipertimbangkan berpotensi resonansi (Wahyuni, 2012). Frekuensi alami pertama berkisar antara 3 – 4 Hz untuk getaran horizontal. Seperti disebutkan pada nilai di atas, frekuensi alami pada jembatan adalah di bawah 5 Hz pada getaran vertikal dan 1,5 Hz untuk arah horizontal, dengan demikian sebaiknya di cek pada kemampuan penggunaan getaran seperti disebutkan pada British Standard sejak standar Indonesia tidak menjelaskan getaran pada struktur akibat beban dinamis manusia.

### 4.5.2 Mode Shape (Bentuk Model)

Pada umumnya sebuah struktur jembatan bisa memiliki 3 macam model getaran inti yaitu horizontal, torsi dan vertikal. Dari *modal analysis* diperoleh bentuk pada tiap - tiap mode dari struktur yang dianalisis.

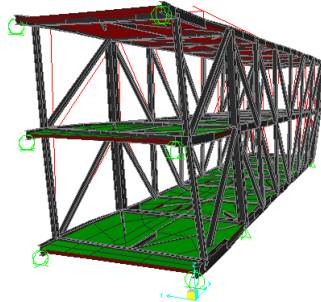
Gambar mode 1 dari JPO dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



**Gambar 4.11** Mode 1 JPO

Untuk mode satu JPO didominasi oleh arah getaran horizontal, ini menunjukkan bahwa JPO apabila dikenai beban horizontal akan lebih berpengaruh dibanding dengan beban vertikal.

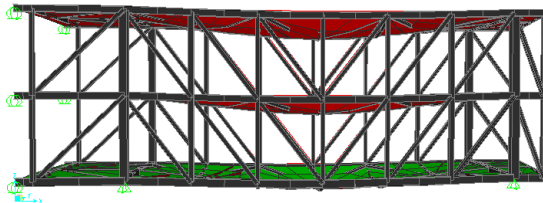
Gambar mode 2 dari JPO dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.



**Gambar 4.12** Mode 2 JPO

Untuk mode dua JPO didominasi oleh arah getaran horizontal, ini menunjukkan bahwa JPO apabila dikenai beban horizontal akan lebih berpengaruh dibanding dengan beban vertikal.

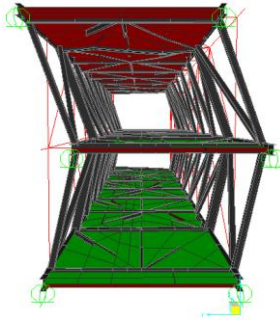
Gambar mode 3 dari JPO dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.



**Gambar 4.13** Mode 3 JPO

Untuk mode tiga JPO didominasi oleh arah getaran vertikal. ini menunjukkan bahwa JPO apabila dikenai beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding dengan beban horizontal.

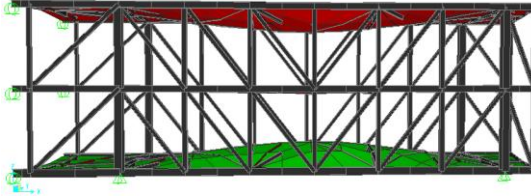
Gambar mode 4 dari JPO dapat dilihat pada **Gambar 4.14**.



**Gambar 4.14** Mode 4 JPO

Untuk mode empat JPO didominasi oleh arah getaran horizontal, beban horizontal akan lebih berpengaruh dibanding beban vertikal.

Gambar mode 5 dari JPO dapat dilihat pada **Gambar 4.15**.

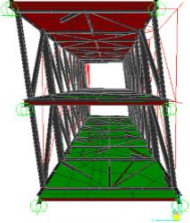
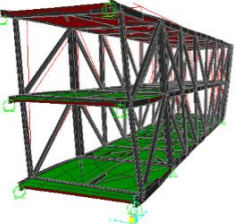
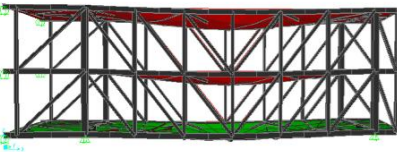
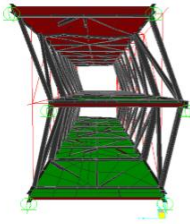


**Gambar 4.15** Mode 5 JPO

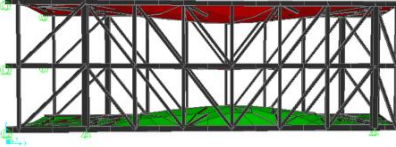
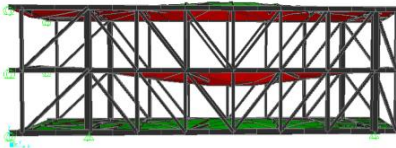
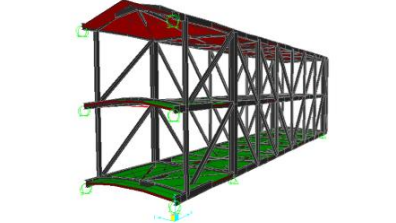
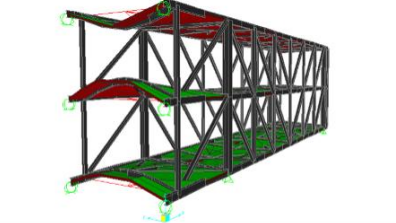
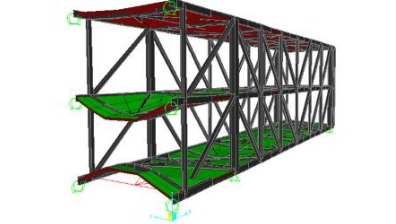
Untuk mode lima JPO didominasi oleh arah getaran vertikal, ini menunjukkan bahwa JPO apabila dikenai beban vertikal akan lebih berpengaruh dibanding dengan beban horizontal.

Untuk selengkapnya mode JPO ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

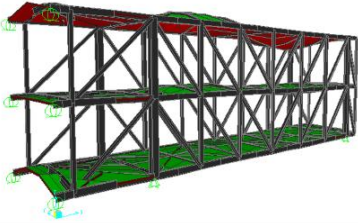
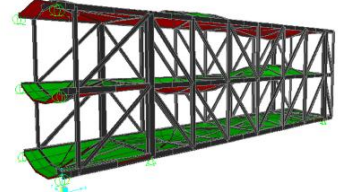
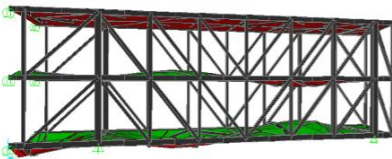
**Tabel 4.3** Frekuensi Alami dan *Mode Shape* Struktur JPO

Model	Frekuensi Alami (Hz)	Bentuk Getaran	Mode Shape
1	1,991	Horizontal	
2	4,661	Horizontal	
3	6,091	Vertikal	
4	6,132	Horizontal	

**Tabel 4.3** Frekuensi Alami dan *Mode Shape* Struktur JPO  
(Lanjutan 1)

Model	Frekuensi Alami (Hz)	Bentuk Getaran	Mode Shape
5	7,029	Vertikal	
6	7,055	Vertikal	
7	7,384	Vertikal	
8	7,611	Vertikal	
9	7,723	Vertikal	

**Tabel 4.3** Frekuensi Alami dan *Mode Shape* Struktur JPO  
(Lanjutan 2)

Model	Frekuensi Alami (Hz)	Bentuk Getaran	Mode Shape
10	7,773	Vertikal	
11	8,025	Vertikal	
12	8,155	Vertikal	

Dari tabel di atas diperoleh nilai minimal dari frekuensi alami untuk getaran arah vertikal sebesar 6,09099 Hz dan frekuensi alami untuk getaran arah horizontal sebesar 1,99067 Hz. British Standard (BSI, 2005) dalam Wahyuni (2012) menjelaskan untuk struktur yang frekuensi alami untuk getaran melebihi 5 Hz dalam arah vertikal dan 1,5 Hz untuk getaran arah horizontal, berarti sudah memenuhi persyaratan *service* getaran pada struktur.

#### 4.6 Pemodelan Beban Dinamis Manusia Berjalan

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 yang ditunjukkan pada **Persamaan 2.2**, seperti tertulis sebagai berikut:

$$f(t) = G_s \left[ 1.0 + \sum_{n=1}^{\infty} r_n \sin \left( \frac{2n\pi t}{T_p} + \phi_n \right) \right]$$

Pada Tugas akhir ini dianalisa beban dinamis akibat beban manusia berjalan. Menurut aktifitasnya manusia berjalan dibagi menjadi berjalan lambat ( $T_p = 0,588$  s), berjalan normal ( $T_p = 0,5$  s) dan berjalan cepat ( $T_p = 0,435$  Hz) (Figueiredo, dkk 2008). Pada studi ini akan dianalisa mengenai aktifitas manusia berjalan lambat dan berjalan normal.

El-Dardiry (2003) menjelaskan sepuluh nilai koefisien fourier dan sudut fase untuk beban berjalan seperti pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4** Sepuluh Koefisien Fourier dan Sudut Fase

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

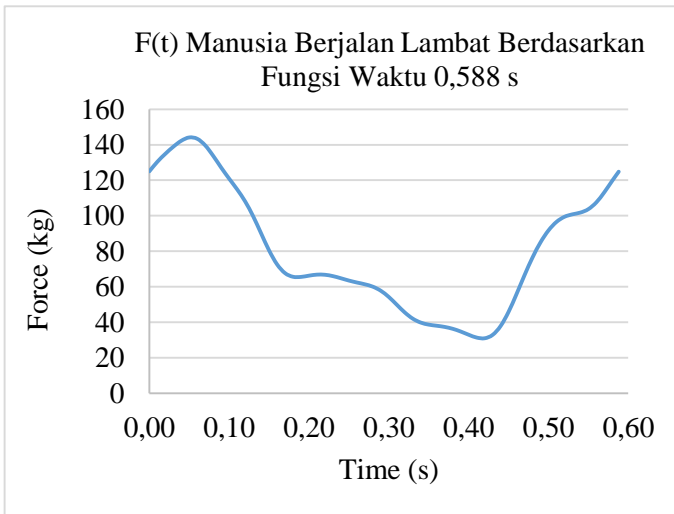
Dengan memasukan koefisien yang telah didapatkan dari **Tabel 4.4** ke dalam **Persamaan 2.2**, maka didapatkan nilai  $F(t)$  seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.5**, **Gambar 4.16** dan **Tabel 4.6**, **Gambar 4.17**.

**Tabel 4.5** F(t) Manusia Berjalan Lambat Berdasarkan Fungsi Waktu

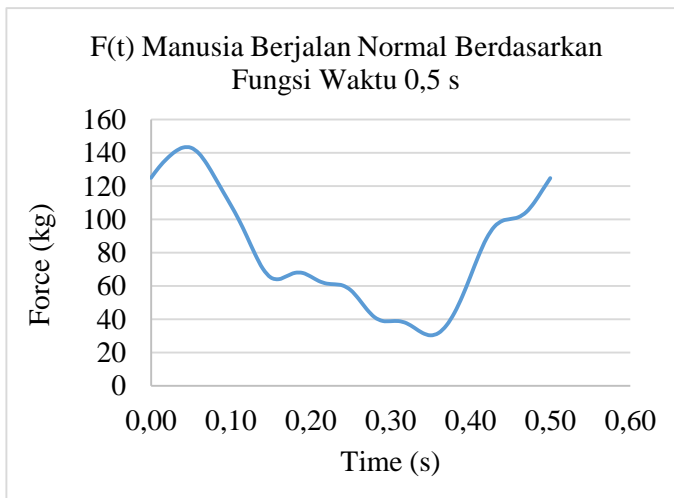
<b>Time (Detik)</b>	<b>Force (kg)</b>	<b>Time (Detik)</b>	<b>Force (kg)</b>	<b>Time (Detik)</b>	<b>Force (kg)</b>
0,00	125,02	0,21	66,81	0,42	30,95
0,01	130,39	0,22	66,73	0,43	32,85
0,02	134,89	0,23	65,97	0,44	37,83
0,03	138,88	0,24	64,77	0,45	45,83
0,04	142,25	0,25	63,48	0,46	55,87
0,05	144,12	0,26	62,37	0,47	66,52
0,06	143,38	0,27	61,37	0,48	76,48
0,07	139,66	0,28	60,02	0,49	84,99
0,08	133,76	0,29	57,72	0,50	91,73
0,09	127,16	0,30	54,21	0,51	96,52
0,10	120,89	0,31	49,85	0,52	99,39
0,11	114,85	0,32	45,49	0,53	100,81
0,12	108,09	0,33	42,01	0,54	101,79
0,13	99,76	0,34	39,79	0,55	103,73
0,14	90,09	0,35	38,64	0,56	107,57
0,15	80,46	0,36	38,01	0,57	113,27
0,16	72,61	0,37	37,34	0,58	119,82
0,17	67,66	0,38	36,29	0,588	124,84
0,18	65,61	0,39	34,77		
0,19	65,53	0,40	32,94		
0,20	66,25	0,41	31,35		

**Tabel 4.6** F(t) Manusia Berjalan Normal Berdasarkan Fungsi Waktu

<b>Time (Detik)</b>	<b>Force (kg)</b>	<b>Time (Detik)</b>	<b>Force (kg)</b>	<b>Time (Detik)</b>	<b>Force (kg)</b>
0,00	125,02	0,17	65,91	0,34	31,73
0,01	131,38	0,18	67,85	0,35	30,29
0,02	136,60	0,19	67,80	0,36	31,69
0,03	140,70	0,21	62,98	0,37	36,29
0,04	143,20	0,20	65,65	0,38	43,85
0,05	143,09	0,22	61,39	0,39	53,92
0,06	139,66	0,23	60,99	0,40	65,72
0,07	133,25	0,24	60,27	0,41	77,88
0,08	125,18	0,25	57,48	0,42	88,43
0,09	116,81	0,26	52,24	0,43	95,66
0,10	108,54	0,27	46,05	0,44	99,15
0,11	99,74	0,28	41,18	0,45	100,24
0,12	89,82	0,29	38,94	0,46	101,33
0,13	79,38	0,30	38,79	0,47	104,46
0,14	70,40	0,31	38,87	0,48	110,19
0,15	65,06	0,32	37,58	0,49	117,49
0,16	64,06	0,33	34,76	0,50	124,84



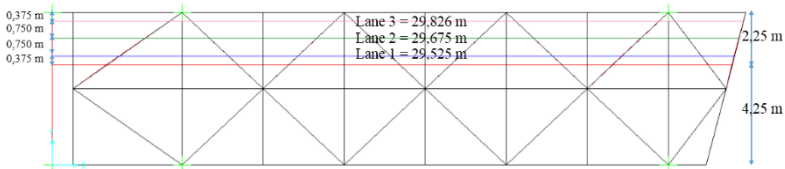
**Gambar 4.16** Grafik F(t) Manusia Berjalan Lambat Berdasarkan Fungsi Waktu 0.588 s



**Gambar 4.17** Grafik F(t) Manusia Berjalan Normal Berdasarkan Fungsi Waktu 0.5 s

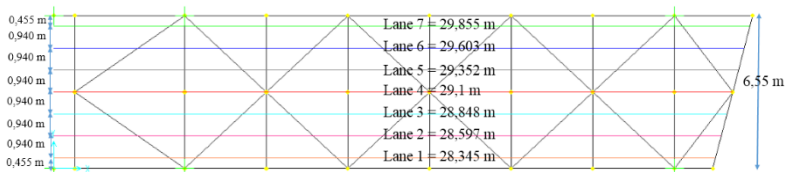
Setelah mengetahui fungsi dari beban berjalan lambat dan normal, dibuat model beban berjalan manusia dengan program bantu SAP 2000 sebagai fungsi *Time History*. Dengan bantuan menu *Bridge – Vehicle* pada SAP2000, beban manusia di transformasikan menjadi beban terpusat yang berjalan dengan berat massa 80 kg. Kemudian lintasan beban mulai dibuat dengan memanfaatkan *Lane* pada menu *Bridge*. Beban yang dimodelkan berupa beban manusia berjalan secara bersamaan dengan lintasan dan waktu yang berbeda. Ada 2 analisa pembebanan yang akan dibahas.

1. Beban manusia berjalan bersamaan selebar 2,25 meter (Luas =  $66,77 \text{ m}^2$ ) dengan 3 lintasan seperti **Gambar 4.7**. Panjang lintasan 1 = 29,525 m, lintasan 2 = 29,675 m dan lintasan 3 = 29,826 m. Analisa ini berdasarkan kondisi *riil* di lapangan, yaitu 4,25 meter dari lebar jembatan digunakan untuk pertokoan dan 2,25 meter digunakan untuk penyeberangan orang.



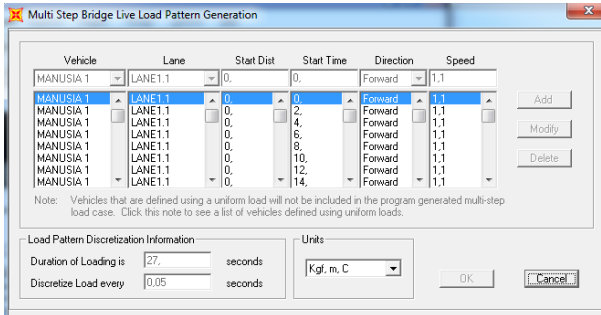
**Gambar 4.18** Lintasan Beban Berjalan Bersamaan Pada Struktur JPO dengan 3 Lintasan

2. Beban manusia berjalan bersamaan selebar 6,55 meter (Luas =  $190,61 \text{ m}^2$ ) dengan 7 lintasan seperti Gambar 4.8. Panjang lintasan 1 = 28,345 m, lintasan 2 = 28,597 m, lintasan 3 = 28,848 m, lintasan 4 = 29,1 m, lintasan 5 = 29,352 m, lintasan 6 = 29,603 m, lintasan 7 = 29,855 m. Analisa ini mengasumsikan apabila sewaktu-waktu beban pertokoan tidak ada dan jembatan hanya digunakan sebagai fasilitas penyeberangan orang.

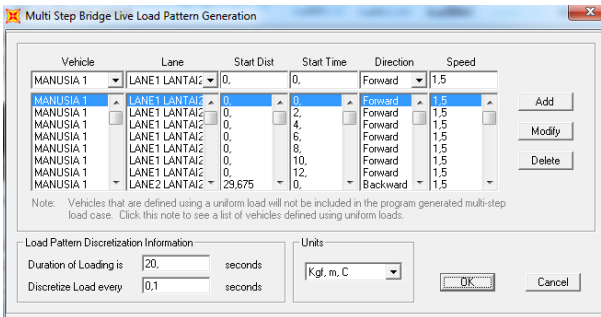


**Gambar 4.19** Lintasan Beban Berjalan Bersamaan Pada Struktur JPO dengan 7 Lintasan

Langkah selanjutnya setelah lintasan dapat didefinisikan adalah menentukan *load pattern* pada struktur jembatan. Beban yang digunakan adalah beban manusia dengan *type bridge live*. Waktu mulai beban dimulai pada detik ke 0 detik. Kecepatan orang berjalan lambat adalah 1,1 m/s dan kecepatan orang berjalan normal adalah 1,5 m/s seperti yang diutarakan oleh Figueiredo, dkk (2008). Waktu yang dibutuhkan oleh beban manusia berjalan lambat untuk sampai pada ujung lintasan adalah 27 detik dan 20 detik untuk berjalan normal. Beban manusia dimodelkan sebagai beban yang berjalan lambat dan berjalan normal pada lintasan yang berbeda dengan tiap pergerakan mempunyai selisih waktu 1 detik. Dengan demikian, jumlah manusia yang berjalan pada JPO sebanyak 27 orang/lintasan (berjalan lambat) dan 20 orang/lintasan (berjalan normal).



**Gambar 4.20** Tampilan Menu *Multi Step Bridge Live* Berjalan Lambat



**Gambar 4.21** Tampilan Menu *Multi Step Bridge Live* Berjalan Normal

Setelah load pattern terdefinisi, langkah selanjutnya adalah menentukan load case yang 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.

#### 4.7 Frekuensi Struktur JPO Akibat Beban Dinamis Manusia

Ketika struktur JPO beban dinamis manusia, maka struktur tersebut akan mengalami getaran. Sehingga setiap tipe struktur akan mengalami frekuensi yang berbeda-beda menurut konstruksi struktur itu sendiri ketika menerima beban dinamis manusia (Piccardo dan Tubino, 2008).

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 setiap segmen struktur tersebut.

Beban dinamis manusia akan dianalisa dengan redaman 5% (redaman untuk pelat lantai beton bertulang 3% - 5% (Chopra, 2007)) dan akan ditinjau nilai frekuensi struktur JPO tersebut. Perbandingan nilai frekuensi struktur JPO akibat beban dinamis dibandingkan dengan frekuensi alaminya seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.7** Perbandingan Frekuensi Dinamis 3 Lintasan dan Frekuensi Alami

Pergerakan	Frekuensi dinamis struktur (Hz)	Frekuensi alami (Hz)	$\frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}}$
Berjalan lambat	0,0243	1,991	0,012
Berjalan normal	0,0258		0,013



**Tabel 4.8** Perbandingan Frekuensi Dinamis 7 Lintasan dan Frekuensi Alami

Pergerakan	Frekuensi dinamis struktur (Hz)	Frekuensi alami (Hz)	$\frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}}$
Berjalan lambat	0,0656	1,991	0,033
Berjalan normal	0,0695		0,035

Dari hasil perbandingan frekuensi akibat beban dinamis manusia dengan frekuensi alami dari struktur JPO di atas kemudian di cek ke dalam **Persamaan 3.1**.

$$\frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}} < 0,5 \text{ atau } \frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}} > 2$$

Diperoleh hasil  $< 0,5$  yang menunjukkan bahwa struktur JPO tersebut tidak mengalami resonansi.

#### 4.8 Cek Desain

Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya, Struktur JPO akan dianalisa menjadi 2 pembebanan. Pertama kombinasi beban statis dan dinamis, terdiri dari 4,25 meter untuk beban statis (beban hidup pertokoan) dan 2,25 meter untuk beban manusia berjalan (berjalan lambat dan berjalan normal). Kedua pembebanan akibat beban dinamis manusia berjalan (berjalan lambat dan berjalan normal). Untuk mengetahui kekuatan struktur dalam memikul beban – beban yang bekerja, maka kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada peraturan RSNI T-02-2005 yaitu sebagai berikut:

- Kombinasi D + 2Dtambahan
- Kombinasi D + 2Dtambahan + 1,8L + 1,8TP
- Kombinasi D + 2Dtambahan + 1,2W
- Kombinasi D + 2Dtambahan + 1EX

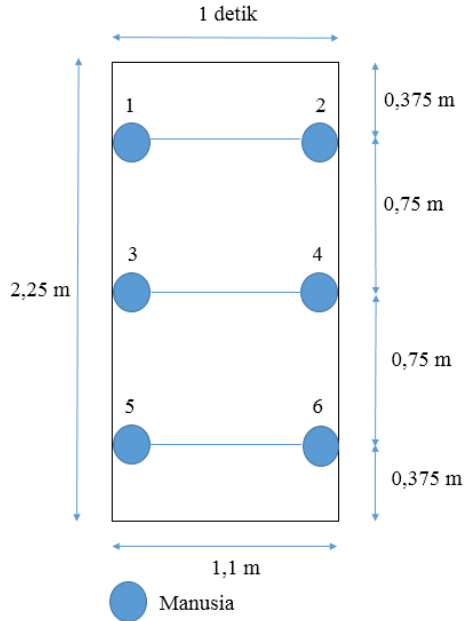
- e. Kombinasi  $D + 2Dt$  tambahan + 1EY
- f. Kombinasi Envelope

#### **4.8.1 Cek Desain Akibat Beban Hidup Statis $250 \text{ kg/m}^2$ dan Beban Dinamis Manusia Berjalan**

Beban hidup statis  $250 \text{ kg/m}^2$  bekerja selebar  $4,25 \text{ m}$  dan beban dinamis manusia berjalan bekerja selebar  $2,25 \text{ meter}$ . Beban dinamis yang digunakan berupa beban dinamis manusia berjalan lambat pada 3 lintasan (**Gambar 4.18**) dengan kecepatan  $1,1 \text{ m/s}$  dan beban dinamis manusia berjalan normal dengan kecepatan  $1,5 \text{ m/s}$ . Pergerakan yang digunakan adalah tiap 1 detik. Sehingga diperoleh jarak antar manusia dengan manusia di depannya yaitu sebagai berikut:

- $1,1 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} = 1,1 \text{ m}$  (berjalan lambat)
- $1,5 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$  (berjalan normal)

Analisa yang digunakan berdasarkan pada kondisi JPO dipenuhi oleh manusia sehingga untuk mengetahui besarnya beban tiap  $\text{m}^2$  dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



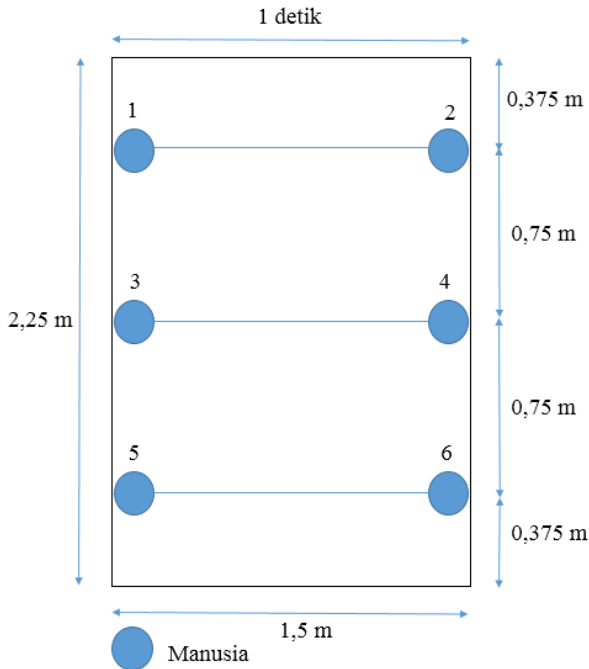
**Gambar 4.22** Sketsa Beban Manusia Berjalan Lambat dengan Selisih Waktu 1 Detik

$$\text{Luas} = 2,25 \times 1,1 = 2,475 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah manusia dalam } 2,475 \text{ m}^2 = 6$$

$$\text{Beban 1 manusia} = 80 \text{ kg}$$

$$\text{Sehingga dalam } 1 \text{ m}^2 \text{ beban manusia sebesar } = \frac{6 \times 80}{2,475} = 194 \text{ kg/m}^2$$



**Gambar 4.23** Sketsa Beban Manusia Berjalan Normal dengan Selisih Waktu 1 Detik

$$\text{Luas} = 2,25 \times 1,5 = 3,375 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah manusia dalam } 3,375 \text{ m}^2 = 6$$

$$\text{Beban 1 manusia} = 80 \text{ kg}$$

$$\text{Sehingga dalam } 1 \text{ m}^2 \text{ beban manusia sebesar } = \frac{6 \times 80}{3,375} = 143 \text{ kg/m}^2$$

Adapun cek desain JPO akibat beban hidup statis  $250 \text{ kg/m}^2$  dan beban dinamis berjalan lambat dengan selisih waktu 1 detik dengan menggunakan program SAP2000 dan perhitungan RSNI T-03-2005 yaitu sebagai berikut:

#### 4.8.1.1 Cek Desain Balok Silang

- a. Cek Desain Balok Silang Profil WF 200x100x5,5x8  
Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum = 0,538 < 1 **OK**

- b. Cek Desain Balok Silang Profil WF 200x100X5,5X8  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

Gaya geser ultimit ( $V_u$ ) = 1.345,34 kg

Momen ultimit ( $M_u$ ) = -2.348,7 kg.m

##### Data material:

Baja BJ 37

$f_y$  = 240 MPa

G = 80.000 MPa

$f_u$  = 370 MPa

$E_s$  = 200.000 MPa

##### Data profil:

A = 27,2 cm<sup>2</sup>

$t_w$  = 5,5 mm

d = 200 mm

$Z_x$  = 200 cm<sup>3</sup>

$b_f$  = 100 mm

$Z_y$  = 41 cm<sup>3</sup>

h = 162 mm

$I_x$  = 1.840 cm<sup>4</sup>

$t_f$  = 8 mm

$I_y$  = 134 cm<sup>4</sup>

##### Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{162}{5,5} = 29,45$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 20 \times 0,55 \times 1 \\ &= 15.840 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 15.840 \\ &= 14.256 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 14.256 \text{ kg} > V_u = 1.345,34 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{100}{2 \times 8} = 6,25$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{162}{5,5} = 29,45$$

$$\lambda_p = \frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh:

$$L_P = 112,85 \text{ cm}$$

$$L_R = 377,12 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 112,85 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 200 \times 2.400 \\ &= 480.000 \text{ kg.cm} \\ &= 4.800 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 4.800 \text{ kg.m} \\ &= 4.320 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 4.320 \text{ k.gm} > M_u = 2.348,7 \text{ kg.m.... OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{2.348,7}{4.320} = 0,544$$

#### 4.8.1.2 Cek Desain Balok Memanjang

- a. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 400x200x8x13  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,233 < 1 \text{ OK}$$

- b. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 400x200x8x13  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser ultimit } (V_u) &= -3.960,76 \text{ kg} \\ \text{Momen ultimit } (M_u) &= -6.020,96 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$\begin{aligned} f_y &= 240 \text{ MPa} & G &= 80.000 \text{ MPa} \\ f_u &= 370 \text{ MPa} & E_s &= 200.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Data Profil:

$$\begin{aligned} A &= 84,12 \text{ cm}^2 & t_w &= 8 \text{ mm} \\ d &= 400 \text{ mm} & Z_x &= 1.286 \text{ cm}^3 \\ b_f &= 200 \text{ mm} & Z_y &= 266 \text{ cm}^3 \\ h &= 342 \text{ mm} & I_x &= 23.700 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$t_f = 13 \text{ mm} \quad I_y = 1.740 \text{ cm}^4$$

### Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 40 \times 0,8 \times 1 \\ &= 46.080 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 46.080 \\ &= 41.472 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 41.472 \text{ kg} > V_u = 3.960,76 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7,69$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$



$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 231,07 \text{ cm}$$

$$L_R = 687,09 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 231,07 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1.286 \times 2400 \\ &= 3.086.400 \text{ kg.cm} \\ &= 30.864 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 30.864 \\ &= 27.777,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 27.777,6 \text{ kg.m} > M_u = 6.020,96 \text{ kg.m} \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{6.020,96}{27.777,6} = 0,217$$

- c. Desain Balok Memanjang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,213 < 1 \text{ OK}$$

- d. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya geser ultimit } (V_u) = 2.400,41 \text{ kg}$$

$$\text{Momen ultimit } (M_u) = -3.502,79 \text{ kg.m}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil:

$$A = 63,14 \text{ cm}^2 \quad t_w = 7 \text{ mm}$$

$$d = 350 \text{ mm} \quad Z_x = 841 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 175 \text{ mm} \quad Z_y = 172 \text{ cm}^3$$

$$h = 300 \text{ mm} \quad I_x = 13600 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 11 \text{ mm} \quad I_y = 984 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 240 \times 35 \times 0,7 \times 1 \\ &= 35.280 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 35.280 \\ &= 31.752 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 31.752 \text{ kg} > V_u = 2.400,41 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7,95$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 200,57 \text{ cm}$$

$$L_R = 591,15 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 200,57 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 841 \times 2.400 \\ &= 2.018.400 \text{ kg.cm} \\ &= 20184 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 20184 \text{ kg.m} \\ &= 18165,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 18.165,6 \text{ kg.m} > M_u = 3.502,79 \text{ kg.m} \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{3.502,79}{18.165,6} = 0,193$$

#### 4.8.1.3 Cek Desain Balok Melintang

a. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum = 0,608 < 1 **OK**

b. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

Gaya geser ultimit ( $V_u$ ) = -21.176,05 kg

Momen ultimit ( $M_u$ ) = -47.626,11 kg.m

Data material :

Baja BJ 37

$f_y = 240$  MPa

$G = 80.000$  MPa

$f_u = 370$  MPa

$E_s = 200.000$  MPa

Data Profil:

$A = 218,7$  cm<sup>2</sup>       $t_w = 13$  mm

$d = 400$  mm       $Z_x = 3.600$  cm<sup>3</sup>

$b_f = 400$  mm       $Z_y = 1.695$  cm<sup>3</sup>

$h = 314$  mm       $I_x = 66.600$  cm<sup>4</sup>

$t_f = 21$  mm       $I_y = 22.400$  cm<sup>4</sup>

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 40 \times 1,3 \times 1 \\ &= 74.880 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 74.880 \\ &= 67.392 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 67.392 \text{ kg} > V_u = 21.176,05 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 514,19 \text{ cm}$$

$$L_R = 1902,73 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 514,19 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 3.600 \times 2.400 \\ &= 8.640.000 \text{ kg.cm} \\ &= 86.400 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 86.400 \text{ kg.m} \\ &= 77.760 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 77.760 \text{ k.gm} > M_u = 47.626,11 \text{ kg.m} \quad \text{OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{47.626,11}{77.760} = 0,612$$

- c. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,737 > 1 \quad \text{OK}$$

- d. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya geser ultimit } (V_u) = 5396,95 \text{ kg}$$

$$\text{Momen ultimit } (M_u) = 13.597,34 \text{ kg.m}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa} \qquad G = 80.000 \text{ MPa}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa} \qquad E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Data Profil:

$$A = 63,14 \text{ cm}^2 \qquad t_w = 7 \text{ mm}$$

$$d = 350 \text{ mm} \qquad Z_x = 841 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 175 \text{ mm} \qquad Z_y = 172 \text{ cm}^3$$

$$h = 300 \text{ mm} \qquad I_x = 13.600 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 11 \text{ mm} \qquad I_y = 984 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 35 \times 0,7 \times 1 \\ &= 35.280 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 35.280 \\ &= 31.752 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 31.752 \text{ kg} > V_u = 5396,95 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

Kontrol Kuat Lentur• *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7,95$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 200,57 \text{ cm}$$

$$L_R = 591,15 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 200,57 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 841 \times 2.400 \\ &= 2.018.400 \text{ kg.cm} \\ &= 20.184 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 20.184 \text{ kg.m} \\ &= 18.165,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 18.165,6 \text{ kg.m} < M_u = 13.597,34 \text{ kg.m. OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{13.597,34}{18.165,6} = 0,749$$

#### 4.8.1.4 Cek Desain Kolom Portal

a. Cek Desain Kolom Portal Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,816 < 1 \quad \text{OK}$$

b. Cek Desain Kolom Portal Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya aksial ultimit } (P_u) = -115.881,21 \text{ kg (Tekan)}$$

$$\text{Momen ultimit X } (M_{ux}) = 45.353,94 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momen ultimit Y } (M_{uy}) = -180,77 \text{ kg.m}$$



Data material :

Baja BJ 37

$f_y = 240 \text{ MPa}$

$G = 80.000 \text{ MPa}$

$f_u = 370 \text{ MPa}$

$E_s = 200.000 \text{ MPa}$

Data Profil :

$A = 218,7 \text{ cm}^2$

$i_x = 17,45 \text{ cm}$

$i_y = 10,12 \text{ cm}$

➤ Kontrol Aksial

$P_u = -115.881,21 \text{ kg (tekan)}$

$I_x \text{ rangka} = 66.600 \text{ cm}^4$

$I_x \text{ balok} = 66.600 \text{ cm}^4$

$L = 450 \text{ cm}$

$L_{\text{balok}} = 325 \text{ cm}$

$G_B = 10 \text{ (tumpuan sendi)}$

$$G_A = \frac{\sum (I_x / L)_{\text{rangka}}}{\sum (I_x / L)_{\text{balok}}} = \frac{66.000 / 450}{66.000 / 325} = 0,72$$

Dari nomogram diperoleh  $k_c = 0,83$ Kelangsingan Komponen Struktur

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

$L_k = k_c \times L$

$$\lambda_x = \frac{k_c \times L_k}{i_x} = \frac{0,83 \times 450}{17,45} = 21,4$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i_y} = \frac{0,83 \times 450}{10,12} = 36,91 \text{ (menentukan)}$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 2.000.000 \times 218,7}{21,4^2} = 9.426.510,97 \text{ kg}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \times 2.000.000 \times 218,7}{36,91^2} = 3.168.767,93 \text{ kg}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{36,91}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,407$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,407} \\ &= 1,08 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{218,7 \times 2.400}{1,08} \\ &= 486.000 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 486.000 \\ &= 437.400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 437.400 \text{ kg} > P_u = 115.881,21 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{115.881,21}{467.714,85} = 0,248 > 0,2$$

➤ **Kontrol momen**

**Momen Arah X**

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \beta_m \\ &= 0,6 - 0,4 \left( \frac{30.690,33}{45.353,94} \right) \\ &= 0,33 < 1 \end{aligned}$$

$$\delta_{bx} = \frac{c_m}{1 - \left( \frac{N_u}{N_{crbx}} \right)} = \frac{0,33}{1 - \left( \frac{115.881,21}{9.426.510,97} \right)} = 0,33 < 1$$

Dipakai  $\delta_{bx} = 1$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_{bx} \times M_{nx} \\ &= 1 \times 45353,94 \\ &= 45353,94 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \times f_y \\ &= 3.600 \times 2.400 \\ &= 8.640.000 \text{ kg.cm} \\ &= 86.400 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

**Momen Arah Y**

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \beta_m \\ &= 0,6 - 0,4 \left( \frac{137,91}{180,77} \right) \\ &= 0,29 < 1 \end{aligned}$$

$$\delta_{by} = \frac{c_m}{1 - \left( \frac{N_u}{N_{crby}} \right)} = \frac{0,29}{1 - \left( \frac{115.881,21}{3.168.767,93} \right)} = 0,3 < 1$$

Dipakai  $\delta_{by} = 1$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_{by} \times M_{ny} \\ &= 1 \times 180,77 \\ &= 180,77 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= Z_y \times f_y \\
 &= 1.695 \times 2.400 \\
 &= 4.068.000 \text{ kg.cm} \\
 &= 40.680 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} = \frac{45.353,94}{0,9 \times 86.400} + \frac{180,77}{0,9 \times 40.680} = 0,588$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio aksial momen} &= \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \\
 &= 0,248 + \frac{8}{9} (0,588) \leq 1 \\
 &= 0,771 < 1 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

#### 4.8.1.5 Cek Desain Rangka

a. Cek Desain Rangka Profil WF 250x250x9x14 Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,2 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

b. Cek Desain Rangka Profil WF 250x250x9x14 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya aksial ultimit } (P_u) = -29.093,22 \text{ kg (Tekan)}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

$$G = 800.00 \text{ MPa}$$

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

Data Profil :

$$A = 92,18 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 10,82 \text{ cm}$$

$$i_y = 6,29 \text{ cm}$$

➤ **Kontrol Batang Tekan**

Gaya dalam yang menentukan :

$$P_u = -29.093,22 \text{ kg (tekan)}$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

Kelangsingan Komponen Struktur

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

$L_k = k_c \times L$  dimana  $k_c = 1$  (untuk rangka batang)

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i} = \frac{1 \times 450}{6,29} = 71,54$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{71,54}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,79$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,79} \\ &= 1,34 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{92,18 \times 2.400}{1,34} \\ &= 296.450,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 296.450,88 \\ &= 266.805,79 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 266.805,79 \text{ kg} > P_u = 29.093,22 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{29.093,22}{266.805,79} = 0,11$$

- c. Cek Desain Rangka Profil WF 200x200x9x14 Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum  $0,36 < 1$       **OK**

- d. Cek Desain Rangka Profil WF 200x200x8x12 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = -14.322,11 kg (Tekan)

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = 47.897,21 kg (Tarik)

Data material :

Baja BJ 37

$f_y = 240$  MPa

$G = 80.000$  MPa

$f_u = 370$  MPa

$E_s = 200.000$  MPa

Data Profil :

$A = 53,53$  cm<sup>2</sup>

$i_x = 8,62$  cm

$i_y = 5,02$  cm

➤ **Kontrol Batang Tekan**

Gaya dalam yang menentukan :

$P_u = -14.322,11$  kg (tekan)

$L = 450$  cm

Kelangsingan Komponen Struktur

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

$L_k = k_c \times L$  dimana  $k_c = 1$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i} = \frac{1 \times 450}{5,02} = 89,64$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{89,64}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,99$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,99} \\ &= 1,53 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{53,53 \times 2.400}{1,53} \\ &= 83.968,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 83.968,63 \\ &= 75.571.767 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 75.571.767 \text{ kg} > P_u = 14.322,11 \text{ kg OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{14.322,11}{75.571.767} = 0,190$$

➤ **Kontrol Batang Tarik**

$$P_u = 47.897,21 \text{ kg (tarik)}$$

Batas Leleh

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 53,53 \times 2.400 \\ &= 115.624,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Batas Putus

$$\begin{aligned}
 A_n &= 0,85 \times A_g \\
 &= 0,85 \times 53,53 \\
 &= 45,5 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= U \times A_n \\
 &= 0,85 \times 45,5 \\
 &= 40,95 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\
 &= 0,75 \times 40,95 \times 3.700 \\
 &= 113.636,25 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 113.636,25 \text{ kg} > P_u = 47.897,21 \text{ kg} \dots \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{47.897,21}{113.636,25} = 0,421$$

Hasil cek desain struktur JPO menggunakan SAP2000 dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.



**Tabel 4.9** Cek Desain Struktur Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan

Elemen Struktur	Beban statis dan beban dinamis lambat	Beban statis dan beban dinamis normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 200x100x5,5x8	0,538	0,534
Balok memanjang WF 400x200x8x13	0,233	0,233
Balok memanjang WF 350x175x7x11	0,213	0,213
Balok melintang WF 400x400x13x21	0,608	0,608
Balok melintang WF 350x175x7x11	0,737	0,736
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,816	0,816
Rangka WF 250x250x9x14	0,2	0,2
Rangka WF 200x200x8x12	0,36	0,36

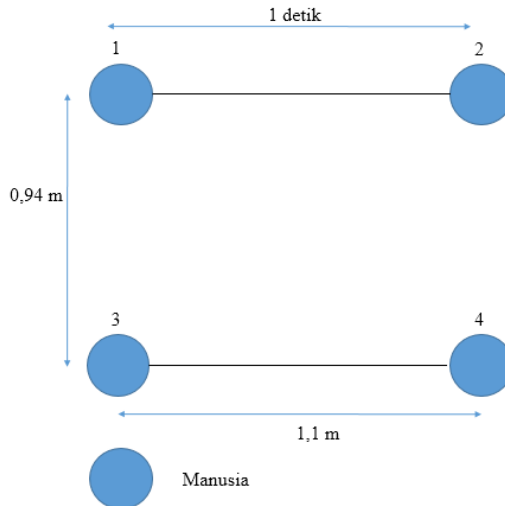
Dari tabel di atas diperoleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban hidup sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

#### 4.8.2 Cek Desain Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan

Cek desain ini mengasumsikan beban pertokoan tidak ada dan JPO hanya digunakan sebagai fasilitas penyeberangan orang saja. Beban dinamis berupa beban manusia berjalan lambat dan berjalan normal yang dimodelkan berjalan pada 7 lintasan (**Gambar 4.19**). Beban dinamis yang digunakan berupa beban dinamis manusia berjalan lambat dengan kecepatan 1,1 m/s dan beban dinamis manusia berjalan normal dengan kecepatan 1,5 m/s. Pergerakan yang digunakan adalah tiap 1 detik. Sehingga diperoleh jarak antar manusia dengan manusia di depannya yaitu sebagai berikut:

- $1,1 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} = 1,1 \text{ m}$  (berjalan lambat)
- $1,5 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} = 1,5 \text{ m}$  (berjalan normal)

Analisa yang digunakan berdasarkan pada kondisi JPO dipenuhi oleh manusia sehingga untuk mengetahui besarnya beban tiap  $\text{m}^2$  dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



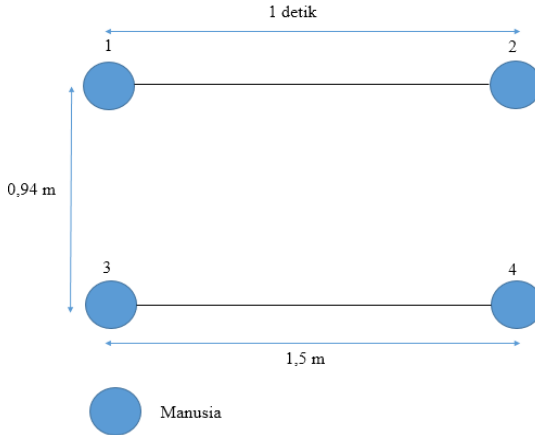
**Gambar 4.24** Sketsa Beban Manusia Berjalan Lambat dengan Selisih Waktu 1 Detik

Luas =  $0,94 \times 1,1 = 1,034 \text{ m}^2$

Jumlah manusia dalam  $1,034 \text{ m}^2 = 4$

Beban 1 manusia =  $80 \text{ kg}/2 = 40 \text{ kg}$

Sehingga dalam  $1 \text{ m}^2$  beban manusia sebesar  $= \frac{4 \times 40}{1,034} = 155 \text{ kg/m}^2$



**Gambar 4.25** Sketsa Beban Manusia Berjalan Normal dengan Selisih Waktu 1 Detik

Luas =  $0,94 \times 1,5 = 1,41 \text{ m}^2$

Jumlah manusia dalam  $1,41 \text{ m}^2 = 4$

Beban 1 manusia =  $80 \text{ kg}/2 = 40 \text{ kg}$

Sehingga dalam  $1 \text{ m}^2$  beban manusia sebesar  $= \frac{4 \times 40}{1,41} = 114 \text{ kg/m}^2$

Adapun cek desain JPO akibat beban dinamis berjalan lambat dengan selisih waktu 1 detik dengan menggunakan program SAP2000 dan perhitungan RSNI T-03-2005 yaitu sebagai berikut:

#### 4.8.2.1 Cek Desain Balok Silang

- a. Cek Desain Balok Silang Profil WF 200x100x5,5x8 Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum =  $0,391 < 1$  **OK**

b. Cek Desain Balok Silang Profil WF 200x100X5,5X8  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser ultimit } (V_u) &= -953,18 \text{ kg} \\ \text{Momen ultimit } (M_u) &= -1.647,77 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Data material:

Baja BJ 37

$$\begin{aligned} f_y &= 240 \text{ MPa} & G &= 80.000 \text{ MPa} \\ f_u &= 370 \text{ MPa} & E_s &= 200.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Data profil:

$$\begin{aligned} A &= 27,2 \text{ cm}^2 & t_w &= 5,5 \text{ mm} \\ d &= 200 \text{ mm} & Z_x &= 200 \text{ cm}^3 \\ b_f &= 100 \text{ mm} & Z_y &= 41 \text{ cm}^3 \\ h &= 162 \text{ mm} & I_x &= 1.840 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 8 \text{ mm} & I_y &= 134 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{162}{5,5} = 29,45$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 20 \times 0,55 \times 1 \\ &= 15.840 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 15.840 \\ &= 14.256 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 14.256 \text{ kg} > V_u = 953,18 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{100}{2 \times 8} = 6,25$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{162}{5,5} = 29,45$$

$$\lambda_p = \frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh:

$$L_P = 112,85 \text{ cm}$$

$$L_R = 377,12 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 112,85 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 200 \times 2.400 \\ &= 480.000 \text{ kg.cm} \\ &= 4.800 \text{ kg.m} \\ \phi M_n &= 0,9 \times 4.800 \text{ kg.m} \\ &= 4.320 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 4.320 \text{ k. gm} > M_u = 1.647,77 \text{ kg. m.... OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{1.647,77}{4.320} = 0,381$$

#### 4.8.2.2 Cek Desain Balok Memanjang

- a. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 400x200x8x13  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,164 < 1 \quad \text{OK}$$

- b. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 400x200x8x13  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh :

$$\text{Gaya geser ultimit } (V_u) = -2.659,35 \text{ kg}$$

$$\text{Momen ultimit } (M_u) = -4.362,77 \text{ kg.m}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa} \quad G = 80.000 \text{ MPa}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa} \quad E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Data Profil:

$$A = 84,12 \text{ cm}^2 \quad t_w = 8 \text{ mm}$$

$$d = 400 \text{ mm} \quad Z_x = 1.286 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 200 \text{ mm} \quad Z_y = 266 \text{ cm}^3$$

$$h = 342 \text{ mm} \quad I_x = 23.700 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 13 \text{ mm} \quad I_y = 1.740 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 40 \times 0,8 \times 1 \\ &= 46.080 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 46.080 \\ &= 41.472 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 41.472 \text{ kg} > V_u = 2.659,35 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7,69$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{8} = 42,75$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 231,07 \text{ cm}$$

$$L_R = 687,09 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 231,07 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1.286 \times 2400 \\ &= 3.086.400 \text{ kg.cm} \\ &= 30.864 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 30.864 \\ &= 27.777,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 27.777,6 \text{ kg.m} > M_u = 4.362,77 \text{ kg.m} \quad \text{OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{4.362,77}{27.777,6} = 0,157$$

- c. Desain Balok Memanjang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,148 < 1 \quad \text{OK}$$

- d. Cek Desain Balok Memanjang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser ultimit } (V_u) &= 1.742,18 \text{ kg} \\ \text{Momen ultimit } (M_u) &= -2.435,61 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$\begin{aligned} f_y &= 240 \text{ MPa} & G &= 80.000 \text{ MPa} \\ f_u &= 370 \text{ MPa} & E_s &= 200.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Data Profil:

$$\begin{aligned} A &= 63,14 \text{ cm}^2 & t_w &= 7 \text{ mm} \\ d &= 350 \text{ mm} & Z_x &= 841 \text{ cm}^3 \\ b_f &= 175 \text{ mm} & Z_y &= 172 \text{ cm}^3 \\ h &= 300 \text{ mm} & I_x &= 13600 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$



$$t_f = 11 \text{ mm} \quad I_y = 984 \text{ cm}^4$$

### Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 35 \times 0,7 \times 1 \\ &= 35.280 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 35.280 \\ &= 31.752 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 31.752 \text{ kg} > V_u = 1.742,18 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7,95$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 200,57 \text{ cm}$$

$$L_R = 591,15 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 200,57 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 841 \times 2.400 \\ &= 2.018.400 \text{ kg.cm} \\ &= 20184 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 20184 \text{ kg.m} \\ &= 18165,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 18.165,6 \text{ kg.m} > M_u = 2.435,61 \text{ kg.m} \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{2.435,61}{18.165,6} = 0,134$$

#### 4.8.2.3 Cek Desain Balok Melintang

a. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,591 < 1 \quad \text{OK}$$

b. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan RSNi T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya geser ultimit } (V_u) = 20.817,05 \text{ kg}$$

$$\text{Momen ultimit } (M_u) = -46.400,18 \text{ kg.m}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil:

$$A = 218,7 \text{ cm}^2 \quad t_w = 13 \text{ mm}$$

$$d = 400 \text{ mm} \quad Z_x = 3.600 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 400 \text{ mm} \quad Z_y = 1.695 \text{ cm}^3$$

$$h = 314 \text{ mm} \quad I_x = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 21 \text{ mm} \quad I_y = 22.400 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 240 \times 40 \times 13 \times 1 \\ &= 74.880 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 74.880 \\ &= 67.392 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 67.392 \text{ kg} > V_u = 20.817,05 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52$$

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

Badan

$$\frac{h}{tw} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 514,19 \text{ cm}$$

$$L_R = 1902,73 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 514,19 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 3.600 \times 2.400 \\ &= 8.640.000 \text{ kg.cm} \\ &= 86.400 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 86.400 \text{ kg.m} \\ &= 77.760 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 77.760 \text{ k.gm} > M_u = 46.400,18 \text{ kg.m} \quad \text{OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{46.400,18}{77.760} = 0,597$$

- c. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,503 > 1 \quad \mathbf{OK}$$

- d. Cek Desain Balok Melintang Profil WF 350x175x7x11  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya geser ultimit } (V_u) = -3.558,31 \text{ kg}$$

$$\text{Momen ultimit } (M_u) = 9.289,39 \text{ kg.m}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa} \qquad G = 80.000 \text{ MPa}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa} \qquad E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Data Profil:

$$A = 63,14 \text{ cm}^2 \qquad t_w = 7 \text{ mm}$$

$$d = 350 \text{ mm} \qquad Z_x = 841 \text{ cm}^3$$

$$b_f = 175 \text{ mm} \qquad Z_y = 172 \text{ cm}^3$$

$$h = 300 \text{ mm} \qquad I_x = 13.600 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 11 \text{ mm} \qquad I_y = 984 \text{ cm}^4$$

Kontrol Kuat Geser

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200.000}{2400}} = 64,66$$

$$\frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

maka kuat geser nominal balok :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times d \times t_w \times C_v \\ &= 0,6 \times 2.400 \times 35 \times 0,7 \times 1 \\ &= 35.280 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times V_n \\ &= 0,9 \times 35.280 \\ &= 31.752 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 31.752 \text{ kg} > V_u = 3.558,31 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

### Kontrol Kuat Lentur

- *Local Buckling*

Sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 \times 11} = 7,95$$

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

Badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86$$

$$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1.680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\frac{b_f}{2t_f} < \lambda_p \text{ dan } \frac{h}{t_w} < \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

- *Lateral Buckling*

Dipasang *Shear Connector* sejarak 40 cm

$$L_B = 40 \text{ cm}$$

Dari tabel profil baja diperoleh :

$$L_P = 200,57 \text{ cm}$$

$$L_R = 591,15 \text{ cm}$$

Karena  $L_B = 40 \text{ cm} < L_P = 200,57 \text{ cm}$  (Bentang Pendek)

Untuk penampang kompak dan bentang pendek momen nominal penampang berupa momen plastis

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 841 \times 2.400 \\ &= 2.018.400 \text{ kg.cm} \\ &= 20.184 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 20.184 \text{ kg.m} \\ &= 18.165,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 18.165,6 \text{ kg.m} < M_u = 9.289,39 \text{ kg.m. OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{9.289,39}{18.165,6} = 0,511$$

#### 4.8.2.4 Cek Desain Kolom Portal

- a. Cek Desain Kolom Portal Profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,756 < 1 \quad \text{OK}$$

- b. Cek Desain Kolom Portal profil WF 400x400x13x21  
Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Gaya aksial ultimit } (P_u) &= -93.887,81 \text{ kg (Tekan)} \\ \text{Momen ultimit X } (M_{ux}) &= -45.246,76 \text{ kg.m} \\ \text{Momen ultimit Y } (M_{uy}) &= -172,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$\begin{aligned} f_y = 240 \text{ MPa} & \quad G = 80.000 \text{ MPa} \\ f_u = 370 \text{ MPa} & \quad E_s = 200.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Data Profil :

$$\begin{aligned} A &= 218,7 \text{ cm}^2 \\ i_x &= 17,45 \text{ cm} \\ i_y &= 10,12 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ **Kontrol Aksial**

$$P_u = -93.887,81 \text{ kg (tekan)}$$

$$I_x \text{ rangka} = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$I_x \text{ balok} = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

$$L_{\text{balok}} = 325 \text{ cm}$$

$$G_B = 10 \text{ (tumpuan sendi)}$$

$$G_A = \frac{\sum (I_x/L)_{\text{rangka}}}{\sum (I_x/L)_{\text{balok}}} = \frac{66.000/450}{66.000/325} = 0,72$$

Dari nomogram diperoleh  $k_c = 0,83$

**Kelangsingan Komponen Struktur**

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

$$L_k = k_c \times L$$

$$\lambda_x = \frac{k_c \times L_k}{i_x} = \frac{0,83 \times 450}{17,45} = 21,4$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i_y} = \frac{0,83 \times 450}{10,12} = 36,91 \text{ (menentukan)}$$

$$N_{crbx} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 2.000.000 \times 218,7}{21,4^2} = 9.426.510,97 \text{ kg}$$

$$N_{crby} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \times 2.000.000 \times 218,7}{36,91^2} = 3.168.767,93 \text{ kg}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{36,91}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,407$$

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

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

$$= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,407}$$



$$= 1,08$$

Kuat tekan nominal :

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

$$= \frac{218,7 \times 2.400}{1,08}$$

$$= 486.000 \text{ kg}$$

Kuat tekan rencana :

$$\phi P_n = 0,9 \times 486.000$$

$$= 437.400 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 437.400 \text{ kg} > P_u = 93.887,81 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{93.887,81}{467.714,85} = 0,201 > 0,2$$

### ➤ Kontrol momen

**Momen Arah X**

$$C_m = 0,6 - 0,4 \beta_m$$

$$= 0,6 - 0,4 \left( \frac{30.597,31}{45.246,76} \right)$$

$$= 0,33 < 1$$

$$\delta_{bx} = \frac{C_m}{1 - \left( \frac{N_u}{N_{crbx}} \right)} = \frac{0,33}{1 - \left( \frac{93.887,81}{9.426.510,97} \right)} = 0,33 < 1$$

Dipakai  $\delta_{bx} = 1$

$$M_{ux} = \delta_{bx} \times M_{ntx}$$

$$= 1 \times 45.246,76$$

$$= 45.246,76 \text{ kg.m}$$

$$M_{nx} = Z_x \times f_y$$

$$= 3.600 \times 2.400$$

$$= 8.640.000 \text{ kg.cm}$$

$$= 86.400 \text{ kg.m}$$

### Momen Arah Y

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \beta_m \\ &= 0,6 - 0,4 \left( \frac{136,98}{172,8} \right) \\ &= 0,28 < 1 \end{aligned}$$

$$\delta_{by} = \frac{c_m}{1 - \left( \frac{N_u}{N_{crby}} \right)} = \frac{0,28}{1 - \left( \frac{93.887,81}{3.168.767,93} \right)} = 0,29 < 1$$

Dipakai  $\delta_{by} = 1$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_{by} \times M_{nty} \\ &= 1 \times 172,8 \\ &= 172,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_y \times f_y \\ &= 1.695 \times 2.400 \\ &= 4.068.000 \text{ kg.cm} \\ &= 40.680 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} = \frac{45.246,76}{0,9 \times 86.400} + \frac{172,8}{0,9 \times 40.680} = 0,587$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio aksial momen} &= \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \\ &= 0,201 + \frac{8}{9} (0,587) \leq 1 \\ &= 0,723 < 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

#### 4.8.2.5 Cek Desain Rangka

a. Cek Desain Rangka Profil WF 250x250x9x14 Menggunakan SAP2000

$$\text{Rasio PMM maksimum} = 0,076 < 1$$

**OK**

- b. Cek Desain Rangka Profil WF 250x250x9x14 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

$$\text{Gaya aksial ultimit } (P_u) = -22.033,53 \text{ kg (Tekan)}$$

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$G = 800.00 \text{ MPa}$$

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

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

Data Profil :

$$A = 92,18 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 10,82 \text{ cm}$$

$$i_y = 6,29 \text{ cm}$$

### ➤ Kontrol Batang Tekan

Gaya dalam yang menentukan :

$$P_u = -22.033,53 \text{ kg (tekan)}$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

Kelangsingan Komponen Struktur

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

$L_k = k_c \times L$  dimana  $k_c = 1$  (untuk rangka batang)

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i} = \frac{1 \times 450}{6,29} = 71,54$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{71,54}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,79$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,79} \\ &= 1,34 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

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

$$= \frac{92,18 \times 2.400}{1,34}$$

$$= 296.450,88 \text{ kg}$$

Kuat tekan rencana :

$$\phi P_n = 0,9 \times 296.450,88$$

$$= 266.805.79 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 266.805.79 \text{ kg} > P_u = 22.033,53 \text{ kg} \quad \text{OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{22.033,53}{266.805.79} = 0,083$$

- c. Cek Desain Rangka Profil WF 200x200x9x14 Menggunakan SAP2000

Rasio PMM maksimum  $0,263 < 1$     **OK**

- d. Cek Desain Rangka Profil WF 200x200x8x12 Menggunakan RSNI T-03-2005

Dari SAP diperoleh:

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = -11.435,84 kg (Tekan)

Gaya aksial ultimit ( $P_u$ ) = 34.675,77 kg (Tarik)

Data material :

Baja BJ 37

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

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

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

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

Data Profil :

$$A = 53,53 \text{ cm}^2$$

$$i_x = 8,62 \text{ cm}$$

$$i_y = 5,02 \text{ cm}$$

➤ **Kontrol Batang Tekan**

Gaya dalam yang menentukan :

$$P_u = -11.435,84 \text{ kg (tekan)}$$

$$L = 450 \text{ cm}$$

Kelangsingan Komponen Struktur

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

$$L_k = k_c \times L \text{ dimana } k_c = 1$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{k_c \times L_k}{i} = \frac{1 \times 450}{5,02} = 89,64$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{89,64}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0,99$$

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

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,99} \\ &= 1,53 \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_g \times f_y}{\omega} \\ &= \frac{53,53 \times 2.400}{1,53} \\ &= 83.968,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tekan rencana :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 83.968,63 \\ &= 75.571.767 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 75.571.767 \text{ kg} > P_u = 11.435,84 \text{ kg OK!!}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{11.435,84}{75.571.767} = 0,151$$

➤ **Kontrol Batang Tarik**

$$P_u = 34.675,77 \text{ kg (tarik)}$$

**Batas Leleh**

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 53,53 \times 2.400 \\ &= 115.624,8 \text{ kg}\end{aligned}$$

**Batas Putus**

$$\begin{aligned}A_n &= 0,85 \times A_g \\ &= 0,85 \times 53,53 \\ &= 45,5 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_e &= U \times A_n \\ &= 0,85 \times 45,5 \\ &= 40,95 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 40,95 \times 3.700 \\ &= 113.636,25 \text{ kg (menentukan)}\end{aligned}$$

$$\phi P_n = 113.636,25 \text{ kg} > P_u = 34.675,77 \text{ kg} \dots \text{ OK}$$

$$\text{Rasio} = \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{34.675,77}{113.636,25} = 0,305$$

Hasil cek desain struktur JPO menggunakan SAP2000 dapat dilihat pada **Tabel 4.10** di bawah ini.

**Tabel 4.10** Cek Desain Struktur Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan

Elemen Struktur	Beban dinamis manusia berjalan lambat	Beban dinamis manusia berjalan normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF200x100x5,5x8	0,391	0,391
Balok memanjang WF 400x200x8x13	0,164	0,164
Balok memanjang WF 350x175x7x11	0,148	0,148
Balok melintang WF400x400x13x21	0,591	0,591
Balok melintang WF 350x175x7x11	0,503	0,503
Kolom portal WF400x400x13x21	0,756	0,756
Rangka WF 250x250x9x14	0,076	0,076
Rangka WF 200x200x8x12	0,263	0,263

Dari tabel di atas diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

#### 4.9 Displacement JPO

$$\text{Displacement Ijin} = \frac{L}{1000} = \frac{2100}{1000} = 21 \text{ cm}$$

**Tabel 4.11** Kontrol *Displacement* Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan

Pergerakan manusia	<i>Displacement</i> t (cm)	<i>Displacement</i> ijin (cm)	Ket
Berjalan lambat	1,856	21	Ok
Berjalan normal	1,856		Ok

Dari tabel di atas diperoleh *displacement* akibat berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban manusia berjalan lambat maupun berjalan normal kurang dari *displacement* ijin.

**Tabel 4.12** Kontrol *Displacement* Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan

Pergerakan manusia	<i>Displacement</i> t (cm)	<i>Displacement</i> ijin (cm)	Ket
Berjalan lambat	1,378	21	Ok
Berjalan normal	1,378		Ok

Dari tabel di atas diperoleh *displacement* akibat berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban manusia berjalan lambat maupun berjalan normal kurang dari *displacement* ijin.



## 4.10 Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan

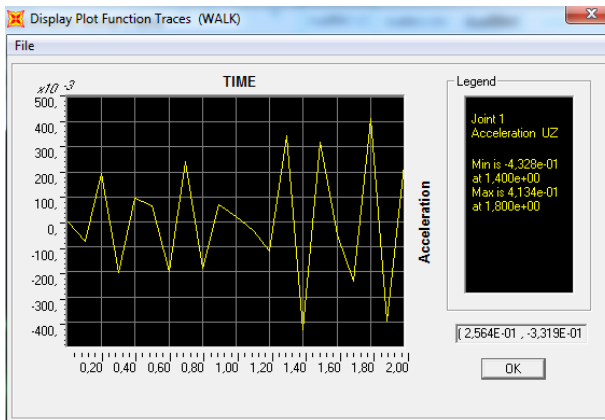
### 4.10.1 Akselerasi Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan

Dari SAP2000 diperoleh nilai akselerasi maksimum sebagai berikut:

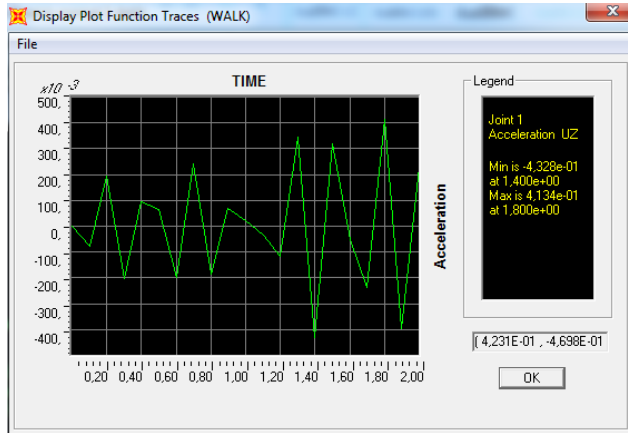
**Tabel 4.13** Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan

Pergerakan	Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	Akselerasi Maksimum (m/s <sup>2</sup> )	Keterangan
Berjalan lambat	-0,433	0,706	Memenuhi
Berjalan normal	-0,433		Memenuhi

Syarat akselerasi maksimum =  $0,5 \times \sqrt{f_0} = 0,5 \times \sqrt{1,991} = 0,706$  m/s<sup>2</sup>. Dari tabel di atas diperoleh hasil akselerasi yang terjadi pada struktur masih lebih kecil dari akselerasi maksimumnya. Hal ini menunjukkan bahwa JPO masih nyaman digunakan untuk aktivitas berjalan.



**Gambar 4.26** Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Lambat



**Gambar 4.27** Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Normal

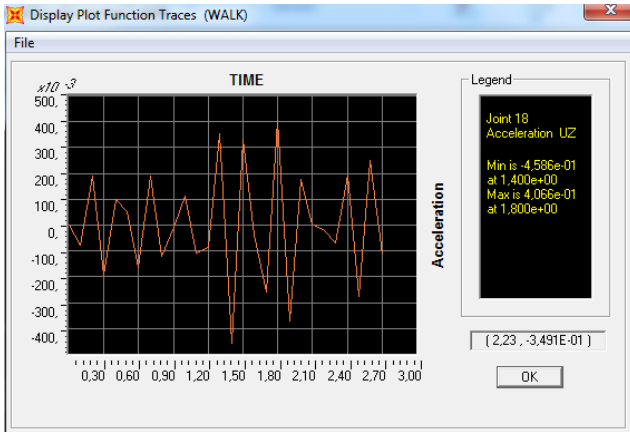
#### 4.10.2 Akselerasi Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan

Dari SAP2000 diperoleh nilai akselerasi maksimum sebagai berikut:

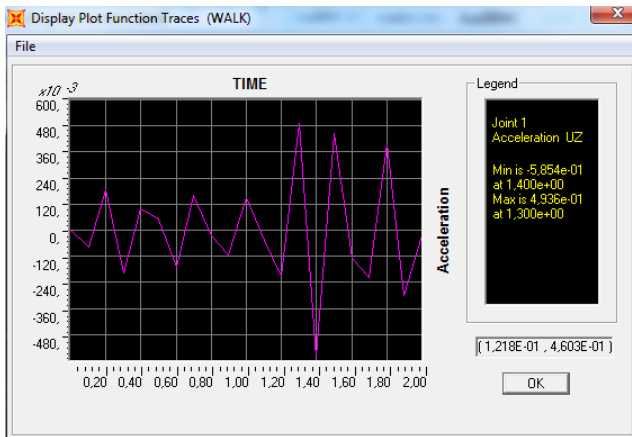
**Tabel 4.14** Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan

Pergerakan	Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	Akselerasi Maksimum (m/s <sup>2</sup> )	Keterangan
Berjalan lambat	-0,585	0,706	Memenuhi
Berjalan normal	-0,459		Memenuhi

Syarat akselerasi maksimum =  $0,5 \times \sqrt{f_0} = 0,5 \times \sqrt{1,991} = 0,706$  m/s<sup>2</sup>. Dari tabel di atas diperoleh hasil akselerasi yang terjadi pada struktur masih lebih kecil dari akselerasi maksimumnya. Hal ini menunjukkan bahwa JPO masih nyaman digunakan untuk aktivitas berjalan.



**Gambar 4.28** Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Lambat



**Gambar 4.29** Akselerasi Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan Normal

#### 4.11 Optimasi Elemen Struktur JPO

Optimasi ini bertujuan untuk mendapatkan profil yang optimal dalam merencanakan struktur JPO akibat beban dinamis manusia berjalan. Perencanaan dikatakan optimal apabila :

$$\frac{\text{Beban ultimate yang terjadi}}{\text{Beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja}} \leq 1$$

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengoptimalan struktur JPO akibat beban dinamis manusia berjalan dengan rasio mendekati atau sama dengan 1, yaitu dengan mengubah dimensi profil eksisting dengan dimensi yang lebih kecil. Optimasi ini selesai sampai di peroleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) lebih dari 1.

##### 4.11.1 Optimasi Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan

Optimasi ini dilakukan berdasarkan kondisi riil di lapangan, dimana JPO terdapat beban hidup pertokoan 250 kg/m<sup>2</sup> selebar 4,25 m dan beban dinamis manusia berjalan selebar 2,25 m.

###### 1. Alternatif 1

**Tabel 4.15** Profil Baja pada Alternatif 1

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 1
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 150x75x5x7
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 350x175x7x11 WF 300x150x6,5x9
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 400x400x13x21 WF 300x150x6,5x9
Kolom Portal	WF 400x400x13x21	WF 350x350x12x19
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 200x200x8x12 WF 175x175x7,5x11

**Tabel 4.16** Cek Desain Alternatif 1 Akibat Beban Hidup Statis  $250 \text{ kg/m}^2$  dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan

Elemen Struktur	Beban statis dan beban dinamis lambat	Beban statis dan beban dinamis normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 150x75x5x7	0,539	0,535
Balok memanjang WF 350x175x7x11	0,261	0,261
Balok memanjang WF 300x150x6,5x9	0,248	0,248
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,807	0,807
Balok melintang WF 300x150x6,5x9	0,909	0,909
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,864	0,863
Rangka WF 200x200x8x12	0,32	0,32
Rangka WF175x175x7,5x11	0,458	0,458

Dari tabel di atas diperoleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban hidup statis sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$  dan beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

## 2. Alternatif 2

**Tabel 4.17** Profil Baja pada Alternatif 2

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 2
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 300x150x6,5x9 WF 250x125x6x9
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 250x125x6x9
Kolom portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 175x175x7,5x11 WF 150x150x7x10

**Tabel 4.18** Cek Desain Alternatif 2 Akibat Beban Hidup Statis  $250 \text{ kg/m}^2$  dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan

Elemen Struktur	Beban statis dan beban dinamis lambat	Beban statis dan beban dinamis normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 125x60x6x8	0,521	0,516
Balok memanjang WF 300x150x6,5x9	0,291	0,291
Balok memanjang WF 250x125x6x9	0,276	0,276
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,802	0,802
Balok melintang WF 250x125x6x9	0,928	0,928
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,901	0,901
Rangka WF 175x175x7,5x11	0,45	0,45
Rangka WF 150x150x7x10	0,586	0,586

Dari tabel di atas diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban hidup sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$  dan beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

## 3. Alternatif 3

**Tabel 4.19** Profil Baja pada Alternatif 3

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 3
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 250x125x6x9 WF 200x100x5,5x8
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 200x100x5,5x8
Kolom portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 150x150x7x10 WF 125x125x6,5x9



**Tabel 4.20** Cek Desain Alternatif 3 Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan

Elemen Struktur	Beban statis dan beban dinamis lambat	Beban statis dan beban dinamis normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 125x60x6x8	0,584	0,578
Balok memanjang WF 250x125x6x9	0,315	0,314
Balok memanjang WF 200x100x5,5x8	0,312	0,312
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,797	0,797
Balok melintang WF 200x100x5,5x8	0,956	0,956
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,975	0,974
Rangka WF 150x150x7x10	0,694	0,693
Rangka WF 125x125x6,5x9	0,771	0,771

Dari tabel di atas diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban hidup sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

## 4. Alternatif 4

**Tabel 4.21** Profil Baja pada Alternatif 4

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 4
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 200x100x5,5x8 WF 150x75x5x7
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 200x100x5,5x8
Kolom portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 150x150x7x10 WF 125x125x6,5x9

**Tabel 4.22** Cek Desain Alternatif 4 Akibat Beban Hidup Statis  $250 \text{ kg/m}^2$  dan Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 3 Lintasan

Elemen Struktur	Beban statis dan beban dinamis lambat	Beban statis dan beban dinamis normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 125x60x6x8	0,590	0,584
Balok memanjang WF 200x100x5,5x8	0,323	0,323
Balok memanjang WF 150x75x5x7	0,351	0,351
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,797	0,797
Balok melintang WF 200x100x5,5x8	0,958	0,958
Kolom portal WF 400x400x13x21	1,254	1,253
Rangka WF 150x150x7x10	0,701	0,701
Rangka WF 125x125x6,5x9	0,779	0,778

Dari komposisi dimensi profil yang digunakan pada alternatif 4 menyebabkan rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) untuk kolom portal WF 400x400x13x21 lebih dari 1, artinya struktur tersebut tidak mampu menerima beban hidup sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$  dan beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal. Dengan demikian komposisi dimensi profil pada alternatif 4 tersebut tidak dapat digunakan dan optimasi ini berakhir pada alternatif 3.

**Tabel 4.23** Kontrol *Displacement* Akibat Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia Berjalan

Alternatif Ke-	Pergerakan manusia	<i>Displacement</i> (cm)	<i>Displacement</i> ijin (cm)
1	Berjalan lambat	2,551	21
	Berjalan normal	2,551	
2	Berjalan lambat	3,219	
	Berjalan normal	3,219	
3	Berjalan lambat	3,985	
	Berjalan normal	3,985	

Dari tabel di atas diperoleh *displacement* akibat berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban manusia berjalan lambat maupun berjalan normal kurang dari *displacement* ijin.

$$Displacement\ Ijin = \frac{L}{1000} = \frac{2100}{1000} = 21\text{ cm}$$

**Tabel 4.24** Cek Frekuensi Alami Mode 1

Alternatif ke-	Frekuensi Alami (Hz)	Bentuk Getaran	Syarat	Keterangan
1	1,845	Horizontal	1,5	Memenuhi
2	1,866	Horizontal		Memenuhi
3	1,889	Horizontal		Memenuhi

Dari tabel di atas diperoleh nilai frekuensi alami pada mode 1 > 1,5 artinya struktur memenuhi persyaratan *service* getaran pada jembatan (syarat : frekuensi alami struktur yang mengalami getaran horizontal harus memenuhi persyaratan *service* > 1,5 Hz).

**Tabel 4.25** Perbandingan Frekuensi Dinamis 3 Lintasan dan Frekuensi Alami

Alternatif Ke-	Pergerakan	Frekuensi dinamis (Hz)	Frekuensi alami (Hz)	$\frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}}$
1	Berjalan Lambat	0,0317	1,845	0,017
	Berjalan normal	0,0319		0,017
2	Berjalan lambat	0,0446	1,866	0,024
	Berjalan normal	0,0468		0,025
3	Berjalan lambat	0,0605	1,889	0,032
	Berjalan normal	0,0686		0,036

Dari hasil perbandingan frekuensi akibat beban dinamis manusia dengan frekuensi alami dari struktur JPO di atas kemudian di cek ke dalam **Persamaan 3.1**.

$$\frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}} < 0,5 \text{ atau } \frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}} > 2$$

Diperoleh hasil  $< 0,5$  yang menunjukkan bahwa struktur JPO tersebut tidak mengalami resonansi.

**Tabel 4.26** Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan

Alternatif Ke-	Pergerakan	Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	Akselerasi Maks (m/s <sup>2</sup> )
1	Berjalan lambat	-0,614	0,679
	Berjalan normal	0,546	
2	Berjalan lambat	0,626	0,683
	Berjalan normal	-0,475	
3	Berjalan lambat	-0,646	0,687
	Berjalan normal	-0,418	

Syarat akselerasi maksimum =  $0,5 \times \sqrt{f_0}$

Alternatif 1 =  $0,5 \times \sqrt{1,845} = 0,679 \text{ m/s}^2$

Alternatif 2 =  $0,5 \times \sqrt{1,866} = 0,683 \text{ m/s}^2$

Alternatif 3 =  $0,5 \times \sqrt{1,889} = 0,687 \text{ m/s}^2$

Dari tabel di atas diperoleh hasil akselerasi yang terjadi pada struktur masih lebih kecil dari akselerasi maksimumnya. Hal ini menunjukkan bahwa JPO masih nyaman digunakan untuk aktivitas berjalan.

#### 4.11.2 Optimasi Akibat Beban Beban Dinamis Manusia Berjalan

Optimasi ini dilakukan berdasarkan asumsi apabila sewaktu-waktu pertokoan tidak ada dan jembatan hanya digunakan untuk fasilitas penyeberangan orang saja. beban dinamis manusia berjalan pada JPO dengan menggunakan 7 lintasan.

## 1. Alternatif 1

**Tabel 4.27** Profil Baja pada Alternatif 1

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 1
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 150x75x5x7
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 350x175x7x11 WF 300x150x6,5x9
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 300x150x6,5x9
Kolom Portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 200x200x8x12 WF 175x175x7,5x11

**Tabel 4.28** Cek Desain Alternatif 1 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan

Elemen Struktur	Beban dinamis manusia berjalan lambat	Beban dinamis manusia berjalan normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 150x75x5x7	0,404	0,404
Balok memanjang WF 350x175x7x11	0,178	0,177
Balok memanjang WF 300x150x6,5x9	0,175	0,173
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,794	0,794
Balok melintang WF 300x150x6,5x9	0,620	0,620
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,787	0,786
Rangka WF 200x200x8x12	0,246	0,246
Rangka WF 175x175x7,5x11	0,333	0,333

Dari tabel di atas diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.



## 2. Alternatif 2

**Tabel 4.29** Profil Baja pada Alternatif 2

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 2
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 300x150x6,5x9 WF 250x125x6x9
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 250x125x6x9
Kolom Portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 175x175x7,5x11 WF 150x150x7x10

**Tabel 4.30** Cek Desain Alternatif 2 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan

Elemen Struktur	Beban dinamis manusia berjalan lambat 1 detik	Beban dinamis manusia berjalan normal 1 detik
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 125x60x6x8	0,372	0,372
Balok memanjang WF 300x150x6,5x9	0,202	0,199
Balok memanjang WF 250x125x6x9	0,198	0,196
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,788	0,788
Balok melintang WF 250x125x6x9	0,666	0,666
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,812	0,811
Rangka WF 175x175x7,5x11	0,344	0,344
Rangka WF 150x150x7x10	0,424	0,424

Dari tabel di atas diperoleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

## 3. Alternatif 3

**Tabel 4.31** Profil Baja pada Alternatif 3

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 3
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 250x125x6x9 WF 200x100x5,5x8
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 200x100x5,5x8
Kolom Portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 150x150x7x10 WF 125x125x6,5x9

**Tabel 4.32** Cek Desain Alternatif 3 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan

Elemen Struktur	Beban dinamis manusia berjalan lambat	Beban dinamis manusia berjalan normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 125x60x6x8	0,419	0,419
Balok memanjang WF 250x125x6x9	0,219	0,217
Balok memanjang WF 200x100x5,5x8	0,217	0,216
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,782	0,782
Balok melintang WF 200x100x5,5x8	0,713	0,713
Kolom portal WF 400x400x13x21	0,866	0,865
Rangka WF 150x150x7x10	0,527	0,525
Rangka WF 125x125x6,5x9	0,555	0,555

Dari tabel di atas diperoleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) kurang dari 1. Hal ini menunjukkan struktur tersebut mampu menerima beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal.

## 4. Alternatif 4

**Tabel 4.33** Profil Baja pada Alternatif 4

Elemen Struktur	Profil Eksisting	Alternatif 4
Balok Silang	WF 200x100x5,5x8	WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	WF 400x200x8x13 WF 350x175x7x11	WF 200x100x5,5x8 WF 150x75x5x7
Balok Melintang	WF 400x400x13x21 WF 350x175x7x11	WF 350x350x12x19 WF 200x100x5,5x8
Kolom Portal	WF 400x400x13x21	WF 400x400x13x21
Rangka	WF 250x250x9x14 WF 200x200x8x12	WF 150x150x7x10 WF 125x125x6,5x9

**Tabel 4.34** Cek Desain Alternatif 4 Akibat Beban Dinamis Manusia Berjalan dengan 7 Lintasan

Elemen Struktur	Beban dinamis manusia berjalan lambat	Beban dinamis manusia berjalan normal
	Rasio PMM	Rasio PMM
Balok silang WF 125x60x6x8	0,423	0,422
Balok memanjang WF 200x100x5,5x8	0,226	0,224
Balok memanjang WF 150x75x5x7	0,254	0,254
Balok melintang WF 350x350x12x19	0,778	0,778
Balok melintang WF 200x100x5,5x8	0,712	0,712
Kolom portal WF 400x400x13x21	1,075	1,074
Rangka WF 150x150x7x10	0,532	0,531
Rangka WF 125x125x6,5x9	0,561	0,560

Dari komposisi dimensi profil yang digunakan pada alternatif 4 menyebabkan rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) untuk kolom portal WF 400x400x13x21 lebih dari 1, artinya struktur tersebut tidak mampu menerima beban hidup sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban dinamis manusia berjalan lambat maupun berjalan normal. Dengan demikian komposisi dimensi profil pada alternatif 4 tersebut tidak dapat digunakan dan optimasi ini berakhir pada alternatif 3.

**Tabel 4.35** Kontrol *Displacement*

Alternatif Ke-	Pergerakan manusia	<i>Displacement</i> (cm)	<i>Displacement</i> ijin (cm)
1	Berjalan lambat	1,872	21
	Berjalan normal	1,872	
2	Berjalan lambat	2,486	
	Berjalan normal	2,486	
3	Berjalan lambat	3,287	
	Berjalan normal	3,287	

Dari tabel di atas diperoleh *displacement* akibat berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban manusia berjalan lambat maupun berjalan normal kurang dari *displacement* ijin.

$$\text{Displacement Ijin} = \frac{L}{1000} = \frac{2100}{1000} = 21 \text{ cm}$$

**Tabel 4.36** Cek Frekuensi Alami Mode 1

Alternatif ke-	Frekuensi Alami (Hz)	Bentuk Getaran	Syarat	Keterangan
1	1,845	Horizontal	1,5	Memenuhi
2	1,866	Horizontal		Memenuhi
3	1,889	Horizontal		Memenuhi

Dari tabel di atas diperoleh nilai frekuensi alami pada mode 1 > 1,5 artinya struktur memenuhi persyaratan *service* getaran pada jembatan (syarat : frekuensi alami struktur yang mengalami getaran horizontal harus memenuhi persyaratan *service* > 1,5 Hz)

**Tabel 4.37** Perbandingan Frekuensi Dinamis 7 Lintasan dan Frekuensi Alami

Alternatif Ke-	Pergerakan	Frekuensi dinamis (Hz)	Frekuensi alami (Hz)	$\frac{F \text{ dinamis}}{F \text{ alami}}$
1	Berjalan Lambat	0,0721	1,845	0,039
	Berjalan Normal	0,0795		0,043
2	Berjalan Lambat	0,0885	1,866	0,047
	Berjalan normal	0,1135		0,061
3	Berjalan lambat	0,1414	1,889	0,075
	Berjalan normal	0,1525		0,081

Dari hasil perbandingan frekuensi akibat beban dinamis manusia dengan frekuensi alami dari struktur JPO di atas kemudian di cek ke dalam **Persamaan 3.1**.

$$\frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}} < 0,5 \text{ atau } \frac{f \text{ dinamis}}{f \text{ alami}} > 2$$

Diperoleh hasil  $< 0,5$  yang menunjukkan bahwa struktur JPO tersebut tidak mengalami resonansi.



**Tabel 4.38** Akselerasi JPO Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan

Alternatif Ke-	Pergerakan	Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	Akselerasi Maks (m/s <sup>2</sup> )
1	Berjalan lambat	-0,626	0,679
	Berjalan normal	0,589	
2	Berjalan lambat	0,654	0,683
	Berjalan normal	-0,601	
3	Berjalan lambat	-0,682	0,687
	Berjalan normal	0,623	

Syarat akselerasi maksimum =  $0,5 \times \sqrt{f_0}$

Alternatif 1 =  $0,5 \times \sqrt{1,845} = 0,679 \text{ m/s}^2$

Alternatif 2 =  $0,5 \times \sqrt{1,866} = 0,683 \text{ m/s}^2$

Alternatif 3 =  $0,5 \times \sqrt{1,889} = 0,687 \text{ m/s}^2$

Dari tabel di atas diperoleh hasil akselerasi yang terjadi pada struktur masih lebih kecil dari akselerasi maksimumnya. Hal ini menunjukkan bahwa JPO masih nyaman digunakan untuk aktivitas berjalan.

#### 4.12 Perbandingan Hasil Analisa

Dari hasil analisa di atas dapat dibuat perbandingan hasil perencanaan JPO akibat beban statis dan beban dinamis manusia berjalan sebagai berikut:

1. Hasil analisa JPO eksisting terhadap beban statis
  - JPO eksisting yang dianalisa berdasarkan beban eksisting (beban hidup merata sebesar 250 kg/m<sup>2</sup>), diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) maksimal sebesar **0,887** dan *displacement* sebesar **2,042 cm**.

- JPO eksisting yang dianalisa berdasarkan beban fungsi jembatan (2,25 m untuk pejalan kaki dan 4,25 m untuk pertokoan) dengan beban hidup masing-masing 310 kg/m<sup>2</sup> (beban hidup merata pejalan kaki) dan 250 kg/m<sup>2</sup> (beban hidup merata pertokoan), diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) maksimal sebesar **0,9** dan *displacement* sebesar **2,083 cm**.
  - JPO eksisting yang dianalisa berdasarkan asumsi bahwa beban pertokoan tidak ada dan hanya difungsikan sebagai fasilitas penyeberangan orang saja (Beban hidup merata sebesar 500 kg/m<sup>2</sup>), diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) sebesar **1,122** dan *displacement* sebesar **2,694 cm**.
2. Hasil analisa JPO eksisting terhadap beban riil di lapangan (beban statis dan dinamis).  
 JPO yang dianalisa berdasarkan beban riil di lapangan (2,25 m untuk beban manusia berjalan dan 4,25 m untuk pertokoan) diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) maksimum sebagai berikut:
- a. **0,816** (statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan dinamis berjalan lambat)
  - b. **0,816** (statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan dinamis berjalan normal)
- Displacement* sebesar **1,856 cm**.
3. Hasil analisa JPO eksisting terhadap beban dinamis penuh  
 JPO yang dianalisa berdasarkan asumsi bahwa beban pertokoan tidak ada dan JPO hanya difungsikan sebagai fasilitas penyeberangan orang saja diperoleh Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) maksimum sebagai berikut:
- a.  $0,756 < 1$  (dinamis berjalan lambat)
  - b.  $0,756 < 1$  (dinamis berjalan normal)
- Displacement* sebesar **1,378 cm**.

**Tabel 4.39** Perbandingan Hasil Analisa JPO Eksisting

	Beban statis 250 kg/m <sup>2</sup>	Beban statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan 310 kg/m <sup>2</sup>	Beban statis 500 kg/m <sup>2</sup>	Beban statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan beban dinamis	Beban dinamis penuh
Rasio PMM	0,887	0,9	1,122	0,816	0,756
<i>Displacement</i> (cm)	2,042	2,083	2,694	1,856	1,378

#### 4. Hasil analisa perilaku struktur akibat beban dinamis

- JPO yang dianalisa berdasarkan beban riil di lapangan (2,25 m untuk beban manusia berjalan dan 4,25 m untuk pertokoan) diperoleh perbandingan antara frekuensi dinamis struktur akibat beban manusia berjalan dengan frekuensi alami struktur sebesar :

- 0,012 (berjalan lambat)
- 0,013 (berjalan normal)

Akselerasi maksimum sebesar 0,433 m/s<sup>2</sup>.

- JPO yang dianalisa berdasarkan beban dinamis penuh, diperoleh perbandingan antara frekuensi dinamis struktur akibat beban manusia berjalan dengan frekuensi alami struktur sebesar :

- 0,033 (berjalan lambat)
- 0,035 (berjalan normal)

Akselerasi maksimum sebesar 0,585 m/s<sup>2</sup>.

**Tabel 4.40** Perbandingan Hasil Analisa Perilaku Dinamis

	Beban statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan beban dinamis	Beban dinamis penuh	Keterangan
$\frac{f_{\text{dinamis}}}{f_{\text{alami}}}$	0,013	0,035	Lihat Tabel 4.7, Tabel 4.8
Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	0,433	0,585	Lihat Tabel 4.13, Tabel 4.14

5. Hasil optimasi akibat beban riil di lapangan (2,25 m untuk beban manusia berjalan dan 4,25 m untuk pertokoan) sebagai berikut:

a. Alternatif 1

Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) dan perbandingan frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami:

- $0,909 < 1$  dan  $0,017 < 0,5$  (berjalan lambat)
- $0,909 < 1$  dan  $0,017 < 0,5$  (berjalan normal)

*Displacement* dan akselerasi maksimum = 2,551 cm ( $\Delta$ ijin = 21 cm) dan 0,614 m/s<sup>2</sup>

b. Alternatif 2

Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) dan perbandingan frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami:

- $0,928 < 1$  dan  $0,024 < 0,5$  (berjalan lambat)
- $0,928 < 1$  dan  $0,025 < 0,5$  (berjalan normal)

*Displacement* dan akselerasi maksimum = 3,219 cm ( $\Delta$ ijin = 21 cm) dan 0,626 m/s<sup>2</sup>

c. Alternatif 3

Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM)

dan perbandingan frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami:

- $0,975 < 1$  dan  $0,032 < 0,5$  (berjalan lambat)

- $0,974 < 1$  dan  $0,036 < 0,5$  (berjalan normal)

*Displacement* dan akselerasi maksimum = 3,985 cm ( $\Delta$ ijin = 21 cm) dan 0,646 m/s<sup>2</sup>.

**Tabel 4.41** Perbandingan Hasil Analisa Akibat Beban Statis dan Beban Dinamis 3 Lintasan

	Alternatif			Keterangan
	1	2	3	
Rasio PMM	0,909	0,928	0,975	Lihat Tabel 4.15, 4.17, 4.19
$\frac{f_{\text{dinamis}}}{f_{\text{alami}}}$	0,017	0,025	0,036	Lihat Tabel 4.23
Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	0,614	0,626	0,646	Lihat Tabel 4.24
<i>Displacement</i> (cm)	2,551	3,219	3,985	Lihat Tabel 4.22

6. Hasil optimasi akibat beban dinamis penuh sebagai berikut:

a. Alternatif 1

Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) dan perbandingan frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami:

- $0,794 < 1$  dan  $0,039 < 0,5$  (berjalan lambat)

- $0,794 < 1$  dan  $0,043 < 0,5$  (berjalan normal)

*Displacement* dan akselerasi maksimum = 1,872 cm ( $\Delta$ ijin = 21 cm) dan 0,626 m/s<sup>2</sup>.

b. Alternatif 2

Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM)

dan perbandingan frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami:

- $0,812 < 1$  dan  $0,047 < 0,5$  (berjalan lambat)
- $0,811 < 1$  dan  $0,061 < 0,5$  (berjalan normal)

*Displacement* dan akselerasi maksimum = 2,486 cm ( $\Delta$ ijin = 21 cm) dan  $0,654 \text{ m/s}^2$ .

c. Alternatif 3

Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) dan perbandingan frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami:

- $0,866 < 1$  dan  $0,075 < 0,5$  (berjalan lambat)
- $0,865 < 1$  dan  $0,081 < 0,5$  (berjalan normal)

*Displacement* dan akselerasi maksimum = 3,287 cm ( $\Delta$ ijin = 21 cm) dan  $0,682 \text{ m/s}^2$ .

**Tabel 4.42** Perbandingan Hasil Analisa Optimasi Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan

	Alternatif			Keterangan
	1	2	3	
Rasio PMM	0,794	0,812	0,866	Lihat Tabel 4.26, 4.28, 4.30
$\frac{f_{\text{dinamis}}}{f_{\text{alami}}}$	0,043	0,061	0,081	Lihat Tabel 4.35
Akselerasi ( $\text{m/s}^2$ )	0,626	0,654	0,682	Lihat Tabel 4.36
<i>Displacement</i> (cm)	1,872	2,486	3,287	Lihat Tabel 4.33

Dari tabel di atas diperoleh alternatif 3 mempunyai Rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja (Rasio PMM) lebih besar (mendekati 1). Hal ini menunjukkan bahwa alternatif 3 lebih optimal dibandingkan alternatif 1 dan 2.

Perbandingan hasil perencanaan JPO akibat beban statis dengan perencanaan yang optimal akibat beban dinamis dapat dilihat pada **Tabel 4.43** dan **Tabel 4.44** di bawah ini:

**Tabel 4.43** Perbandingan Hasil Perencanaan Akibat Beban Statis dengan Perencanaan yang Optimal Akibat Beban Dinamis 3 Lintasan

	Beban Statis 250 kg/m <sup>2</sup>	Beban Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan 310 kg/m <sup>2</sup>	Beban Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan dinamis 3 lintasan	Beban Statis 250 kg/m <sup>2</sup> dan dinamis 3 lintasan (Optimal)
Rasio PMM	0,887	0,9	0,816	0,975
$\frac{F \text{ dinamis}}{F \text{ alami}}$	-	-	0,021	0,036
Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	-	-	0,433	0,646
<i>Displacement</i> (cm)	2,042	2,083	1,856	3,985

**Tabel 4.44** Perbandingan Hasil Perencanaan Akibat Beban statis dengan Perencanaan yang Optimal Akibat Beban Dinamis 7 Lintasan

	Beban Statis 500 kg/m <sup>2</sup>	Beban dinamis 7 lintasan	Beban dinamis 7 lintasan (Optimal)
Rasio PMM	1,122	0,756	0,866
$\frac{F \text{ dinamis}}{F \text{ alami}}$	-	0,054	0,081
Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	-	0,585	0,682
<i>Displacement</i> (cm)	2,694	1,378	3,287

**Tabel 4.43** merupakan hasil analisa struktur JPO akibat beban 250 kg/m<sup>2</sup> (beban eksisting) dan akibat beban 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup> (2,25 meter untuk pejalan kaki dan 4,25 meter untuk pertokoan) dan **Tabel 4.44** merupakan hasil analisa struktur JPO yang mengasumsikan bahwa beban pertokoan sewaktu - waktu tidak ada dan JPO hanya diperuntukkan sebagai fasilitas penyeberangan orang saja. Dari tabel di atas diperoleh Rasio PMM dan *displacement* akibat lebih besar dibandingkan dengan analisa menggunakan beban dinamis (beban hidup merata statis pejalan kaki dianalisa sebagai beban dinamis berjalan). Hal ini menunjukkan bahwa analisa beban statis membutuhkan dimensi profil baja yang lebih besar dibandingkan dengan analisa berdasarkan beban dinamis. Dengan menggunakan analisa beban dinamis dapat diperoleh profil baja yang optimal dalam merencanakan JPO tersebut. Dari tabel di atas diperoleh rasio PMM mendekati 1 atau profil sudah cukup ekonomis.

Selain menganalisa kekuatan struktur, struktur yang dianalisa menggunakan beban dinamis harus dianalisa perilaku dinamisnya. Dari tabel di atas diperoleh perbandingan frekuensi dinamis dengan frekuensi alami struktur  $< 0,5$  dan akselerasinya kurang dari 0,707 (struktur eksisting) dan kurang dari 0,87 (struktur optimal). hal ini menunjukkan bahwa struktur JPO yang dianalisa berdasarkan beban dinamis dari segi kekuatan dan dari segi perilaku dinamisnya masih memenuhi persyaratan.



#### 4.13 Analisa Sambungan

Sambungan eksisting yang digunakan adalah sambungan las mutu EX-70XX dengan tebal masing-masing las sebagai berikut:

**Tabel 4.45** Tebal Las Masing-masing Profil

Dimensi Profil	Tebal las (mm)	Tebal minimum las (mm)	Keterangan
WF 200x100x5,5x8	4	4	Memenuhi
WF 350x175x7x11	5	5	Memenuhi
WF 400x200x8x13	6	5	Memenuhi
WF 200x200x8x12	6	5	Memenuhi
WF 250x250x9x14	6	5	Memenuhi
WF 400x400x13x21	9	8	Memenuhi

Dari tabel di atas diperoleh ketebalan las yang digunakan untuk struktur JPO eksisting sudah memenuhi persyaratan RSNI T-03-2005.

#### Sambungan profil WF 200x100x5,5x8

Dari SAP dengan beban hidup 250 kg/m<sup>2</sup> diperoleh:

gaya geser ultimate ( $V_u$ ) = 1.446,52 kg

momen ultimate ( $M_u$ ) = 253.638 kg.cm

$$f_v = \frac{V_u}{A} = \frac{V_u}{2((b + 2d)t_e)}$$

misal  $t_e = 1$  cm

$$f_v = \frac{1.446,52}{2((10 + 2 \times 20)1)} = 14,465 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_h = \frac{M_u}{S} = \frac{M_u}{\frac{2bd + d^2}{3}}$$

$$f_h = \frac{253.638}{\left(\frac{2 \times 10 \times 20 + 20^2}{3}\right) \times 2} = 475,571 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{f_v^2 + f_h^2}$$

$$f_{total} = \sqrt{14,465^2 + 475,571^2} = 475,791 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi f_n &= 0,75 \times 0,6 \times f_u \text{ las} \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 \\ &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$t_{e \text{ perlu}} = \frac{f_{total}}{\phi f_n} = \frac{475,791}{2241,45} = 0,212 \text{ cm}$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,215}{0,707} = 0,304 \text{ cm}$$

a eksisting = 0,4 cm

a eksisting > a perlu

0,4 cm > 0,304 cm

Syarat minimum tebal las = 0,4 cm.

Tebal las eksisting sudah memenuhi persyaratan dan kuat menahan beban yang ada.

Selengkapnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 4.46** Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup>

Sambungan	Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kgcm)	fv (kg/cm <sup>2</sup> )	fh (kg/cm <sup>2</sup> )	f total (kg/cm <sup>2</sup> )	ø fn (kg/cm <sup>2</sup> )	te perlu (cm)	a perlu (cm)	a eksisting (cm)	Cek a eksisting dengan a perlu	Syarat minimal (cm)	Ket.
Balok silang WF 200x100x5,5x8		1446,52	253638	14,465	475,5713	475,791	2214,45	0,215	0,304	0,4	a eksisting > a perlu	0,4	Ok
Balok memanjang WF 400x200x8x13		4451,2	614095	22,256	287,857	288,716		0,130	0,184	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok memanjang WF 350x175x7x11		2516,74	358350	17,977	175,5184	176,437		0,080	0,113	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok melintang WF 400x400x13x21		22655,2	5235209	94,397	1227,002	1230,63		0,556	0,786	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Balok melintang WF 350x175x7x11		6051,1	1490642	34,578	730,110	730,929		0,330	0,467	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Kolom portal WF 400x400x13x21	119754		5056515	374,231	1185,121	1242,8		0,561	0,794	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Rangka WF 250x250x9x14	29962,12			199,747		199,747		0,090	0,128	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Rangka WF 200x200x5,5x8	49591,44			413,262		413,262		0,187	0,264	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok

**Tabel 4.47** Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup>

Sambungan	Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kgcm)	fv (kg/cm <sup>2</sup> )	fh (kg/cm <sup>2</sup> )	f total (kg/cm <sup>2</sup> )	ø fn (kg/cm <sup>2</sup> )	te perlu (cm)	a perlu (cm)	a eksisting (cm)	Cek a eksisting dengan a perlu	Syarat minimal (cm)	Ket
Balok silang WF 200x100x5,5x8		1478,61	259395	14,786	486,366	486,59	2214,45	0,220	0,311	0,4	a eksisting > a perlu	0,4	Ok
Balok memanjang WF 400x200x8x13		4601,43	620174	23,007	290,707	291,616		0,132	0,186	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok memanjang WF 350x175x7x11		2676,48	370559	15,294	181,498	182,142		0,082	0,116	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok melintang WF 400x400x13x21		22655,2	5235209	70,797	1227	1230,63		0,556	0,786	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Balok melintang WF 350x175x7x11		6308,19	1522193	36,047	745,564	746,435		0,337	0,477	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Kolom portal WF 400x400x13x21	124584,6		5056515	519,103	1185,12	1293,82		0,584	0,826	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Rangka WF 250x250x9x14	30597,93			480,873		480,873		0,217	0,307	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Rangka WF 200x200x5,5x8	51571,11			1013,11		1013,11		0,457	0,647	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok

**Tabel 4.48** Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 500 kg/m<sup>2</sup>

Sambungan	Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kgcm)	fv (kg/cm <sup>2</sup> )	fh (kg/cm <sup>2</sup> )	f total (kg/cm <sup>2</sup> )	ø fn (kg/cm <sup>2</sup> )	te perlu (cm)	a perlu (cm)	a eksisting (cm)	Cek a eksisting dengan a perlu	Syarat minimal (cm)	Ket.
Balok silang WF 200x100x5,5x8		1998,13	350736	19,981	657,63	657,933	2214,45	0,297	0,420	0,4	a eksisting > a perlu	0,4	Ok
Balok memanjang WF 400x200x8x13		5710,63	807414	23,794	378,475	379,223		0,171	0,242	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok memanjang WF 350x175x7x11		3357,63	474593	19,186	232,454	233,244		0,105	0,149	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok melintang WF 400x400x13x21		22655,19	5235209	70,797	1227	1229,04		0,555	0,785	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Balok melintang WF 350x175x7x11		8407,04	2072511	48,040	1015,11	1016,24		0,459	0,649	0,5	a eksisting < a perlu	0,5	Tidak Ok
Kolom portal WF 400x400x13x21	154160,3		5056515	481,751	1185,12	1279,29		0,578	0,817	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Rangka WF 250x250x9x14	38177,4			254,516		254,516		0,115	0,163	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Rangka WF 200x200x5,5x8	64562,33			538,019		538,019		0,243	0,344	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok

**Tabel 4.49** Analisa Sambungan dengan Beban Hidup Statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan Beban Dinamis Manusia

Sambungan	Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kgcm)	fv (kg/cm <sup>2</sup> )	fh (kg/cm <sup>2</sup> )	f total (kg/cm <sup>2</sup> )	ø fn (kg/cm <sup>2</sup> )	te perlu (cm)	a perlu (cm)	a eksisting (cm)	Cek a eksisting dengan a perlu	Syarat minimal (cm)	Ket.
Balok silang WF 200x100x5,5x8		1345,34	234870	13,453	440,381	440,587	2214,45	0,199	0,281	0,4	a eksisting > a perlu	0,4	Ok
Balok memanjang WF 4000x200x8x13		3960,76	602096	19,804	282,233	282,926		0,128	0,181	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok memanjang WF 350x175x7x11		2400,41	350279	13,717	171,565	172,113		0,078	0,110	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok melintang WF 400x400x13x21		21176,05	4762611	66,175	1116,24	1118,2		0,505	0,714	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Balok melintang WF 350x175x7x11		5396,95	1359734	30,840	665,992	666,706		0,301	0,426	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Kolom portal WF 400x400x13x21	115881,21		4535394	362,12878	1062,98	1122,97		0,507	0,717	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Rangka WF 250x250x9x14	29093,22			193,9548		193,955		0,088	0,124	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Rangka WF 200x200x5,5x8	47897,21			399,14342		399,143		0,180	0,255	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok

**Tabel 4.50** Analisa Sambungan dengan Beban Dinamis Manusia Penuh

Sambungan	Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kgcm)	fv (kg/cm <sup>2</sup> )	fh (kg/cm <sup>2</sup> )	f total (kg/cm <sup>2</sup> )	ø fn (kg/cm <sup>2</sup> )	te perlu (cm)	a perlu (cm)	a eksisting (cm)	Cek a eksisting dengan a perlu	Syarat minimal (cm)	Ket.
Balok silang WF 200x100x5,5x8		953,18	164777	9,532	308,9569	309,1039	2214,45	0,199	0,281	0,4	a eksisting > a perlu	0,4	Ok
Balok memanjang WF 4000x200x8x13		2659,35	436277	13,297	204,5048	204,9367		0,128	0,181	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok memanjang WF 350x175x7x11		1742,18	243561	9,955	119,2952	119,7099		0,078	0,110	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Balok melintang WF 400x400x13x21		20817,05	4640018	65,053	1087,504	1089,448		0,505	0,714	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Balok melintang WF 350x175x7x11		3558,31	928939	20,333	454,9905	455,4446		0,301	0,426	0,5	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Kolom portal WF 400x400x13x21	93887,8		4524676	293,3994063	1060,471	1100,31		0,507	0,717	0,9	a eksisting > a perlu	0,8	Ok
Rangka WF 250x250x9x14	22033,5			146,8902		146,8902		0,088	0,124	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok
Rangka WF 200x200x5,5x8	34675,8			288,96475		288,9648		0,180	0,255	0,6	a eksisting > a perlu	0,5	Ok

Dari tabel-tabel di atas diperoleh kebutuhan tebal las apabila JPO menerima beban hidup statis  $250 \text{ kg/m}^2$ , beban hidup statis  $250 \text{ kg/m}^2$  dan  $310 \text{ kg/m}^2$ , beban hidup statis  $250 \text{ kg/m}^2$  dan beban dinamis, dan beban dinamis penuh lebih kecil dari tebal las eksisting yang sudah ada. Hal ini menunjukkan bahwa tebal las eksisting sudah memenuhi persyaratan dan kuat menahan beban yang terjadi. Akan tetapi apabila JPO dianalisa dengan beban hidup statis sebesar  $500 \text{ kg/m}^2$  tebal las yang dibutuhkan lebih besar dari tebal las eksisting yang sudah ada, sehingga tebal las eksisting tersebut tidak kuat menahan beban  $500 \text{ kg/m}^2$ .



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemodelan struktur JPO dibagi menjadi 3 model, pemodelan dengan beban eksisting, pemodelan dengan beban RSNI T-02-2005 dan pemodelan dengan beban dinamis. Dari hasil analisa diperoleh rasio perbandingan beban yang terjadi dengan beban nominal yang mampu dipikul oleh profil baja maksimum (Rasio PMM maksimum) dan *displacement* sebesar 0,887 dan 2,042 cm (beban statis 250 kg/m<sup>2</sup>); 0,9 dan 2,083 cm (beban statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup>); 1,138 dan 2,675 cm (beban 500 kg/m<sup>2</sup>).
2. Beban manusia dimodelkan sebagai beban dinamis menggunakan persamaan yang diperoleh dari penelitian - penelitian terdahulu dan dimasukkan ke program SAP2000 sebagai fungsi *time history*. Analisa beban dinamis manusia berupa beban berjalan lambat dan berjalan normal dengan selisih waktu 1 dan 2 detik. Lintasan yang digunakan sebanyak 3 dan 7 lintasan. Perbandingan antara frekuensi dinamis struktur dengan frekuensi alami maksimum, *displacement*, dan akselerasi maksimum sebesar 0,013, 1,856 cm, 0,433 m/s<sup>2</sup> (beban dinamis dengan 3 lintasan); 0,035, 1,378 cm, dan 0,585 m/s<sup>2</sup> (beban dinamis dengan 7 lintasan).
3. Hasil cek desain akibat beban dinamis mempunyai rasio perbandingan beban dan kapasitas penampang lebih kecil dari cek desain akibat statis. Hal ini dikarenakan besarnya beban tiap m<sup>2</sup> lebih kecil. Rasio PMM maksimum untuk beban statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban dinamis sebesar 0,816 dan untuk beban dinamis penuh sebesar 0,756.
4. Optimasi dilakukan terhadap beban dinamis manusia berjalan dengan menggunakan 3 alternatif. Untuk beban statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban dinamis, alternatif 1 mempunyai rasio PMM,

rasio perbandingan frekuensi dinamis dengan frekuensi alami, akselerasi dan *displacement* sebesar 0,909, 0,017, 0,614 m/s<sup>2</sup>, 2,551 cm; alternatif 2 sebesar 0,928, 0,025, 0,626 m/s<sup>2</sup>, 3,219 cm; dan alternatif 3 sebesar 0,975, 0,036, 0,646 m/s<sup>2</sup>, 3,986 cm. Sedangkan untuk beban dinamis penuh, alternatif 1 sebesar 0,794, 0,043, 0,626 m/s<sup>2</sup>, 1,872 cm; alternatif 2 sebesar 0,812, 0,061, 0,654 m/s<sup>2</sup>, 2,486 cm; dan alternatif 3 sebesar 0,866, 0,081, 0,682 m/s<sup>2</sup>, 3,287 cm. Dengan demikian alternatif yang optimum adalah alternatif 3. Profil yang digunakan pada alternatif 3 adalah:

Balok Silang	: WF 125x60x6x8
Balok Memanjang	: WF 250x125x6x9; WF 200x100x5,5x8
Balok Melintang	: WF 350x350x12x19; WF 200x100x5,5x8
Kolom portal	: WF 400x400x13x21;
Rangka	: WF 150x150x7x10; WF 125x125x6,5x9

- Struktur yang direncanakan dengan menggunakan beban statis mempunyai rasio PMM lebih besar dibandingkan dengan perencanaan menggunakan beban dinamis manusia berjalan. Sehingga membutuhkan profil baja yang lebih besar. Sedangkan struktur yang dianalisa dengan beban dinamis kebutuhan dimensi profil baja lebih kecil sehingga dapat diperoleh struktur yang optimal dalam merencanakan struktur.
- Kebutuhan tebal las pada balok melintang profil WF 350x175x7x11 yang dianalisa menggunakan beban hidup statis 500 kg/m<sup>2</sup> lebih besar dari tebal las eksisting yang sudah ada. Hal ini menunjukkan bahwa tebal las eksisting tidak memenuhi persyaratan dan tidak kuat menahan beban yang ada. Kebutuhan tebal las yang dianalisa menggunakan beban hidup statis 250 kg/m<sup>2</sup>, beban hidup statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan 310 kg/m<sup>2</sup>, beban hidup statis 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban dinamis, dan beban dinamis penuh sudah memenuhi persyaratan dan kuat menahan beban yang terjadi.

## **5.2 Saran**

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

1. Perlunya analisa struktur JPO yang lebih detail dengan beban manusia berjalan berkelompok sehingga nantinya dihasilkan desain dan perilaku JPO yang lebih mendekati kondisi lapangan.
2. Struktur JPO lebih baik di desain berdasarkan beban riil di lapangan, yaitu berupa beban dinamis manusia berjalan. Hal ini dapat menghasilkan desain yang lebih optimal bila dibandingkan dengan analisa statis.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

- Alantia, F. 2015. Studi Perilaku Struktur Jembatan Pejalan Kaki Akibat Beban Statis dan Dinamis dari Beban Manusia Berjalan. **Jurnal Teknik Pomits**, 1(1), 1–6.
- Bachmann, H., Ammann, W. 1987. **Vibration in Structure: Induced by Man and Machine (3e)**. International Assosiation of Bridge and Structural Engineering (IABSE), Association Internationale des Ponts et Charpentes (AIPC), Internationale Vereinigung fur Bruckenbau und Hochbau (AVBH).
- Brownjohn, J. M. W. 1997. Vibration Characteristics of a Suspension Footbridge. **Jurnal of Sound and Vibration**, 202(1), 29–46.
- Brownjohn, J. M. W, dan Pavic, A. 2007. Experimental methods for estimating modal mass in footbridges using human-induced dynamic excitation. **Elsevier, Engineering Structures**, 29, 2833–2843.
- Chopra, A. 2007. **Chopra - Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering (3rd Editio)**. London, UK: Person Education Ltd.
- De Deos A H, Y. 2014. Analisis Dinamis Struktur Jembatan Gantung Akibat Beban Pejalan Kaki Bergerak (Studi Kasus Jembatan Gantung Dukuh Sepi, Desa Drakah, Selo, Boyolali Bentang 92 Meter). Universitas Gadjah Mada.
- Ellis, B. 2004. Loads generated by jumping crowds: **The Structural Engineer**, 82(17)(September), 35–40.
- Figueiredo, dkk. 2008. A parametric study of composite footbridges under pedestrian walking loads. **Engineering Structures**, 30(3), 605–615.

- Litter, J. 2003. Frequencies of Synchronised Human Loading from Jumping and Stamping. **The Structural Engineer**, 81(11), 27–35.
- Pawirodikromo, W. 2001. **Respon Dinamik Struktur Elastik**. Yogyakarta: UII Press.
- Pawirodikromo, W. 2012. **Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan**. Yogyakarta: Pustaka Pelajar (Anggota IKAPI).
- PPIUG. 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung**. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Putra, A. S. 2012. Studi Perilaku Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Manusia Bergerak. **Jurnal Teknik Pomits**, 1(1), 1–6.
- RSNI-T-02-2005. 2005. **Standar Pembebanan untuk Jembatan**. Bandung: Badan Litbang Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- RSNI-T-03-2005. 2005. **Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan**. Bandung: Badan Litbang Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Setiawan, A. 2008. **Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD**. Jakarta: Erlangga.
- SNI-1729-2015. 2015. **Spesifikasi untuk Gedung Baja Struktural**. Bandung: Badan Litbang Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Suharjanto. 2013. **Rekayasa Gempa (Dilengkapi dengan Analisis Beban Gempa Sesuai SNI-03-1726-2002)**. Yogyakarta: Janabadra University Press.

- Supriyadi, B. 2008. Pengaruh Beban Sejumlah Orang Bernyanyi dan Berjoget Bersama pada Struktur Lantai Gedung Berbentang Panjang (Studi Kasus Gedung Grha Sabha Pramana UGM ). **Media Teknik Sipil**, (1985), 121–124.
- Townshend, T. 2013. **A Critical Review of The Current Design Guidelines for Footbridges**. University of Cape Town.
- Wahyuni, E dan Ji, T. 2009. Using Dynamic Measurement to Predict Dynamic Responses of Composite Floor Induced by an Individual Walking Load. In **The 1st International Seminar on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries**, November 2-3. Bandung - Indonesia.
- Wahyuni, E. 2007. **Stiffness and Modal Stiffness of a Structure**. University of Manchester, Manchester, UK.
- Wahyuni, E. 2009. Structural Responses of a Concrete Beam Induced by Human Dynamic Loads. In **Engineering and Science International Conference**, November 24-25. Curtin University of Technology, Sarawak Campus, Miri, Sarawak.
- Wahyuni, E. 2012. Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak. **Jurnal Teknik Sipil**, 19(3), 181–194.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# LAMPIRAN 1

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
1	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,230471	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	5,72849
10	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,33201	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
11	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,290254	PMM	Envelope	2,39664
12	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,242034	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	2,39664
13	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,233016	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	2,39664
14	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,33046	PMM	Envelope	2,39664
15	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,290355	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,79329
16	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,276986	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
17	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,581203	PMM	Envelope	4,7
18	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,562133	PMM	Envelope	0
19	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,160253	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
2	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,298846	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
20	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,121277	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
21	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,123179	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
22	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,161989	PMM	Envelope	1,75
23	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,465401	PMM	Envelope	3,5
24	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,462893	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
25	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,261284	PMM	Envelope	5,72849
26	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,357961	PMM	Envelope	0
27	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,27913	PMM	Envelope	0
28	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,2572	PMM	Envelope	4,79329
29	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,260866	PMM	Envelope	0
3	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,28164	PMM	Envelope	0
30	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,281537	PMM	Envelope	4,79329
31	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,356726	PMM	Envelope	4,79329
32	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,252318	PMM	Envelope	0
33	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,315395	PMM	Envelope	4,12015
34	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,400655	PMM	Envelope	0
35	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,296554	PMM	Envelope	2,39664
36	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,23746	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	2,39664
37	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,224465	PMM	Envelope	2,39664
38	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,325975	PMM	Envelope	2,39664
39	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,408035	PMM	Envelope	4,79329
4	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,267128	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,79329
40	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,327416	PMM	Envelope	0
41	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,533766	PMM	Envelope	4,7
42	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,490941	PMM	Envelope	0
43	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,161102	PMM	Envelope	1,75
44	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,119653	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
45	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,119891	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
46	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,158189	PMM	Envelope	1,75
47	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,380293	PMM	Envelope	3,5
48	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,373865	PMM	Envelope	0

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99						
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location	
Text	Text	Unitless	Text	Text	m	
49	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,212805	PMM	Envelope	5,72849	
5	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,272618	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0	
50	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,267667	PMM	Envelope	0	
51	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,171599	PMM	Envelope	2,39664	
52	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,150929	PMM	Envelope	2,39664	
53	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,154668	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	2,39664	
54	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,173016	PMM	Envelope	2,39664	
55	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,280018	PMM	Envelope	4,79329	
56	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,192098	PMM	Envelope	0	
57	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,193882	PMM	Envelope	4,12015	
58	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,26819	PMM	Envelope	0	
59	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,171368	PMM	Envelope	2,39664	
6	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,280232	PMM	Envelope	4,79329	
60	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,161098	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	2,39664	
61	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,148502	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	2,39664	
62	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,18246	PMM	Envelope	2,39664	
63	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,270556	PMM	Envelope	4,79329	
64	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,213058	PMM	Envelope	0	
65	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,325649	PMM	Envelope	4,7	
66	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,310343	PMM	Envelope	0	
67	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,123277	PMM	Envelope	1,75	
68	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,104543	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75	
69	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,108604	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75	
7	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,306434	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,79329	
70	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,122805	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75	
71	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,256335	PMM	Envelope	3,5	
72	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,242497	PMM	Envelope	0	
8	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,088269	PMM	Envelope	0	
9	BALOK SILANG WF200X100X5,5X8	0,11817	PMM	Envelope	4,12015	

## LAMPIRAN 2

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M3
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
17	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	-444,85	1446,52	-2536,38
17	4,7	Envelope	-444,85	860,46	-2536,38
18	0	D+2Dtambahan+1,8L	-346,41	-1425,89	-2458,72
18	0	Envelope	-346,41	-1425,89	-2458,72
41	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	-565,88	1362,4	-2319,46
41	4,7	Envelope	-565,88	807,83	-2319,46
42	0	D+2Dtambahan+1,8L	-592,13	-1274,18	-2131,42
42	0	Envelope	-592,13	-1274,18	-2131,42
23	3,5	D+2Dtambahan+1,8L	-65,48	1333,08	-2046,04
23	3,5	Envelope	-65,48	802,65	-2046,04
24	0	D+2Dtambahan+1,8L	-256,53	-1312,43	-2028,44
24	0	Envelope	-256,53	-1312,43	-2028,44
47	3,5	D+2Dtambahan+1,8L	-477,54	1074,61	-1649,19
47	3,5	Envelope	-477,54	638,59	-1649,19
48	0	D+2Dtambahan+1,8L	-420,88	-1056,04	-1628,24
48	0	Envelope	-420,88	-1056,04	-1628,24
24	0,41667	D+2Dtambahan+1,8L	-256,53	-1303,03	-1483,55
24	0,41667	Envelope	-256,53	-1303,03	-1483,55
23	3,0625	D+2Dtambahan+1,8L	-65,48	1323,21	-1464,97
23	3,0625	Envelope	-65,48	792,78	-1464,97
10	0	D+2Dtambahan+1,8L	-904,3	-549,15	-1408,76
10	0	Envelope	-904,3	-549,15	-1408,76
65	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	-663,33	828,16	-1395,44
65	4,7	Envelope	-663,33	512,39	-1395,44

## LAMPIRAN 3

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	Ratio Type	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
109	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,164682	PMM	Envelope	0,9
111	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,097767	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
112	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,095814	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
113	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,092014	PMM	Envelope	1,75
114	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,095456	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
119	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,165877	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0,9
152	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,212868	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,7
153	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,231108	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
188	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,184999	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,5
189	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,14274	PMM	Envelope	0
218	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,197459	PMM	Envelope	4,7
219	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,237657	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
222	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,102861	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
223	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,092005	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
224	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,09484	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
225	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,098719	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
226	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,210242	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,5
227	BALOK MEMANJANG WF400X200X8X13	0,21079	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0

## LAMPIRAN 4

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M3
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
119	0	Envelope	24	-4451,2	163,72
119	0	D+2Dtambahan+1,8L	41,31	-4451,2	268,48
109	0	Envelope	-9,64	-3844,18	267,91
109	0	D+2Dtambahan+1,8L	-9,64	-3844,18	437,05
227	0	D+2Dtambahan+1,8L	1063,12	-3514,92	-5664,91
227	0	Envelope	570,53	-3514,92	-5664,91
219	0	D+2Dtambahan+1,8L	-6151,76	-3080,5	-6140,95
219	0	Envelope	-6151,76	-3080,5	-6140,95
112	0	D+2Dtambahan+1,8L	6106,54	-1879,87	-1011,79
112	0	Envelope	3642,97	-1879,87	-1011,79
189	0	D+2Dtambahan+1,8L	238,19	-1876,93	-3893,24
189	0	Envelope	-77,15	-1876,93	-3893,24
225	0	D+2Dtambahan+1,8L	-639,74	-1774,22	-1009,79
225	0	Envelope	-1003,83	-1774,22	-1009,79

## LAMPIRAN 5

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
121	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,109322	PMM	Envelope	0,9
122	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,191652	PMM	Envelope	4,7
123	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,105634	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0,9
124	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,198405	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,7
125	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,131695	PMM	Envelope	0,9
126	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,148351	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
127	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,217382	PMM	Envelope	0
128	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,114159	PMM	Envelope	1,75
129	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,101237	PMM	Envelope	1,75
130	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,095498	PMM	Envelope	1,75
131	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,113862	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
132	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,182438	PMM	Envelope	3,5
133	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,106247	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
134	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,131717	PMM	Envelope	0,9
135	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,149394	PMM	Envelope	4,7
145	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,182369	PMM	Envelope	0
146	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,099883	PMM	Envelope	1,75
147	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,07896	PMM	Envelope	1,75
148	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,076865	PMM	Envelope	1,75
149	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,096315	PMM	Envelope	1,75
150	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,156685	PMM	Envelope	3,5
151	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,083729	PMM	Envelope	0
229	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,211679	PMM	Envelope	0
230	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,115539	PMM	Envelope	1,75
231	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,102991	PMM	Envelope	1,75
232	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,099666	PMM	Envelope	1,75
233	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,110102	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	1,75
234	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,189471	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,5
235	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,094427	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
237	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,183902	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
238	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,09857	PMM	Envelope	1,75
239	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,077954	PMM	Envelope	1,75
240	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,07676	PMM	Envelope	1,75
241	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,098061	PMM	Envelope	1,75
242	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,159368	PMM	Envelope	3,5
243	BALOK MEMANJANG WF 350X175X7X11	0,083275	PMM	Envelope	0

## LAMPIRAN 6

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>					
<b>Frame</b>	<b>Station</b>	<b>OutputCase</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>M3</b>
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
127	0	D+2Dtambahan+1,8L	-4888,51	-2069,29	-3583,5
127	0	Envelope	-4888,51	-2069,29	-3583,5
124	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	1722,58	2516,74	-3492,81
124	4,7	Envelope	716,69	1461,1	-3492,81
122	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	1332,77	2423,49	-3405,28
122	4,7	Envelope	502,89	1447,25	-3405,28
229	0	D+2Dtambahan+1,8L	-5705,87	-1770,22	-3399,54
229	0	Envelope	-5705,87	-1770,22	-3399,54
234	3,5	D+2Dtambahan+1,8L	-6375,86	1647,54	-2907,68
234	3,5	Envelope	-6375,86	926,1	-2907,68
237	0	D+2Dtambahan+1,8L	-5369,41	-1396,97	-2867,44
237	0	Envelope	-5369,41	-1396,97	-2867,44
132	3,5	D+2Dtambahan+1,8L	-5667,44	1656,64	-2853,57
132	3,5	Envelope	-5667,44	994,27	-2853,57
145	0	D+2Dtambahan+1,8L	-5391,39	-1337,72	-2847,23
145	0	Envelope	-5391,39	-1337,72	-2847,23
135	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	2211,22	1722,57	-2543,75
135	4,7	Envelope	730,94	1072,28	-2543,75
126	4,7	D+2Dtambahan+1,8L	1920,21	1718,3	-2521,55
126	4,7	Envelope	557,75	1077,95	-2521,55
242	3,5	D+2Dtambahan+1,8L	-6253,37	1306,51	-2332,15
242	3,5	Envelope	-6253,37	808,97	-2332,15
150	3,5	D+2Dtambahan+1,8L	-6656,28	1194,47	-2239,6
150	3,5	Envelope	-6656,28	751,49	-2239,6

## LAMPIRAN 7

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
289	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,669056	PMM	Envelope	0
290	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,644626	PMM	Envelope	3,275
301	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,597997	PMM	Envelope	0
302	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,590038	PMM	Envelope	3,275
307	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,380482	PMM	Envelope	0
308	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,38186	PMM	Envelope	3,275
319	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,347649	PMM	Envelope	0
320	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,354988	PMM	Envelope	3,275
73	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,605803	PMM	Envelope	0
75	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,59683	PMM	Envelope	3,275
76	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,545732	PMM	Envelope	0
77	BALOK MELINTANG WF400X400X13X21	0,540983	PMM	Envelope	3,275

## LAMPIRAN 8

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M3
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
73	0	Envelope	-220,29	-22655,2	-47663,1
73	0	D+2Dtambahan+1EY	-220,29	-22655,2	-47663,1
289	0	Envelope	-2273,05	-22181,9	-52352,1
289	0	D+2Dtambahan+1EY	-2273,05	-22181,9	-52352,1
76	0	Envelope	-153,84	-20216,8	-42905,8
76	0	D+2Dtambahan+1EY	-153,84	-20216,8	-42905,8
301	0	Envelope	-2097,56	-19465,6	-46838,4
301	0	D+2Dtambahan+1EY	-2097,56	-19465,6	-46838,4
307	0	Envelope	-3910,25	-11496,7	-29344,9
307	0	D+2Dtambahan+1EY	-3910,25	-11496,7	-29344,9
319	0	Envelope	-3731,06	-10368,9	-26595,5
319	0	D+2Dtambahan+1EY	-3731,06	-10368,9	-26595,5
75	0	Envelope	-648,93	-9663,54	19040,54
75	0	D+2Dtambahan+1EY	-648,93	-9663,54	19040,54



## LAMPIRAN 9

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	Ratio Type	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
100	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,506786	PMM	Envelope	3,275
101	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,515005	PMM	Envelope	0
102	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,59213	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,275
103	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,580497	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
104	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,735509	PMM	Envelope	3,275
105	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,733391	PMM	Envelope	0
106	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,785799	PMM	Envelope	3,275
107	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,805321	PMM	Envelope	0
108	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,743152	PMM	Envelope	3,275
110	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,742236	PMM	Envelope	0
115	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,537951	PMM	Envelope	3,275
116	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,545548	PMM	Envelope	0
117	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,146353	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,38351
118	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,106177	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
287	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,613065	PMM	Envelope	3,275
288	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,60069	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
291	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,540342	PMM	Envelope	3,275
292	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,547053	PMM	Envelope	0
293	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,738419	PMM	Envelope	3,275
294	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,736386	PMM	Envelope	0
295	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,789051	PMM	Envelope	3,275
296	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,807391	PMM	Envelope	0
297	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,746874	PMM	Envelope	3,275
298	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,745993	PMM	Envelope	0
299	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,559652	PMM	Envelope	3,275
300	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,571718	PMM	Envelope	0
303	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,18897	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,38351
304	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,154783	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0
305	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,339223	PMM	Envelope	3,275
306	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,337395	PMM	Envelope	0
309	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,301165	PMM	Envelope	3,275
310	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,301369	PMM	Envelope	0
311	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,394745	PMM	Envelope	3,275
312	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,389421	PMM	Envelope	0
313	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,43782	PMM	Envelope	3,275
314	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,433286	PMM	Envelope	0
315	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,393169	PMM	Envelope	3,275
316	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,391925	PMM	Envelope	0
317	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,317633	PMM	Envelope	3,275
318	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,314039	PMM	Envelope	0
321	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,102114	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	3,38351
322	BALOK MELINTANG WF350X175X7X11	0,094338	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	0

## LAMPIRAN 10

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>					
<b>Frame</b>	<b>Station</b>	<b>OutputCase</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>M3</b>
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
295	0	D+2Dtambahan+1,8L	167,49	-6051,1	570,82
295	0	Envelope	27,49	-6051,1	344,47
106	0	D+2Dtambahan+1,8L	-393,73	-6023,39	568,91
106	0	Envelope	-393,73	-6023,39	342,42
297	0	D+2Dtambahan+1,8L	353,74	-5608,02	754,82
297	0	Envelope	140,96	-5608,02	468,45
108	0	D+2Dtambahan+1,8L	-276,14	-5597,13	731,58
108	0	Envelope	-276,14	-5597,13	456,04
104	0	D+2Dtambahan+1,8L	-306,86	-5573,88	719,69
104	0	Envelope	-306,86	-5573,88	448,9
293	0	D+2Dtambahan+1,8L	336,64	-5571,88	742,06
293	0	Envelope	94,73	-5571,88	461,24
287	0	D+2Dtambahan+1,8L	-28,15	-4891,32	327,3
287	0	Envelope	-77,44	-4891,32	170,46
102	0	D+2Dtambahan+1,8L	-1,59	-4685,96	315,8
102	0	Envelope	-3,75	-4685,96	169,61
299	0	D+2Dtambahan+1,8L	334,27	-4600,71	435,97
299	0	Envelope	184,67	-4600,71	224,46
291	0	D+2Dtambahan+1,8L	346,17	-4438,79	419,81
291	0	Envelope	192,46	-4438,79	214,81
115	0	D+2Dtambahan+1,8L	56,33	-4356,07	427,94
115	0	Envelope	14,38	-4356,07	244,42
100	0	D+2Dtambahan+1,8L	95,11	-4212,59	403,49
100	0	Envelope	38,85	-4212,59	231,13
296	0	D+2Dtambahan+1,8L	622,28	2766,06	14906,42
296	0	Envelope	622,28	2766,06	14906,42

## LAMPIRAN 11

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
347	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,479798	PMM	Envelope	0
348	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,837702	PMM	Envelope	4,5
349	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,484193	PMM	Envelope	0
350	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,884167	PMM	Envelope	4,5
351	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,477753	PMM	Envelope	0
352	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,7939	PMM	Envelope	4,5
74	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,485868	PMM	Envelope	0
80	KOLOM PORTAL WF400X400X13X21	0,887077	PMM	Envelope	4,5

## LAMPIRAN 12

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M2	M3
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m
80	4,5	D+2Dtambahan+L.8L	-119754	-3702,89	96,97	6832,17
80	4,5	Envelope	-119754	-18753,73	-46,54	-42151,05
350	4,5	D+2Dtambahan+L.8L	-119488,36	3557,38	105,02	-6480,41
350	4,5	Envelope	-119488,36	-14322,1	-46,33	-50345,98
80	0	D+2Dtambahan+L.8L	-118920,35	-3702,89	-211,98	-9830,83
80	0	Envelope	-118920,35	-18753,73	-211,98	-33879,36
348	4,5	D+2Dtambahan+L.8L	-111708,57	-2952,28	1530,88	5335,09
348	4,5	Envelope	-111708,57	-16708,07	850,6	-38753,76
352	4,5	D+2Dtambahan+L.8L	-104128,43	3097,79	611,37	-5794,14
352	4,5	Envelope	-104128,43	-12993,78	228,98	-45655,87
80	4,5	D+2Dtambahan+LE.Y	-59395,25	14211,75	76,37	50565,15
80	4,5	Envelope	-59395,25	14211,75	136,83	50565,15

## LAMPIRAN 13

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
353	RANGKA WF250X250X9X14	0,099692	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
354	RANGKA WF250X250X9X14	0,203204	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
355	RANGKA WF250X250X9X14	0,09592	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
356	RANGKA WF250X250X9X14	0,097375	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
357	RANGKA WF250X250X9X14	0,201853	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
358	RANGKA WF250X250X9X14	0,206411	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
359	RANGKA WF250X250X9X14	0,095311	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5
360	RANGKA WF250X250X9X14	0,097121	PMM	D+2Dtambahan+1,8L	4,5

## LAMPIRAN 14

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M2	M3
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m
358	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-29962,12	0	0	0
358	4,5	Envelope	-29962,12	0	0	0
354	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-29496,65	0	0	0
354	4,5	Envelope	-29496,65	0	0	0
357	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-29300,58	0	0	0
357	4,5	Envelope	-29300,58	0	0	0
353	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-28942,14	0	0	0
353	4,5	Envelope	-28942,14	0	0	0
356	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-28269,58	0	0	0
356	4,5	Envelope	-28269,58	0	0	0
360	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-28195,77	0	0	0
360	4,5	Envelope	-28195,77	0	0	0
355	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-27847,06	0	0	0
355	4,5	Envelope	-27847,06	0	0	0
359	4,5	D+2Dtambahan+1,8L	-27670,4	0	0	0
359	4,5	Envelope	-27670,4	0	0	0

## LAMPIRAN 15

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
154	RANGKA WF200X200X8X12	0.028132	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	3.25346
155	RANGKA WF200X200X8X12	0.372311	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
156	RANGKA WF200X200X8X12	0.244945	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
157	RANGKA WF200X200X8X12	0.040202	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
158	RANGKA WF200X200X8X12	0.033819	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
159	RANGKA WF200X200X8X12	0.226447	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
160	RANGKA WF200X200X8X12	0.364862	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
161	RANGKA WF200X200X8X12	0.022688	PMM	Envelope	2.39648
162	RANGKA WF200X200X8X12	0.016405	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.39648
163	RANGKA WF200X200X8X12	0.349282	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
164	RANGKA WF200X200X8X12	0.276042	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
165	RANGKA WF200X200X8X12	0.053904	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
166	RANGKA WF200X200X8X12	0.062674	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
167	RANGKA WF200X200X8X12	0.291233	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
168	RANGKA WF200X200X8X12	0.357777	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
169	RANGKA WF200X200X8X12	0.041642	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	3.25346
170	RANGKA WF200X200X8X12	0.029377	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	3.25346
171	RANGKA WF200X200X8X12	0.371606	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
172	RANGKA WF200X200X8X12	0.241503	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
173	RANGKA WF200X200X8X12	0.040459	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
174	RANGKA WF200X200X8X12	0.03577	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
175	RANGKA WF200X200X8X12	0.228138	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
176	RANGKA WF200X200X8X12	0.367906	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
177	RANGKA WF200X200X8X12	0.018398	PMM	Envelope	2.80502
178	RANGKA WF200X200X8X12	0.035903	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.80502
179	RANGKA WF200X200X8X12	0.354234	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
180	RANGKA WF200X200X8X12	0.275784	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
181	RANGKA WF200X200X8X12	0.056541	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
182	RANGKA WF200X200X8X12	0.062847	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
183	RANGKA WF200X200X8X12	0.28605	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
184	RANGKA WF200X200X8X12	0.356675	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	2.85044
185	RANGKA WF200X200X8X12	0.043535	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	3.25346
327	RANGKA WF200X200X8X12	0.00254	PMM	D+2Dtambahan+1EX	4.5
328	RANGKA WF200X200X8X12	0.022163	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
329	RANGKA WF200X200X8X12	0.077874	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
330	RANGKA WF200X200X8X12	0.084205	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD99					
Frame	DesignSect	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Unitless	Text	Text	m
331	RANGKA WF200X200X8X12	0.03414	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
332	RANGKA WF200X200X8X12	0.045518	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
333	RANGKA WF200X200X8X12	0.071937	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
334	RANGKA WF200X200X8X12	0.078533	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
335	RANGKA WF200X200X8X12	0.008693	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
336	RANGKA WF200X200X8X12	0.019718	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
337	RANGKA WF200X200X8X12	0.002407	PMM	D+2Dtambahan+1EX	4.5
338	RANGKA WF200X200X8X12	0.021022	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
339	RANGKA WF200X200X8X12	0.077592	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
340	RANGKA WF200X200X8X12	0.084565	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
341	RANGKA WF200X200X8X12	0.034155	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
342	RANGKA WF200X200X8X12	0.045067	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
343	RANGKA WF200X200X8X12	0.069569	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
344	RANGKA WF200X200X8X12	0.076527	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5
345	RANGKA WF200X200X8X12	0.003874	PMM	Envelope	4.5
346	RANGKA WF200X200X8X12	0.027394	PMM	D+2Dtambahan+1.8L	4.5

## LAMPIRAN 16

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M2	M3
Text	m	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m
155	0	D+2Dtambahan+1.8L	49591.44	-93.81	0	0
155	0	Envelope	49591.44	-93.81	0	0
171	0	D+2Dtambahan+1.8L	49494.93	-93.81	0	0
171	0	Envelope	49494.93	-93.81	0	0
176	0	D+2Dtambahan+1.8L	48747.88	-93.81	0	0
176	0	Envelope	48747.88	-93.81	0	0
160	0	D+2Dtambahan+1.8L	48331.62	-93.81	0	0
160	0	Envelope	48331.62	-93.81	0	0
168	0	D+2Dtambahan+1.8L	47362.88	-93.81	0	0
168	0	Envelope	47362.88	-93.81	0	0
184	0	D+2Dtambahan+1.8L	47212.08	-93.81	0	0
184	0	Envelope	47212.08	-93.81	0	0
179	0	D+2Dtambahan+1.8L	47119.56	-93.81	0	0
179	0	Envelope	47119.56	-93.81	0	0
163	0	D+2Dtambahan+1.8L	46442.45	-93.81	0	0
163	0	Envelope	46442.45	-93.81	0	0
167	0	D+2Dtambahan+1.8L	38263.9	-93.81	0	0
167	0	Envelope	38263.9	-93.81	0	0

## LAMPIRAN 17

<b>TABLE: Joint Displacements</b>					
<b>Joint</b>	<b>OutputCase</b>	<b>Case Type</b>	<b>U1</b>	<b>U2</b>	<b>U3</b>
Text	Text	Text	m	m	m
22	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000062	-0.000009952	-0.020394
5	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000002141	0.000006602	-0.020167
33	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000088	-0.000029	-0.019051
32	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000035	0.000007793	-0.018989
156	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000063	-0.000013	-0.018916
154	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.00005	-0.000001361	-0.018903
155	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000056	-0.000007101	-0.01871
16	D+Dtambahan+L	LinStatic	0.000031	0.000004507	-0.01869
139	D+Dtambahan+L	LinStatic	0.000011	0.000007852	-0.01869
137	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000015	0.000008167	-0.018673
15	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000035	0.000006017	-0.018582
138	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000001787	0.000007993	-0.018497
157	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000081	-0.000027	-0.017456
153	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000032	0.000009831	-0.017401
140	D+Dtambahan+L	LinStatic	0.000036	0.000004928	-0.017104
136	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000037	0.000006535	-0.016999
158	D+Dtambahan+L	LinStatic	-0.000102	-0.000043	-0.015205

























## **BIODATA PENULIS**

### **Azizur Rahman**



Lahir di Pamekasan, Jawa Timur pada tanggal 11 Januari 1993, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dari pasangan Moh. Suba'i dan Murtiningsih.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN II Larangan Dalam, MTs. Miftahul Qulub Polagan, dan MAN 1 Pamekasan. Selama SMA penulis meraih penghargaan OSN bidang Fisika baik tingkat Kabupaten maupun Provinsi. Kemudian penulis melanjutkan studinya di Universitas Gadjah Mada. Penulis lulus Diploma III pada tahun 2014. Setelah lulus jenjang Diploma III penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil (FTSP - ITS) Surabaya melalui Program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP. 3114105040.

Di Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITS Surabaya, penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang Studi Struktur.