

PEMODELAN INELASTIS PADA ANALISIS PLAT WEB PENAMPANG I

Hasti Riakara Husni¹

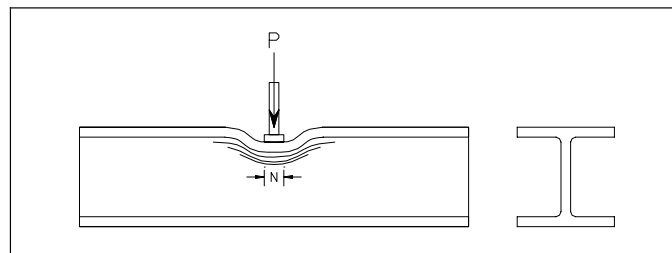
Abstrak

Proses desain sistem struktur pada dasarnya adalah mencegah terjadinya kegagalan pada komponen-komponen struktur. Salah satu komponen struktur yang cukup dominan adalah komponen balok. Kegagalan pada balok terdiri dari kegagalan makro dan kegagalan mikro/lokal. Kegagalan lokal yang perlu ditinjau pada balok baja ada kelelahan badan balok akibat beban terpusat. Studi ini dilakukan untuk memanfaatkan program SAP 90 dalam mempelajari web yielding pada pelat badan profil baja penampang I. Pemodelan dilakukan dalam dua kasus. Kasus I dilakukan untuk pemodelan terhadap gaya tekan tunggal untuk memodelkan tumpuan dan Kasus II untuk memodelkan adanya gaya tekan tarik yang timbul pada kolom karena adanya pertemuan dengan balok. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai hasil analisis inelastis dengan nilai yang diperoleh dari peraturan. Sehingga dalam hal ini peraturan yang berlaku memberikan nilai keamanan sebesar 1.19.

Keywords: web-yielding

1. PENDAHULUAN

Adanya beban yang sangat besar pada daerah yang pendek pada balok, dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan total pada bagian badan balok (dapat disebut web yielding). Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Keadaan Kegagalan pada Badan Balok

Untuk menganalisis keadaan ini, digunakan analogi balok di atas pondasi elastis, dengan asumsi:

- flens bagian atas dianggap sebagai balok
- web dianggap sebagai tanah
- flens berada pada kondisi elastis linier
- web dapat berada pada kondisi linier maupun non-linier.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Persamaan Differensial Umum untuk Balok pada Pondasi Elastis

Persamaan umum untuk balok adalah:

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2}{dx^2} \right) - \frac{d}{dx} \left(N \frac{dy}{dx} \right) = q \quad (1)$$

Bila tidak ada gaya N, maka persamaan di atas menjadi

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = q \quad (2)$$

Untuk balok pada pondasi elastis, terdapat gaya reaksi transversal di setiap titik yang sebanding dengan lendutan balok yang dinyatakan sebagai:

$$q = ky \quad (3)$$

dengan k sebagai modulus pondasi dengan satuan N/mm²

Sehingga persamaan differensial balok pada pondasi elastis adalah:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = q - ky \quad (4)$$

Pada kondisi elastis, persamaan (4) berlaku pada semua bagian dengan menggunakan nilai k sebagai modulus elastis tanah, sehingga persamaan yang digunakan adalah

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = q - ky \quad (5)$$

Pada kondisi inelastis, persamaan (4) tetap digunakan dengan menganggap nilai k = 0 sehingga berlaku persamaan

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = q \quad (6)$$

Untuk menganalisis kondisi balok pada tumpuan elastis ini, digunakan bantuan SAP90.

2.2 Formulasi pada Aplikasi SAP90

Dengan memperhatikan Gambar 2, maka untuk penerapan masalah ini pada SAP90, dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Penampang balok I dibagi dalam 2 bagian:
 - bagian *flens* atas sebagai balok persegi
 - bagian *web* sebagai tumpuan elastis
2. Panjang balok dibagi dalam 150 segmen, atau 151 titik nodal. Sehingga diperoleh:

$$dx = L / 150 \quad (\text{mm})$$
3. Kekakuan pegas dihitung dari:

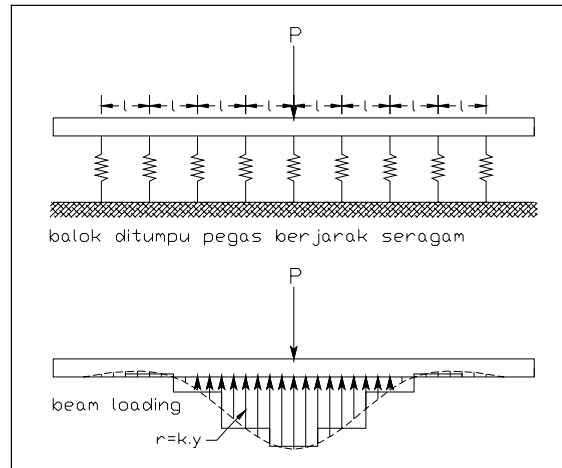
$$K = E \cdot dx \quad (\text{N/mm})$$
4. Dari output dari program SAP90 diperoleh lendutan tiap-tiap titik, U_y (mm)
5. Gaya Reaksi pegas dihitung dengan:

$$R_y = K \cdot U_y \quad (\text{N})$$
6. Tegangan dihitung dengan:

$$\sigma = R_y / (t_w \cdot dx)$$
7. Untuk analisis plastis, jika telah melebihi tegangan leleh baja (σ_y), maka konstanta pegas dianggap nol (*linear elastic perfectly plastic*)

8. Pemeriksaan tegangan leleh pada pegas dilakukan pada setiap tahap pembebanan secara manual, dan jika terdapat kelelahan baru maka konstanta pegas diubah kembali.

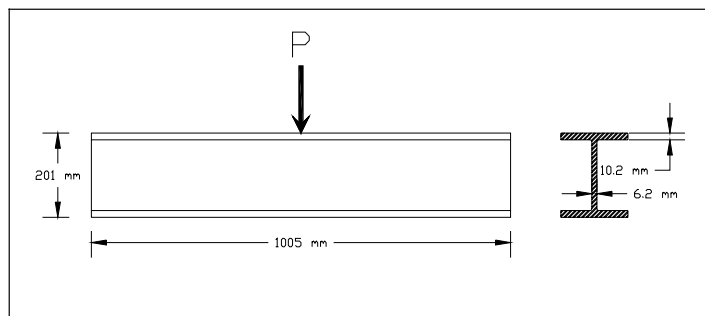
Proses ini dilakukan berulang-ulang sesuai dengan tahapan pembebanan yang diinginkan hingga diperoleh kelelahan pada beberapa titik.



Gambar 2. Pemodelan Pondasi Elastis pada SAP 90

2.2 Studi Kasus I

Kasus ini diterapkan pada balok dengan satu beban terpusat yang diletakkan di tengah-tengah bentang seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kasus I

Data masukan yang digunakan:

1. Untuk profil I yang digunakan,
 - tinggi flens $t_f = 10,2$ mm
 - $b = 165$ mm
2. $dx = 1005/150 = 6,7$ mm
3. $K = 200000 \cdot 6,7 = 1340000$ N/mm

Setelah *trial-and-error*, data SAP90 untuk tahap pembebanan 10 kN – 70 kN

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=7

```

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
151    X=5*201  Y=0      Z=0      G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,150,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150    K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1      SH=R      T=10.2,165      E=2E5
1  1  2      M=1      LP=1,0      G=149,1,1,1

LOADS
76,76,1      L=1      F=0,-10000,0,0,0,0
76,76,1      L=2      F=0,-20000,0,0,0,0
76,76,1      L=3      F=0,-30000,0,0,0,0
76,76,1      L=4      F=0,-40000,0,0,0,0
76,76,1      L=5      F=0,-50000,0,0,0,0
76,76,1      L=6      F=0,-60000,0,0,0,0
76,76,1      L=7      F=0,-70000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 80 kN

```

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
151    X=5*201  Y=0      Z=0      G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,75,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
77,150,1    K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150    K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1      SH=R      T=10.2,165      E=2E5
1  1  2      M=1      LP=1,0      G=149,1,1,1

LOADS
76,76,1      L=1      F=0,-80000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 90 kN

```

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=1
    
```

```

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
151    X=5*201  Y=0      Z=0      G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,74,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
78,150,1    K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150   K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1  SH=R      T=10.2,165  E=2E5
1  1  2      M=1          LP=1,0      G=149,1,1,1

LOADS
76,76,1  L=1  F=0,-90000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 100 kN

```

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
151    X=5*201  Y=0      Z=0      G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,73,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
79,150,1    K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150   K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1  SH=R      T=10.2,165  E=2E5
1  1  2      M=1          LP=1,0      G=149,1,1,1

LOADS
76,76,1  L=1  F=0,-100000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 110 kN

```

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
151    X=5*201  Y=0      Z=0      G=1,151,1

RESTRAINTS
    
```

```

1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

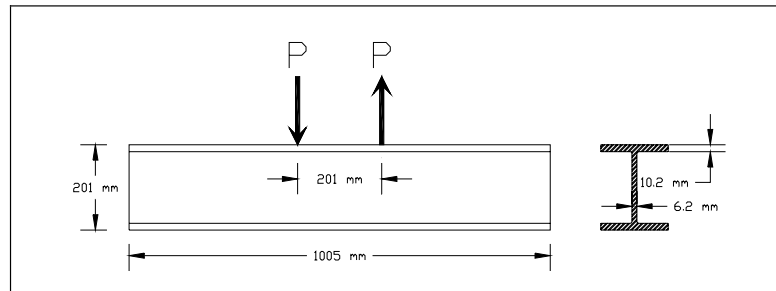
SPRINGS
2,71,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
81,150,1    K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150   K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1  SH=R      T=10.2,165   E=2E5
1  1  2      M=1          LP=1,0   G=149,1,1,1

LOADS
76,76,1    L=1    F=0,-110000,0,0,0,0
    
```

2.3 Studi Kasus II

Kasus ini diterapkan pada balok dengan dua beban terpusat yang masing-masing diletakkan sejauh 2/5 bagian panjang balok dari tepi seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kasus II

Data masukan yang digunakan:

1. Untuk profil I yang digunakan,
 - tinggi flens $t_w = 10,2$ mm
 - $b = 165$ mm
2. $dx = 1005/150 = 6,7$ mm
3. $K = 200000 \cdot 6,7 = 1340000$ N/mm

Setelah *trial-and-error*, data SAP90 untuk tahap pembebanan 10 kN – 70 kN

```

Analysis Web Yielding
SYSTEM
L=7

JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
151    X=5*201  Y=0      Z=0      G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,150,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150   K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0
    
```

```

FRAME
NM=1
1 SH=R T=10.2,165 E=2E5
1 1 2 M=1 LP=1,0 G=149,1,1,1

LOADS
61,61,1 L=1 F=0,10000,0,0,0,0
61,61,1 L=2 F=0,20000,0,0,0,0
61,61,1 L=3 F=0,30000,0,0,0,0
61,61,1 L=4 F=0,40000,0,0,0,0
61,61,1 L=5 F=0,50000,0,0,0,0
61,61,1 L=6 F=0,60000,0,0,0,0
61,61,1 L=7 F=0,70000,0,0,0,0
91,91,1 L=1 F=0,-10000,0,0,0,0
91,91,1 L=2 F=0,-20000,0,0,0,0
91,91,1 L=3 F=0,-30000,0,0,0,0
91,91,1 L=4 F=0,-40000,0,0,0,0
91,91,1 L=5 F=0,-50000,0,0,0,0
91,91,1 L=6 F=0,-60000,0,0,0,0
91,91,1 L=7 F=0,-70000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 80 kN

```

Analysis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1 X=0 Y=0 Z=0
151 X=5*201 Y=0 Z=0 G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1 R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,60,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
62,90,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
92,150,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150 K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1 SH=R T=10.2,165 E=2E5
1 1 2 M=1 LP=1,0 G=149,1,1,1

LOADS
61,61,1 L=1 F=0,80000,0,0,0,0
91,91,1 L=1 F=0,-80000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 90 kN

```

Analysis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1 X=0 Y=0 Z=0
    
```

```

151 X=5*201 Y=0 Z=0 G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1 R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,59,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
63,89,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
93,150,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150 K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1 SH=R T=10.2,165 E=2E5
1 1 2 M=1 LP=1,0 G=149,1,1,1

LOADS
61,61,1 L=1 F=0,90000,0,0,0,0
91,91,1 L=1 F=0,-90000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 100 kN

```

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1 X=0 Y=0 Z=0
151 X=5*201 Y=0 Z=0 G=1,151,1

RESTRAINTS
1,151,1 R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,58,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
64,88,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
94,150,1 K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150 K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

FRAME
NM=1
1 SH=R T=10.2,165 E=2E5
1 1 2 M=1 LP=1,0 G=149,1,1,1

LOADS
61,61,1 L=1 F=0,100000,0,0,0,0
91,91,1 L=1 F=0,-100000,0,0,0,0
    
```

Data SAP90 untuk tahap pembebanan 110 kN

```

Analisis Web Yielding
SYSTEM
L=1

JOINTS
1 X=0 Y=0 Z=0
151 X=5*201 Y=0 Z=0 G=1,151,1
    
```



```

RESTRAINTS
1,151,1      R=1,0,1,1,1,0

SPRINGS
2,56,1      K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
66,86,1     K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
96,150,1    K=0,2E5*201*5/150,0,0,0,0
1,151,150   K=0,2E5*201*5/150/2,0,0,0,0

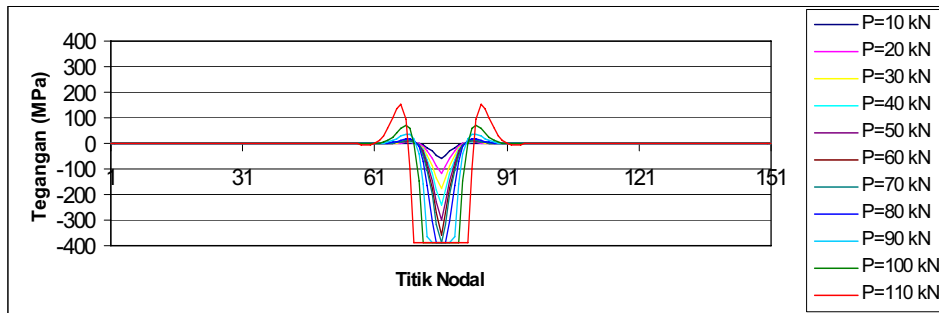
FRAME
NM=1
1 SH=R      T=10.2,165   E=2E5
1 1 2      M=1          LP=1,0   G=149,1,1,1

LOADS
61,61,1    L=1    F=0,110000,0,0,0,0
91,91,1    L=1    F=0,-110000,0,0,0,0
    
```

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kasus I

Nilai tegangan pada tiap titik nodal dari keseluruhan hasil *running* program SAP90 tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi Tegangan pada Kasus I

Dari hasil di atas terlihat bahwa pondasi elastis yang pertama kali mengalami leleh adalah titik dimana terletak beban terpusat dengan beban sebesar 70 kN dan dengan meningkatnya beban bagian yang mengalami leleh ini lebar ke kiri dan kanannya secara simetris.

Perumusan AISC 1.10-8 untuk kondisi balok pada tumpuan elastis memberikan

$$P \leq f_y \cdot t_w \cdot (N + 2k)$$

dimana untuk kasus ini didapatkan

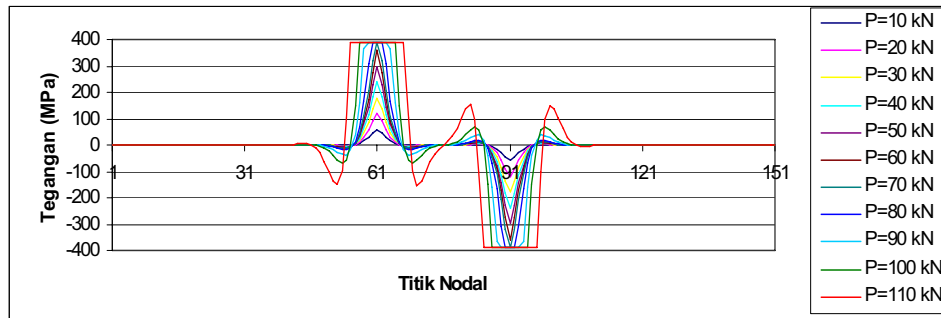
$$P \leq 390.6 \cdot 2 \cdot (0 + 2 \cdot 10.2)$$

$$P \leq 49327.2 \text{ N}$$

3.2 Kasus II

Hasil dari *running* program SAP90, perhitungan Reaksi pegas, dan perhitungan tegangan untuk kondisi pembebanan pertama, pada saat terjadinya leleh pertama dan kondisi pembebanan terakhir, ditunjukkan pada tabel berikut :

Nilai tegangan pada tiap titik nodal dari keseluruhan hasil *running* program SAP90 tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi Tegangan pada Kasus II

Dari hasil di atas terlihat bahwa pondasi elastis yang pertama kali mengalami leleh adalah titik yang berada tepat di bawah beban terpusat dengan beban sebesar 70 kN. Keadaan ini terus berkembang ke arah kiri dan kanannya.

Perumusan AISC 1.10-8 untuk kondisi balok pada tumpuan elastis memberikan

$$P \leq f_y \cdot t_w \cdot (N + 2k)$$

dimana untuk kasus ini didapatkan

$$P \leq 390.6,2 \cdot (0 + 2.10,2)$$

$$P \leq 49327,2 \text{ N}$$

4. KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Hasil analisis menunjukkan memperlihatkan hasil bahwa kegagalan leeh pelat badan akan terjadi setelah beban mencapai 70 kN
2. Berdasarkan peraturan yang ada diperoleh bahwa kapasitas pelat badan adalah 49.3272 kN
3. Sehingga dalam hal ini peraturan yang berlaku memberikan nilai keamanan sebesar 1.19.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Ghali A.M. Neville, Analisa Struktur, 1986.
 American Institute of Steel Construction Inc, *Metric Load and Resistance Factor Design Specification For Structural Steel Buildings*, 2005.
 Boris Bresler, T. J. Lin, B. Scalzi, *Design of Steel Structure*.
 Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, *Desain Baja Struktural Terapan*, 1991.
 M. Hete'nyi, *Beam on Elastic Foundation*, The University of Michigan Press.
 Theodore V. Galambos, T. J. Lin, Bruce G. Johnston, *Basic Steel Design with LRF*, Prentice Hall.