

---

## Analisa Non-Linier Pada Mekanisme Keruntuhan Jembatan Rangka Baja Tipe Pratt

Heri Istiono<sup>1</sup>, Jaka Propika<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil ITATS, Jl Arief Rachman Hakim 100 Surabaya  
Email: <sup>1</sup>tio\_pelo@yahoo.com, <sup>2</sup>jakapropika@gmail.com

Received 03 Desember 2017; Reviewed 23 Desember 2017; Accepted 26 Desember 2017

---

### Abstract

*Steel truss bridge collapse often occurs, both in Indonesia and in other countries. As a result of the collapse of the bridge is in addition to the casualties also losses from the financial aspects. This collapse caused due to various factors, one of them because of a decrease in the strength of the bridge structure. To minimize required maintenance of the bridge's collapse and to facilitate the maintenance of one of them must be known failure mechanisms existing bridges. In the analysis of this collapse, will be modeled steel truss bridge pratt's type with long spans is 60 meters. Analysis of the collapse of the steel truss bridge's, utilizing a pushover analysis to analyze the behavior of the bridge structure. Pushover analysis done with give vertical static load pattern at the structure, next gradually increase by a factor until one vertical displacement target of the reference point is reached. The study shows that at model single span failure occurred on the chord on mid span. The performance level of structure shows all models of bridges in the state are IO, this case based on the target displacement FEMA 356 and the actual ductility occurs in all models of bridges is compliant with SNI 2833-2008.*

**Keywords:** *Pushover analysis, Steel truss bridge, failure mechanism, ductility, non-linear analysis*

### Abstract

*Keruntuhan jembatan rangka baja sering terjadi, baik di Indonesia maupun dinegara lain. Akibat dari runtuhnya jembatan ini selain adanya korban jiwa juga kerugian dari aspek finansial. Keruntuhan ini disebabkan karena berbagai faktor salah satunya karena penurunan kekuatan struktur jembatan. Untuk meminimalisir keruntuhan ini diperlukan pemeliharaan jembatan dan untuk memudahkan pemeliharaan salah satunya harus diketahui mekanisme keruntuhan jembatan yang ada. Pada analisa keruntuhan ini, akan dimodelkan jembatan rangka baja tipe pratt dengan panjang bentang 60 meter. Analisa ini dilakukan dengan memberikan suatu pola beban vertikal statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan vertikal dari suatu titik acuan. Hasil studi menunjukkan bahwa pada model jembatan rangka bentang tunggal kegagalan terjadi pada batang atas tengah bentang. Tingkat kinerja struktur menunjukkan semua model jembatan dalam kondisi IO berdasarkan target displacement FEMA 356 dan daktilitas aktual yang terjadi pada semua model jembatan sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008.*

**Kata kunci:** *Analisa Pushover, Jembatan rangka baja, mekanisme keruntuhan, daktilitas, analisa non-linear*

## 1. Pendahuluan

Di Indonesia, penggunaan jembatan rangka dimulai dari zaman sebelum tahun 1945 sampai saat ini sehingga banyak yang telah melebihi umur rencananya dan belum diganti karena keterbatasan dana yang ada. Perkembangan teknologi angkutan dan penambahan beban yang tidak terkendali serta kurangnya pemeliharaan menyebabkan banyak jembatan rangka baja yang rusak, rusak parah hingga runtuh (Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, 2009). Kasus terbaru keruntuhan jembatan baja di Indonesia adalah terjadi di Probolinggo Jawa Timur. Pada tanggal 3 Maret 2015 jembatan dengan panjang 15 meter dan lebar 5 meter runtuh. Penyebab keruntuhan jembatan ini diduga karena usia konstruksi yang sudah tua sehingga tidak mampu menahan beban truk bermuatan pasir yang melintas di atasnya (Radar Bromo, 2015). Tidak hanya di Indonesia keruntuhan jembatan baja juga terjadi di Amerika Serikat. Jembatan I-35W di Sungai Mississippi, Kota Minneapolis Amerika Serikat pada tanggal 1 Agustus 2007 runtuh. Penyebab keruntuhan tiba-tiba dari jembatan ini adalah karena sambungan di salah satu plat buhul pada sambungan rangka utama dengan dek jembatan mengalami kegagalan. Korosi pada plat buhul dan adanya peningkatan beban jembatan akibat adanya alat berat sebesar 263 ton yang sedang melakukan pemeliharaan adalah penyebab keruntuhannya (Asl, 2008, Manda and Nakamura, 2010). Faktor yang mempengaruhi keruntuhan jembatan adalah elastisitas, deformasi akhir dan beban runtuh. Namun sangat sulit untuk menemukan beban runtuh dan mekanisme keruntuhan pada model-3D karena geometri struktur yang sangat rumit (Manda and Nakamura, 2010).

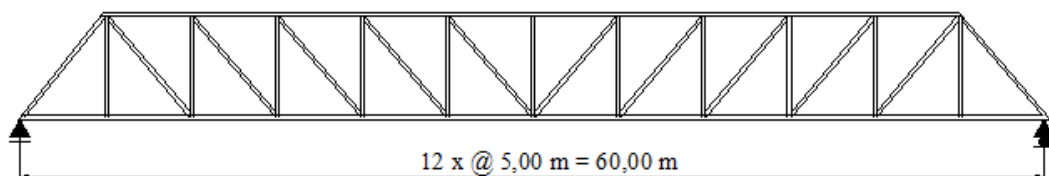
## 2. Teori dan Metodologi

### 2.1. Model Struktur

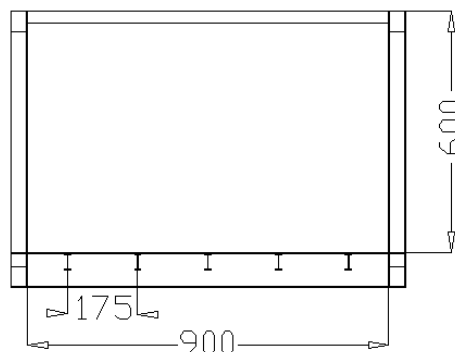
Model jembatan dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun detail jembatannya adalah sebagai berikut :  
 Lebar jembatan : 7 + 2 meters

Tinggi jembatan : 6 meters

Gambar 2 menunjukkan potongan melintang dari struktur jembatan. Mutu baja yang digunakan adalah BJ 50 ( $f_y = 290$  Mpa,  $f_u = 500$  Mpa) dan analisa yang digunakan dengan menggunakan SNI (BSN, 2005, BSN, 2005a)



Gambar 1. Potongan memanjang jembatan rangka baja tipe pratt



Gambar 2. Potongan melintang jembatan rangka baja tipe pratt

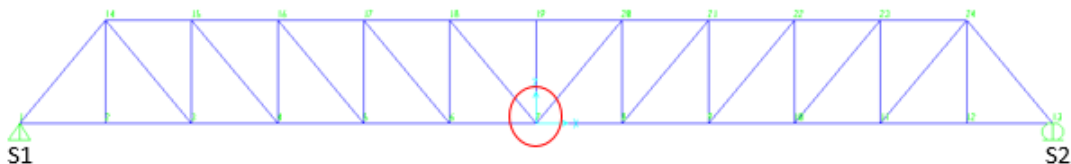
## 2.2. Analisa Nonlinier (*Pushover Analysis*)

Analisa nonlinier dalam penelitian ini menggunakan *pushover analysis* SAP 2000 (Computer and Structure inc, 2008). Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Analisa ini dilakukan dengan memberikan pola beban vertikal pada suatu titik acu pada struktur jembatan, kemudian secara bertahap ditingkatkan bebannya sampai target *displacement* dititik tersebut tercapai. Hasil dari analisa ini adalah pola keruntuhan, kurva yang menjelaskan hubungan antara gaya geser dasar dengan *displacement* pada titik acu tersebut (Wahyuni and Tethool, 2015). Dalam penelitian ini analisa *pushover* yang dilakukan dengan menggunakan model-2 dimensi, hal ini dilakukan karena sulit menentukan beban runtuh dan mekanisme keruntuhan rangka utama jembatan jika menggunakan model-3 dimensi (Manda and Nakamura, 2010).

Dalam program bantu SAP 2000 untuk analisa *pushover* yang perlu diperhatikan *hinge properties*. *Hinge properties* adalah bagian dari komponen struktur yang berperilaku nonlinier atau terjadi sendi plastis.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk analisa *pushover* di SAP 2000 adalah

- Pembuatan basic model dengan menggunakan *frame*. Rangka utama struktur jembatan dimodelkan *frame*.
- Pembebanan.  
Pembebanan analisa *pushover* sesuai dengan poin 3.1.
- Pendefinisian beban *pushover*.  
Beban *pushover* didefinisikan sebagai beban nonlinier pada *load case* SAP 2000.
- Pendefinisian *hinge properties*.  
*Hinge properties* pada elemen rangka utama didefinisikan sebagai elemen axial dalam *frame hinge assignment* didefinisikan sebagai *Auto P*), kecuali pada portal akhir. Pada portal akhir didefinisikan sebagai elemen lentur (dalam *frame hinge assignment* didefinisikan sebagai *Auto M3*).
- Pendefinisian analisa *pushover*.  
Dalam analisa *pushover* yang perlu diperhatikan adalah beban dan titik acu. Beban selain tipe analisisnya didefinisikan sebagai nonlinier, juga arah beban didefinisikan ke arah Z atau vertikal hal ini dikarenakan analisa dilakukan pada jembatan. Pada jembatan deformasi arah Z lebih dominan dibandingkan arah lainnya. Selanjutnya sebagai titik acu dalam analisa ini berada pada tengah bentang setiap model jembatan, dimana pada posisi tersebut akan menimbulkan *displacement* terbesar dibandingkan di titik yang lainnya. Berikut adalah lokasi titik acu pada salah satu model jembatan dalam analisa *pushover*:



Gambar 3. Lokasi titik acu pada pemodelan jembatan

## 3. Hasil Analisa Nonlinier

### 3.1. Target Displacement

*Target displacement* dalam analisa statis non linier harus ditetapkan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena dalam prosedur analisis non linier ini beban akan ditungkatkan secara monotonik

sampai pada batas tertentu sesuai dengan target perpindahan yang telah ditetapkan dalam *target displacement* tersebut.

Berikut adalah *target displacement* menurut FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency, 2000) :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T_e}{4\pi} \right)^2 g \quad (1)$$

$C_0$  = Faktor modifikasi yang menghubungkan nilai *spectral displacement* dan *roof displacement*. Nilai  $C_0$  dapat dilihat pada tabel 3-2 FEMA 356. Berdasarkan tabel tersebut nilai  $C_0 = 1,0$ .

$C_1$  = Faktor modifikasi untuk korelasi target simpangan inelastik maksimum terhadap simpangan hasil *respons linier analysis*.

$C_1 = 1,0 \rightarrow$  untuk  $T_e \geq T_s$

$C_2$  = Koefisien untuk hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356. Berdasarkan tabel tersebut nilai  $C_2 = 1,0$ .

$C_3$  = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta. Untuk struktur dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka  $C_3 = 1,0$ .

$S_a$  = Akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau. Berdasarkan RSNI-T02-2005  $S_a$  didapatkan dari persamaan :

$$\begin{aligned} S_a &= C_D \times S_0 \\ &= 0,92 \times 1,2 \\ &= 1,104 \end{aligned}$$

$T_e$  = periode alami efektif, didapatkan dari analisa *pushover* SAP 2000.

Berikut adalah *target displacement* dari model jembatan tersebut :

$$\delta_T = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,104 \times \left( \frac{0,2647}{4\pi} \right)^2 \times 9,8 = 21,38 \text{ cm}$$

### 1.1. Tingkat Kinerja Struktur

Dari hasil analisa *pushover* yang telah dilakukan, dapat dilihat level kerusakan elemen struktur yang terjadi akibat deformasi yang diterima oleh bangunan. Sehingga dapat dilakukan evaluasi dan pengelompokan terhadap kategori kerusakan dan tingkat kinerja struktur gedung yang terjadi tiap perubahan nilai *displacement*-nya. **Tabel 1** adalah level kerusakan akibat terbentuknya sendi plastis dalam program SAP2000.

Berdasarkan perbandingan *target displacement* FEMA 356 dengan *displacement* hasil analisa *pushover* pada tabel 2 didapatkan hasil bahwa pada step 1 nilai *displacement* telah melewati *target displacement* dan kinerja struktur berada pada batas B – IO. Mengacu pada FEMA 356, maka untuk kategori level kinerja *Immediate occupancy (IO)*, tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan.

Berdasarkan analisa *pushover* diketahui bahwa pada step 1 seperti pada gambar 4a saat *target displacement* terlampaui, leleh pertama kali terjadi pada elemen rangka atas tengah bentang. Pada step 2 seperti pada gambar 4b batang tersebut mengalami *collapse*, Pada step 3 seperti pada gambar 4c batang tersebut hancur. Pada jembatan bentang tunggal dengan panjang bentang 60 m, maka sendi plastis terjadi pada rangka atas di tengah bentang.

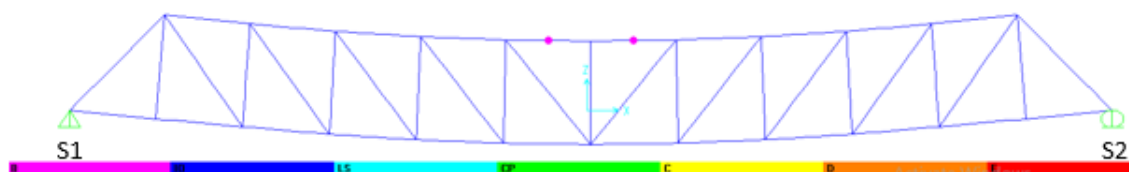
**Tabel 1 Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis dalam program SAP2000**

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural.
IO	●	Tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.
LS	●	Terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang . kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan
CP	●	Terjadi kerusakan parah pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh.
C	●	Batas maksimum struktur dalam menahan gaya gempa.
D	●	Struktur tidak mampu menahan gaya gempa tetapi masih mampu menahan gaya gravitasi.
E	●	Struktur sudah hancur ( <i>damage</i> )

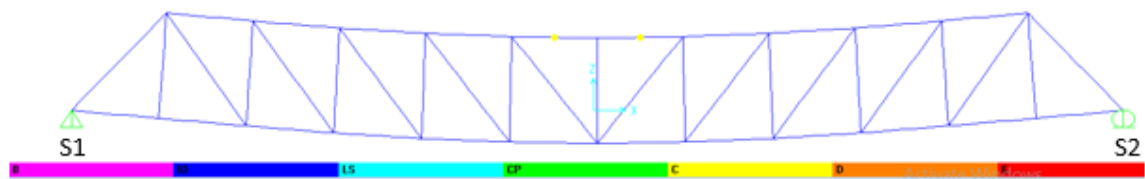
*Target displacement*, jembatan model-1 menurut FEMA 356 adalah 21,38 cm. Sedangkan *displacement* dari hasil analisa *pushover* adalah sebagai berikut:

**Tabel 2 Kinerja Struktur Jembatan**

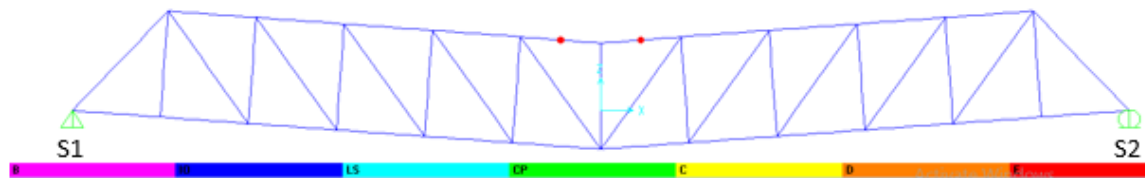
Step	Displacement (cm)	Base Force (T)	A - B	B - IO	IO -L S	LS - CP	CP - C	C - D	D - E	> E	Tota l
0	19.9611	0	43	0	0	0	0	0	0	0	43
1	24.5407	131181.57	41	2	0	0	0	0	0	0	43
2	26.8679	141821.44	41	0	0	0	0	2	0	0	43
3	32.8592	578132.07	41	0	0	0	0	0	0	2	43
4	72.8592	578117.11	41	0	0	0	0	0	0	2	43



**Gambar 4a. Pola Keruntuhan Pada Jembatan Step 1**



Gambar 4b. Pola Keruntuhan Pada Jembatan Step 2



Gambar 4c. Pola Keruntuhan Pada Jembatan Step 3

### 1.1. Daktilitas

Dari kurva kapasitas akan didapatkan nilai daktilitas dari masing-masing model jembatan. Dimana daktilitas didapatkan dari persamaan :

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2)$$

$\mu$  = daktilitas

$\delta_u$  = displacement diambang keruntuhan struktur

$\delta_y$  = displacement pada saat leleh pertama

Berikut adalah perbandingan nilai daktilitas dari semua model jembatan:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{32.8592}{24.5497} = 1.34$$

Daktilitas aktual ( $m_D$ ) yang terjadi dari jembatan tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008 ( $1,0 \leq m_D \leq m_m$ ).

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini diambil berdasarkan analisa nonlinier dengan menggunakan *pushover analysis SAP 2000* pada semua model jembatan rangka 2 dimensi. Berikut kesimpulan yang didapat:

1. Pola keruntuhan pada model jembatan rangka tipe pratt bentang tunggal, elemen rangka yang lemah (terjadi sendi plastis) adalah elemen batang atas ditengah bentang.
2. Tingkat kinerja struktur dari model jembatan tersebut adalah dalam kondisi IO (*Immediate occupancy*) yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan, hal ini berdasarkan *target displacement* FEMA 356.
3. Daktilitas aktual yang terjadi pada model jembatan sudah memenuhi persyaratan SNI 2833-2008, dimana nilai daktilitasnya adalah 1,34.

## Daftar Pustaka

- Asl, A.A., 2008. *Progressive Collapse Of Steel Truss Bridge, The Case Of I-35W Collapse, Invited Keynote Paper, Proceedings, 7<sup>th</sup> International Conference On Steel Bridges*, Guimarães Portugal.
- BSN, 2005. “*SNI T-02-2005: Standar Pembebanan untuk jembatan*”, Departemen Pekerjaan Umum.
- BSN, 2005a, “*SNI T-03-2005: Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*”, Departemen Pekerjaan Umum.
- Computer and Structure inc. *CSI Analysis Reference Manual for SAP 2000, ETABS and SAFE™*, California, 2008.
- Direktorat Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum. 2009. “*Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja*”, Dirjen Bina Marga Kementrian PU, Jakarta.
- Federal Emergency Management Agency. *Prestandard And Comentary For The Seismic Rehabilitation Of Building, FEMA 356*, Washington, 2000.
- Manda, A. and Nakamura, S. 2010. *Progressive Collapse Analysis of Steel Truss Bridges*, Journal of Constructional Steel Research, Vol.78, hal 192-200.
- Radar Bromo. 2015. “*Saat Truk Bermuatan Pasir Melintas, Jembatan Ambruk*”, Radar Bromo, Probolinggo.
- Wahyuni, E., and Tethool, Y. 2015. *Effect of Vierendeel Panel Width and Vertical Truss Spacing Ratio in Staggered Truss Framing System Under Earthquake Loads*, International Journal of Civil Engineering, Vol. 13, No 2.