

EVALUASI KINERJA STRUKTUR JEMBATAN TIPE SUSPENSI DENGAN ANALISIS RESPONS SPEKTRUM DAN RIWAYAT WAKTU

Claudia Feby Lesmana
NRP: 1521056

Pembimbing: Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara rawan gempa, hal ini dikarenakan Indonesia terletak di lingkaran api pasifik. Berdasarkan data Departemen Dalam Negeri Republik Indonesia Tahun 2004, Indonesia memiliki 17.504 buah pulau. Pembangunan jembatan dianggap sebagai prioritas utama, karena jembatan merupakan satu-satunya infrastruktur yang dapat menghubungkan satu pulau ke pulau yang lainnya.

Tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi kinerja struktur jembatan tipe suspensi dengan analisis respons spektrum dan riwayat waktu menggunakan *software* MIDAS CIVIL. Data struktur yang diamati/analisis digunakan data struktur jembatan eksisting yang terletak di Sungai Mahakam, Tenggarong, Kalimantan Timur. Pada analisis respons spektrum digunakan data gempa sesuai dengan pengaplikasian jembatan yang pernah ada yaitu di Sungai Mahakam, Tenggarong, Kalimantan Timur. Sedangkan analisis riwayat waktu digunakan data gempa yang pernah terjadi di El Centro, California dengan *magnitude* 7,1.

Dari hasil pengecekan struktur, penggunaan profil yang digunakan terhadap beban-beban yang terjadi mencukupi/kuat menahan beban. Untuk lendutan akibat beban hidup memenuhi syarat ijin, yaitu lendutan akibat beban hidup lebih kecil dari lendutan izin. Hasil deformasi analisis respons spektrum dan riwayat waktu pada ujung *pylon* memiliki perbedaan 433,1% lebih rendah dari analisis riwayat waktu dan pada tengah bentang hasil dari analisis respons spektrum berbeda 213,8% lebih rendah dari analisis riwayat waktu.

Kata kunci: jembatan suspensi, analisis respons spektrum, analisis riwayat waktu

PERFORMANCE EVALUATION STRUCTURE OF THE SUSPENSION BRIDGE WITH RESPONSE SPECTRUM AND TIME HISTORY ANALYSIS

**Claudia Feby Lesmana
NRP: 1521056**

Supervisor: Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.

ABSTRACT

Indonesia is prone to earthquake due to their geographic location near the Pacific Ring of Fire. According to Indonesia Ministry of Internal Affairs data, Indonesia has 17.504 islands. This fact points out the importance of bridges constructions that should remains as the top priority to connect one island to another.

Thus, the purpose of this study is to evaluate the performance of suspension-type bridge with spectrum response analysis by doing a Time History and Response Spectra Analysis, with the help of MIDAS CIVIL. The resource of this analysis will come from the structural data of a bridge in Mahakam River, Tenggarong, East Borneo. Within the response Spectra analysis, the data used is based on the bridge-implementation that has existed around the Mahakam River area. Meanwhile time history analysis used the data of an earthquake that happened in El Centro, California, within 7.1 Richter Scale.

From both results, it shown that the profile actually strong enough to bare the effect of earthquake and burden. Deflection that occurs due to live loads does not exceed permit deflection. The deformation results of time history and response Spectrum analysis at the edge of the pylon had a differences of 433.1% lower than time history analysis and response spectra results came out 213.8% lower than the time history analysis.

Keywords: suspension bridge, response spectrum analysis, time history analysis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINILITAS LAPORAN PENELITIAN	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
1.5 Lisensi Perangkat Lunak	4
BAB II STUDI LITERATUR	5
2.1 Jembatan	5
2.1.1 Definisi Jembatan	5
2.1.2 Jenis-jenis Jembatan	6
2.2 Baja	12
2.2.1 Sifat Umum Baja	12
2.2.2 Keuntungan Penggunaan Baja	13
2.2.3 Kerugian Penggunaan Baja	14
2.3 Gaya-Gaya Dalam (Respon Struktur)	15
2.3.1 Gaya Aksial	15
2.3.2 Momen	16
2.3.3 Defleksi	16
2.4 Pembebanan	18
2.4.1 Aksi Tetap	18
2.4.2 Aksi Sementara (<i>Transient Action</i>)	19
2.4.3 Kombinasi Pembebanan	22
2.5 Perencanaan Struktur	24
2.5.1 Batang Tarik	24
2.5.2 Batang Tekan	25
2.5.3 Struktur Kabel	25
2.6 Persyaratan Simpangan	27
2.7 Frekuensi Natural	28
2.8 Analisis Respons Spektrum	29
2.9 Analisis Riwayat Waktu	31

2.10 <i>Midas Civil</i>	32
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Diagram Alir Penelitian	35
3.2 Data Struktur dan Material	38
3.3 Perhitungan Pembebanan	40
3.3.1 Berat Sendiri (MS)	40
3.3.2 Beban Mati Tambahan (MA)	41
3.3.3 Beban Lajur (TD)	41
3.3.4 Gaya Rem (TB)	43
3.3.5 Pejalan Kaki (TP)	43
3.3.6 Beban Angin (EW)	44
3.3.7 Beban Gempa	44
3.3.7.1 Respons Spektrum	44
3.3.7.2 Riwayat Waktu	46
3.4 Pemodelan Struktur	47
BAB IV ANALISIS DATA	66
4.1 Gaya-gaya Dalam	64
4.2 Hasil Frekuensi Natural	70
4.3 Analisis Respons Spektrum	74
4.4 Analisis Riwayat Waktu	82
4.5 Lendutan Izin	89
4.6 Pembahasan Kinerja Jembatan	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	100
5.1 Kesimpulan	100
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Jembatan Kutai Kartanegara	2
Gambar 2.1	Jembatan Baja Multi Girder I	6
Gambar 2.2	Jembatan Gelagar Pelat Multi Span, dengan Cross Bracing dan Stiffener, Komposit	7
Gambar 2.3	Jembatan Gelagar Kotak (<i>Box Girder</i>), <i>Multi Span</i>	7
Gambar 2.4	Jembatan Gelagar Kotak Tunggal (<i>Box Girder</i>), <i>Multi Span</i>	8
Gambar 2.5	Tipe-tipe Jembatan Rangka	8
Gambar 2.6	Jembatan Rangka baja	9
Gambar 2.7	Jembatan Gantung	11
Gambar 2.8	Jembatan Sutong, Melintasi Sungai Yangtze, RRC	11
Gambar 2.9	Tanda Arah Momen	16
Gambar 2.10	Defleksi Pada Balok	17
Gambar 2.11	Beban Lajur “D”	20
Gambar 2.12	Faktor Beban Dinamis (FBD)	21
Gambar 2.13	Diagram Alir Perencanaan Struktur Batang Tarik	25
Gambar 2.14	Diagram Alir Perencanaan Struktur Batang Tekan	26
Gambar 2.15	Diagram Alir Perencanaan Struktur Kabel	27
Gambar 2.16	Lendutan Akibat Getaran Jembatan	28
Gambar 2.17	Contoh Pemodelan Jembatan Suspensi	33
Gambar 2.18	Jenis Proyek yang Dapat Diaplikasikan di Midas/Civil	34
Gambar 2.19	Tampilan Program Midas/Civil	34
Gambar 2.20	Contoh Analisis Jembatan Pada Program Midas/Civil	36
Gambar 2.21	Contoh Hasil Berupa Tabel Pada Program Midas/Civil	36
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2	Peta Lokasi Jembatan	38
Gambar 3.3	Komponen Utama Struktur Jembatan Kutai Kartanegara	38
Gambar 3.4	Penampang Memanjang Jembatan Kutai Kartanegara dengan <i>Software</i> Midas Civil	38
Gambar 3.5	Penampang melintang Jembatan Kutai Kartanegara dengan <i>Software</i> Midas Civil	39
Gambar 3.6	Tampak 3D Jembatan Kutai Kartanegara dengan <i>Software</i> Midas Civil	39
Gambar 3.7	Data Material Struktur Jembatan <i>Existing</i>	40
Gambar 3.8	Data Profil Struktur Jembatan <i>Existing</i>	40
Gambar 3.9	Beban Lajur “D”	42
Gambar 3.10	Lokasi Jembatan yang Akan Didesain	45
Gambar 3.11	Respon Spektrum Kalimantan Timur	45
Gambar 3.12	Data Respon Spektrum Kalimantan Timur (1)	45
Gambar 3.13	Data Respon Spektrum Kalimantan Timur (2)	46
Gambar 3.14	Data Respon Spektrum Kalimantan Timur (3)	46
Gambar 3.15	Riwayat Waktu Gempa El Centro di California	47
Gambar 3.16	Pemodelan Struktur Langkah 1	47
Gambar 3.17	Pemodelan Struktur Langkah 2	48
Gambar 3.18	Pemodelan Struktur Langkah 3	48

Gambar 3.19 Pemodelan Struktur Langkah 4	49
Gambar 3.20 Pemodelan Struktur Langkah 5	49
Gambar 3.21 Pemodelan Struktur Langkah 6	50
Gambar 3.22 Pemodelan Struktur Langkah 7	50
Gambar 3.23 Pemodelan Struktur Langkah 8	51
Gambar 3.24 Pemodelan Struktur Langkah 9	51
Gambar 3.25 Pemodelan Struktur Langkah 10	52
Gambar 3.26 Pemodelan Struktur Langkah 11	52
Gambar 3.27 Pemodelan Struktur Langkah 12	53
Gambar 3.28 Pemodelan Struktur Langkah 13	53
Gambar 3.29 Pemodelan Struktur Langkah 14	54
Gambar 3.30 Pemodelan Struktur Langkah 15	54
Gambar 3.31 Pemodelan Struktur Langkah 16	55
Gambar 3.32 Pemodelan Struktur Langkah 17	55
Gambar 3.33 Pemodelan Struktur Langkah 18	56
Gambar 3.34 Pemodelan Struktur Langkah 19	56
Gambar 3.35 Pemodelan Struktur Langkah 20	57
Gambar 3.36 Pemodelan Struktur Langkah 21	57
Gambar 3.37 Pemodelan Struktur Langkah 22	58
Gambar 3.38 Pemodelan Struktur Langkah 23	58
Gambar 3.39 Pemodelan Struktur Langkah 24	59
Gambar 3.40 Pemodelan Struktur Langkah 25	59
Gambar 3.41 Pemodelan Struktur Langkah 26	60
Gambar 3.42 Pemodelan Struktur Langkah 27	60
Gambar 3.43 Pemodelan Struktur Langkah 28	61
Gambar 3.44 Pemodelan Struktur Langkah 29	61
Gambar 3.45 Pemodelan Struktur Langkah 30	62
Gambar 3.46 Pemodelan Struktur Langkah 31	62
Gambar 3.47 Pemodelan Struktur Langkah 32	63
Gambar 3.48 Pemodelan Struktur Langkah 33	63
Gambar 4.1 Lokasi Batang Tarik yang Diamati (1)	64
Gambar 4.2 Lokasi Batang Tarik yang Diamati (2)	64
Gambar 4.3 Lokasi Batang Tarik yang Diamati (3)	65
Gambar 4.4 Lokasi Batang Tekan yang Diamati (1)	66
Gambar 4.5 Lokasi Batang Tekan yang Diamati (2)	66
Gambar 4.6 Lokasi Batang Tekan yang Diamati (3)	66
Gambar 4.7 Lokasi Kabel Utama yang Diamati (1)	67
Gambar 4.8 Lokasi Kabel Utama yang Diamati (2)	67
Gambar 4.9 Lokasi Kabel Utama yang Diamati (3)	68
Gambar 4.10 Lokasi Kabel Gantung yang Diamati (1)	69
Gambar 4.11 Lokasi Kabel Gantung yang Diamati (2)	69
Gambar 4.12 Lokasi Kabel Gantung yang Diamati (3)	69
Gambar 4.13 Hasil Frekuensi dan Periode Alami Struktur Jembatan	70
Gambar 4.14 Hasil Mode Getar 1	71
Gambar 4.15 Hasil Mode Getar 2	71
Gambar 4.16 Hasil Mode Getar 3	71
Gambar 4.17 Lendutan Jembatan Akibat Berat Sendiri	73
Gambar 4.18 Lendutan Jembatan Akibat Berat Sendiri dan Beban 1kN	73

Gambar 4.19 Hasil Perpindahan Arah X Akibat Respons Spektrum	74
Gambar 4.20 Hasil Perpindahan Arah Y Akibat Respons Spektrum	74
Gambar 4.21 Hasil Perpindahan Arah Z Akibat Respons Spektrum	75
Gambar 4.22 Bagian Perpindahan yang Ditinjau	75
Gambar 4.23 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 1 (rsx)	76
Gambar 4.24 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 2 (rsx)	76
Gambar 4.25 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 1 (rsx)	77
Gambar 4.26 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 2 (rsx)	77
Gambar 4.27 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 1 (rsx)	78
Gambar 4.28 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 2 (rsx)	78
Gambar 4.29 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 1 (rsy)	79
Gambar 4.30 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 2 (rsy)	79
Gambar 4.31 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 1 (rsy)	80
Gambar 4.32 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 2 (rsy)	80
Gambar 4.33 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 1 (rsy)	81
Gambar 4.34 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 2 (rsy)	81
Gambar 4.35 Hasil Perpindahan Arah X Akibat <i>Time History</i>	82
Gambar 4.36 Hasil Perpindahan Arah Y Akibat <i>Time History</i>	82
Gambar 4.37 Hasil Perpindahan Arah Z Akibat <i>Time History</i>	83
Gambar 4.38 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 1 (thx)	83
Gambar 4.39 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 2 (thx)	84
Gambar 4.40 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 1 (thx)	84
Gambar 4.41 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 2 (thx)	85
Gambar 4.42 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 1 (thx)	85
Gambar 4.43 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 2 (thx)	86
Gambar 4.44 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 1 (thy)	86
Gambar 4.45 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kiri Posisi 2 (thy)	87
Gambar 4.46 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 1 (thy)	87
Gambar 4.47 Hasil Perpindahan Ujung <i>Pylon</i> Kanan Posisi 2 (thy)	88
Gambar 4.48 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 1 (thy)	88
Gambar 4.49 Hasil Perpindahan Tengah Bentang Jembatan Posisi 2 (thy)	89
Gambar 4.50 Lendutan yang Terjadi Akibat Beban Hidup	89
Gambar 4.51 Data Profil Batang Tarik	90
Gambar 4.52 Data Profil Batang Tekan	91
Gambar 4.53 Data Profil Kabel Utama	94
Gambar 4.54 Data Profil Kabel Gantung	95
Gambar 4.55 Kurva Hasil Perpindahan Arah Y pada Analisis Respons Spektrum dan Riwayat Waktu	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Lendutan Diperlukan	17
Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri (MS)	19
Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan (MA)	19
Tabel 2.4 Kombinasi Pembebanan	23
Tabel 2.5 Simpangan Antar Lantai Izin	26
Tabel 2.6 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan 0,2 Detik (FPGA/Fa)	30
Tabel 2.7 Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (Fv)	30
Tabel 3.1 Perhitungan Beban Mati Tambahan	41
Tabel 4.1 Hasil Gaya Dalam pada Batang Tarik Elemen 1219	65
Tabel 4.2 Hasil Gaya Dalam pada Batang Tekan Elemen 1049	67
Tabel 4.3 Hasil Gaya Dalam pada Kabel Utama Elemen 7645	66
Tabel 4.4 Hasil Gaya Dalam pada Kabel Gantung Elemen 735	70
Tabel 4.5 Waktu Getar, Frekuensi Hasil Analisis Jembatan	72
Tabel 4.6 Hasil Deformasi Respons Spektrum dan Riwayat Waktu	97
Tabel 4.7 Pengecekan Simpangan Desain Terhadap Simpangan Izin	97
Tabel 4.8 Perbedaan Deformasi Respons Spektrum dengan Riwayat Waktu	98
Tabel 4.9 Perbedaan Lendutan Respons Spektrum dengan Riwayat Waktu	99



DAFTAR NOTASI

γ_{EQ}	Faktor beban hidup kondisi gempa
ϕ_t	0,9 terhadap keruntuhan leleh
A_b	Luas bidang samping jembatan
A_g	Luas penampang utuh
A_s	Percepatan gempa
BF	Gaya friksi
C_w	Koefisien seret
D_x	Perpindahan arah x
D_y	Perpindahan arah y
ET	Gaya akibat temperatur gradien
EU_n	Gaya akibat temperatur seragam
EF	Gaya apung
EU	Beban arus dan hanyutan
EW_s	Beban angin pada struktur
EW_L	Beban angin pada kendaraan
EQ	Gaya gempa
F_a	Faktor amplifikasi periode pendek
$FPGA$	Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar
F_v	Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik
F_x	Gaya geser arah x
F_y	Gaya geser arah y
F_y	Tegangan leleh
L	Panjang total jembatan yang dibebani (meter)
$L_{rata-rata}$	Panjang bentang rata-rata dari bentang-bentang menerus.
L_{maks}	Panjang bentang maksimum dari bentang-bentang menerus.
MA	Beban mati perkerasan dan utilitas
MS	Beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan
PGA	Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7 % dalam 75 tahun
PL	Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental
PR	Prategang
q	Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)
$S1$	Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
SA	Batuan keras
SB	Batuan
SC	Tanah keras
SE	Beban akibat penurunan
$SD1$	Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

SD	Tanah sedang
SDS	Nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T = 0,2$ detik)
SE	Tanah lunak
SF	Tanah khusus
SH	Gaya akibat susut/rangkak
Ss	Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T=0,2$ detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
T	Periode getar fundamental struktur
To	Periode getar fundamental struktur pada awal SDS
TA	Gaya horizontal akibat tekanan tanah
TB	Gaya akibat rem
TC	Gaya akibat tumbukan kendaraan
TD	Beban lajur "D"
TP	Beban pejalan kaki
TR	Gaya sentrifugal
Ts	Periode getar fundamental struktur pada akhir SDS
TT	Beban truk "T"
TV	Gaya akibat tumbukan kapal
Vw	Kecepatan angin rencana



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L.1 Struktur Jembatan <i>Existing</i>	103
Lampiran L.2 Data Material Struktur Jembatan <i>Existing</i>	104
Lampiran L.3 Data Profil Struktur Jembatan <i>Existing</i>	105
Lampiran L.4 Gaya Dalam pada Batang Tarik yang Terjadi di Jembatan <i>Existing</i>	106
Lampiran L.5 Gaya Dalam pada Batang Tekan yang Terjadi di Jembatan <i>Existing</i>	112
Lampiran L.6 Gaya Dalam pada Kabel Utama yang Terjadi di Jembatan <i>Existing</i>	118
Lampiran L.7 Gaya Dalam pada Kabel Gantung yang Terjadi di Jembatan <i>Existing</i>	120

