

TUGAS AKHIR

PERKUATAN STRUKTUR JEMBATAN KERETA API RANGKA BAJA TIPE WARREN BENTANG 42 METER AKIBAT PENURUNAN MUTU BAJA 30% DAN PEMBEBANAN GEMPA SNI 1725:2016 DENGAN METODE PENGGANTIAN BATANG LEMAH

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

Bintang Noorrohmad Wahyu Nugroho

20150110227

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2019

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bintang Noorrohmad Wahyu Nugroho
NIM : 20150110227
Judul : Perkuatan Struktur Jembatan Kereta Api Rangka Baja
Tipe *Warren* Bentang 42 Meter Akibat Penurunan Mutu
Baja 30% dan Pembebanan Gempa SNI 1725:2016
dengan Metode Pergantian Batang Lemah

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 14 Juli 2019

Yang membuat pernyataan

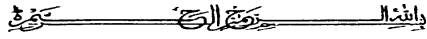


Bintang Noorrohmad Wahyu Nugroho

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk memperluas khasanah keilmuan mengenai jembatan di Indonesia, bagian dari baktiku kepada bapak Ponijo dan ibu Chory Ambariatun yang telah merawat dan membesarkan dengan kasih yang tak ada ujung serta dukungan moral, moril, doa dan material, untuk Fawwaz Naufal Rafiq saudaraku, untuk guru-guruku yang telah mengajarkan ilmu yang bermanfaat serta mendidikku dengan sabar, untuk perempuan yang kelak menjadi pasangan hidupku, untuk keluarga bahagiaku kelak, untuk seluruh kaum muslimin, serta untuk rekan-rekan yang telah membantu selama masa kuliah dan menyelesaikan penelitian ini. Semoga dapat bermanfaat bagi agama, bangsa, dan negaraku.

PRAKATA



Assalamu 'alaykum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah 'Azza wa Jalla Yang Menguasai segala sesuatu, Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah *Shalallahu 'alaihi wa salam* beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui perkuatan efekif yang dapat dilakukan pada jembatan rangka baja.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penyusun mendapat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yakni kepada:

1. Bapak Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi
2. Bapak Bagus Soebandono, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing
3. Bapak Ponijo dan ibu Chory Ambariatun selaku orang tua, Fawwaz Naufal Rafiq selaku adik, yang selalu memberikan arahan selama belajar dan menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Saudara Raka Putra Ismayana, Arik Nauval Anam, Jannatan Firdaus selaku tim dalam menjalankan penelitian ini.

Akhirnya, setelah segala ikhtiar dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

Wallahu a 'lam bi Showab.

Wassalamu 'alaykum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 14 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERKUATAN STRUKTUR JEMBATAN KERETA API RANGKA BAJA TIPE WARREN BENTANG 42 METER AKIBAT PENURUNAN MUTU BAJA 30% DAN PEMBEBANAN GEMPA SNI 1725:2016 DENGAN METODE PENGANTIAN BATANG LEMAH	ii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Lingkup Penelitian.....	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka.....	4
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. Baja	7
2.2.2. Jembatan.....	7
2.2.3. Jembatan Rangka	8
2.2.4. Pembebanan Jembatan	9
2.2.5. Penurunan Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Baja	14
2.2.6. Perkuatan Jembatan.....	15
BAB III. METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Umum	16

3.2	Kriteria Desain.....	16
3.2.1.	Data Umum Jembatan.....	16
3.2.2.	Data Teknis Jembatan.....	16
3.2.3.	Data Profil Rangka Baja.....	17
3.3	Tahap Pemodelan Desain.....	17
3.4	Pemodelan Desain.....	21
3.5	Pembebanan.....	24
3.6	Kombinasi Pembebanan.....	35
3.7	Penggantian Elemen Lemah.....	35
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1.	Hasil <i>Mode Shape</i> dan Pembahasan.....	36
4.2.	Hasil <i>Displacement</i> dan Pembahasan.....	42
4.3.	Hasil Kontrol Tegangan dan Pembahasan.....	47
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....		64
5.1.	Kesimpulan.....	64
5.2.	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....		66
LAMPIRAN.....		68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berat Jenis Bahan (PM No.60, 2012)	11
Tabel 3. 1 Berat Jenis Bahan (PM No.60, 2012).....	25
Tabel 3. 2 Perhitungan Beban Mati	25
Tabel 3. 3 Perhitungan Luas Bidang Elemen Batang	29
Tabel 3. 4 Beban Angin Tekan dan Hisap	30
Tabel 3. 5 Faktor Amplifikasi Untuk PGA dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a)	32
Tabel 3. 6 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v).....	33
Tabel 4. 1 Nilai <i>Mode Shapes</i> Sebelum Perkuatan.....	36
Tabel 4. 2 Nilai <i>Mode Shapes</i> Setelah Perkuatan	37
Tabel 4. 3 Nilai <i>Ratio Mode Shape</i> Maksimum Arah UX, UY, UZ Sebelum Perkuatan	40
Tabel 4. 4 Nilai <i>Ratio Mode Shape</i> Maksimum Arah UX, UY, UZ Setelah Perkuatan	40
Tabel 4. 5 Nilai <i>Displacement</i> Maksimum arah perpindahan U1, U2, U3 Sebelum Perkuatan	43
Tabel 4. 6 Nilai <i>Displacement</i> Maksimum arah perpindahan U1, U2, U3 Setelah Perkuatan	43
Tabel 4. 7 Kondisi <i>Run Analysis</i> pada Beban yang Terjadi Sebelum Perkuatan..	48
Tabel 4. 8 Kondisi <i>Run Analysis</i> pada Beban yang Terjadi Sebelum Perkuatan..	48
Tabel 4. 9 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> yang Mengalami <i>Overstressed</i> pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12) Sebelum Perkuatan.....	50
Tabel 4. 10 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12) Setelah Perkuatan	50
Tabel 4. 11 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> yang Mengalami <i>Overstressed</i> pada Ikatan Angin Atas (IWF 150.150.7.10.) Sebelum Perkuatan	52
Tabel 4. 12 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> pada Ikatan Angin Atas Setelah Perkuatan ..	52
Tabel 4. 13 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> yang Mengalami <i>Overstressed</i> pada Gelagar Melintang (IWF1100.400.16.28) Sebelum Perkuatan.....	54
Tabel 4. 14 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> pada Ikatan Angin Atas Setelah Perkuatan ..	55

Tabel 4. 15 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> yang Mengalami <i>Overstressed</i> pada Gelagar Memanjang (IWF700.350.16.28) Sebelum Perkuatan	56
Tabel 4. 16 Kondisi Batang/ <i>Frame</i> pada Rangka Utama (IWF 350.250.9.12) Setelah Perkuatan	57
Tabel 4. 17 Nilai Tahanan pada Batang/ <i>Frame Overstressed</i> Sebelum Perkuatan	59
Tabel 4. 18 Nilai Tahanan pada Batang/ <i>Frame Overstressed</i> Setelah Perkuatan.	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model Jembatan Rangka (Satyarno, 2003)	9
Gambar 2. 2 Jumlah berat gandar 168 ton atau 87.5 ton/m (RM, 1921)	9
Gambar 2. 3 Jumlah berat gandar 24 ton atau 5 ton/m (RM, 1921)	10
Gambar 2. 4 Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)	10
Gambar 2. 5 Jika ada 5 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921).....	10
Gambar 2. 6 Jika ada 3 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921).....	10
Gambar 2. 7 Jika ada 2 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921).....	11
Gambar 2. 8 Jika ada 1 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921).....	11
Gambar 2. 9 Beban lateral kereta (PM No.60, 2012).....	13
Gambar 3. 1 Dimensi panjang bentang dan tinggi jembatan.....	17
Gambar 3. 2 Dimensi lebar jembatan.....	17
Gambar 3. 3 Diagram alir pemodelan struktur jembatan.....	20
Gambar 3. 4 Posisi dan macam profil pada jembatan rangka	21
Gambar 3. 5 Pembuatan <i>grid</i>	22
Gambar 3. 6 Tampilan <i>grid</i> yang telah dibuat	22
Gambar 3. 7 Penentuan material	23
Gambar 3. 8 <i>Input</i> dimensi profil baja	23
Gambar 3. 9 Penggambaran rangka jembatan.....	24
Gambar 3. 10 Tampilan pemodelan 3D pada SAP2000 V.20	24
Gambar 3. 11 Susunan lokomotif (L), <i>carier</i> (C) dan gerbong/ <i>wagon</i> (W)	26
Gambar 3. 12 Peta lokasi jembatan.....	30
Gambar 3. 13 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) (Peta Gempa, 2017)	31
Gambar 3. 14 Peta respon spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik) (S_s) (Peta Gempa, 2017).....	31
Gambar 3. 15 Peta respon spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1) (Peta Gempa, 2017).....	32
Gambar 3. 16 Grafik respon spektra	34
Gambar 4. 1. Grafik perbandingan periode sebelum dan setelah perkuatan.....	38

Gambar 4. 2 Grafik perbandingan nilai <i>ratio mode shape</i> arah UX	38
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan nilai <i>ratio mode shape</i> arah UY	39
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan nilai <i>ratio mode shape</i> arah UZ.....	39
Gambar 4. 5 <i>Mode shapes</i> 6 arah UX sebelum perkuatan	41
Gambar 4. 6 <i>Mode shapes</i> 6 arah UX setelah perkuatan	41
Gambar 4. 7 <i>Mode shapes</i> 1 arah UY sebelum perkuatan	41
Gambar 4. 8 <i>Mode shapes</i> 2 arah UY setelah perkuatan	41
Gambar 4. 9 <i>Mode shapes</i> 4 arah UZ sebelum perkuatan.....	42
Gambar 4. 10 <i>Mode shapes</i> 4 arah UZ setelah perkuatan.....	42
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan <i>displacement</i> arah perpindahan U1	44
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan <i>displacement</i> arah perpindahan U2	44
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan <i>displacement</i> arah perpindahan U3	45
Gambar 4. 14 Posisi <i>joint</i> 51	45
Gambar 4. 15 Detail <i>displacement joint</i> 51.....	46
Gambar 4. 16. Posisi <i>displacement joint</i> 53.....	46
Gambar 4. 17 Detail <i>displacement joint</i> 53.....	46
Gambar 4. 18 Posisi <i>displacement joint</i> 18.....	47
Gambar 4. 19. Detail <i>displacement joint</i> 18.....	47
Gambar 4. 20 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> sebelum dilakukan perkuatan	49
Gambar 4. 21 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> setelah dilakukan perkuatan	49
Gambar 4. 22 Posisi dan kondisi <i>frame</i> 35 sebelum perkuatan	50
Gambar 4. 23 Posisi dan kondisi <i>frame</i> 39 sebelum perkuatan	51
Gambar 4. 24 Posisi dan kondisi <i>frame</i> 35 setelah perkuatan.....	51
Gambar 4. 25 Posisi dan kondisi <i>frame</i> 39 setelah perkuatan.....	51
Gambar 4. 26 Grafik perbandingan nilai <i>ratio frame</i> 35 dan 36.....	51
Gambar 4. 27 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> pada ikatan angin atas sebelum dilakukan perkuatan.....	53
Gambar 4. 28 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> pada ikatan angin atas setelah dilakukan perkuatan	53

Gambar 4. 29 Grafik perbandingan nilai <i>ratio</i> pada ikatan angin atas sebelum dan setelah dilakukan perkuatan.....	54
Gambar 4. 30 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> pada gelagar melintang sebelum dilakukan perkuatan.....	55
Gambar 4. 31 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> pada gelagar melintang setelah dilakukan perkuatan.....	55
Gambar 4. 32 Grafik perbandingan nilai <i>ratio</i> pada gelagar melintang sebelum dan setelah dilakukan perkuatan.....	56
Gambar 4. 33 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> pada gelagar memanjang sebelum dilakukan perkuatan.....	58
Gambar 4. 34 Hasil <i>Run Analysis</i> dan <i>check structure</i> pada gelagar memanjang setelah dilakukan perkuatan.....	58
Gambar 4. 35 Grafik perbandingan nilai <i>ratio</i> pada gelagar memanjang sebelum dan setelah dilakukan perkuatan	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Koefisien Respon Gempa Elastik Untuk $T < T_0$	68
Lampiran 2. Tabel Koefisien Respon Gempa Elastik Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$	69
Lampiran 3. Tabel Koefisien Respon Gempa Elastik Untuk $T > T_s$	72
Lampiran 4. <i>Input</i> Material Dan Profil-Profil Baja.....	79
Lampiran 5. <i>Load Patterns, Load Cases</i> dan <i>Load Combinations</i>	84
Lampiran 6. Respon Spektrum.....	85
Lampiran 7. Pembebanan Pada Model Struktur Jembatan.....	86
Lampiran 8. Hasil <i>Run Batang/Frame Overstressed</i>	70

DAFTAR SINGKATAN

Simbol	Dimensi	Keterangan
Ab	[M ²]	Luas bidang elemen batang
Ae	[M ²]	Luas efektif bidang elemen batang
A _{maks}	[Ton/M]	Muatan gandar terbesar
At	[M ²]	Luas perimeter bidang elemen batang
As	[-]	Koefisien percepatan muka tanah
B	[Ton/M]	Beban rem dan traksi
C	[Ton/M]	Beban sentrifugal
C _w	[-]	Koefisien angin
Fa	[-]	Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0,2 detik
F _{PGA}	[-]	Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0 detik
F _v	[-]	Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0,1 detik
H _t	[M]	Tinggi total
<i>i</i>	[-]	Faktor kejut
L	[M]	Panjang bentang
L _f	[Ton/M]	Beban lateral kereta
L _r	[Ton/M]	Beban rel longitudinal
PGA	[-]	Percepatan puncak batuan dasar
S _s	[-]	Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek (T=0,2 detik)
S ₁	[-]	Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek (T=1,0 detik)
S _{D1}	[-]	Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik
S _{DS}	[-]	Nilai spektra permukaan tanah pada periode 0,2 detik
T ₀	[detik]	Periode awal
T _s	[detik]	Periode tertentu
T _{ew}	[Ton/M ²]	Tekanan angin
V	[Km/jam]	Kecepatan maksimum kereta
V _{rencana}	[Km/jam]	Kecepatan rencana kereta
V _w	[Km/jam]	Kecepatan angin
α	[-]	Koefisien beban sentrifugal
φ	[-]	Koefisien luas bidang elemen batang

DAFTAR ISTILAH

1. *Mode Shapes*
Mode Shapes ialah bentuk struktur ketika menerima getaran pada frekuensi alami.
2. *Displacement*
Displacement merupakan perpindahan posisi material dari posisi awal.
3. Tegangan
Tegangan ialah intensitas gaya per satuan luas.
4. Lendutan
Lendutan ialah perubahan bentuk pada arah gravitasi akibat beban pada batang.
5. Respon Spektra
Spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik antara periode getar (T) dan nilai-nilai percepatan puncak yang dihitung melalui koefisien respon gempa elastik (Csm).
6. *Hollow*
Profil baja yang berbentuk pipa.
7. IWF (*I Wide Flange*)
Profil baja yang berbentuk seperti huruf I, memiliki sayap/*flange* pada penampang atas dan bawah dan memiliki b (lebar) kurang dari h (tinggi).
8. ASTM A36
Material baja karbon rendah yang memiliki kekuatan yang cukup kuat dan mudah untuk dijadikan fabrikasi.
9. *Overstressed*
Elemen struktur mengalami kelebihan kapasitas ijin tegangan.