

# PENGARUH VOUTE TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK BETON NON PRISMATIS

Muhammad Ridwan<sup>1</sup> Definda Helka Septiawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Padang  
E-mail : [mhd.rid.wan.itp@gmail.com](mailto:mhd.rid.wan.itp@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Padang  
E-mail : [defindaseptiawan27@gmail.com](mailto:defindaseptiawan27@gmail.com)

## ABSTRAK

Kasus balok bentang panjang sering kali terjadi dalam konstruksi bangunan. Permasalahan yang sering terjadi dalam balok bentang panjang ini adalah dimensi balok yang seharusnya digunakan. Dalam pembuatan balok bentang panjang biasanya hanya dibuatkan balok normalnya saja, tetapi apabila menggunakan balok normal harus menggunakan dimensi balok yang besar. Dimensi balok yang besar artinya biaya pembuatannya juga besar. Alternatif lain untuk mengurangi biaya pembuatan balok bentang panjang adalah dengan adanya penambahan voute pada tumpuan balok. Penambahan voute pada balok tidak berarti mengurangi kekuatan balok. Efisiensi voute yang digunakan yaitu dengan pemodelan voute dengan jarak yang berbeda-beda kemudian dibandingkan nilai momen dan lendutannya tanpa harus menghilangkan kekuatan balok tersebut. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan momen dan lendutan berpedoman pada metoda *finite difference*, merupakan metode penyelesaian numerik untuk mencari solusi persamaan differensial parsial. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan dimensi balok yang cocok yaitu (1/16 – 1/8) untuk bentang 10 m dengan jarak voute  $1/4L = 2,5$  meter. Dengan lendutan yang terjadi di tengah bentang 0,20874 m, dan momen yang terjadi di tengah bentang 1272,566 kg.m.

**Kata Kunci** : *Balok non prismatis, metoda finite difference, lentur*

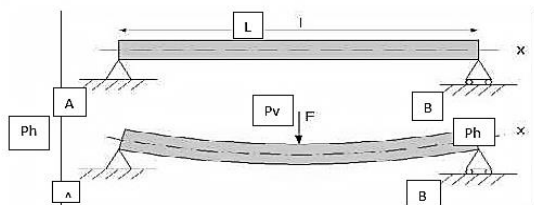
# 1. PENDAHULUAN

Dalam hal perencanaan struktur, pada umumnya seorang perencana struktur memilih bentuk struktur yang prismatis, artinya struktur yang memiliki penampang melintang yang seragam sepanjang bentang struktur. Terkadang karena kebutuhan tinggi ruangan yang terbatas, berakibat tinggi elemen balok harus pada suatu ukuran tertentu. Namun demikian dengan tidak mengurangi tingkat keamanan dari suatu elemen struktur balok, dapat saja pada tempat-tempat tertentu balok mempunyai tinggi yang lebih dari tempat lain pada bentang yang sama. Jenis struktur balok dengan penampang melintang yang tidak seragam tersebut disebut dengan istilah balok non prismatis. (Agus, 2011)

Struktur yang umumnya terdiri atas balok dan kolom tentu tidak lepas dengan apa yang dimaksud lendutan dan tekuk. Balok merupakan elemen struktur yang sangat penting disuatu bangunan. Dalam perencanaan konstruksi balok direncanakan kuat menahan gaya-gaya yang mungkin akan terjadi sesuai perhitungan beban, baik berupa gaya vertical maupun gaya horizontal. (Gultom, 2018)

## 2. STRUKTUR BALOK

Secara sederhana, balok sebagai elemen lentur digunakan sebagai elemen penting dalam konstruksi. Balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya.



**Gambar 1.** Struktur balok tumpuan sendi-rol yang diberi gaya  $P_v, P_h$

### 2.1 Lendutan/Defleksi

Defleksi pada balok disebabkan karena adanya lendutan balok akibat beban. Pembebanan yang terjadi ialah pembebanan vertical dimana terjadi perubahan bentuk

pada balok dalam arah  $y$ . Deformasi pada balok secara sangat mudah dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal menuju posisi setelah terjadi deformasi.

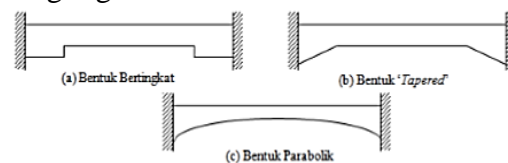
Defleksi( $\Delta$ ) pada suatu titik tergantung pada beban  $P$  atau  $w$ , panjang bentang balok  $L$ , dan berbanding terbalik dengan kekakuan balok. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa:

- apabila  $w$  bertambah, maka  $\Delta$  bertambah
- apabila  $L$  bertambah, maka  $\Delta$  bertambah
- apabila  $I$  bertambah, maka  $\Delta$  berkurang
- apabila  $E$  bertambah, maka  $\Delta$  berkurang

### 2.1 Balok Non Prismatis

Balok non prismatis adalah balok-balok yang mempunyai penampang berbeda pada tiap bagian-bagiannya dan balok-balok tirus. Bila sebuah balok mempunyai dimensi penampang yang berubah secara tiba-tiba, maka pada titik dimana perubahan tersebut akan terjadi konsentrasi tegangan lokal, akan tetapi tegangan lokal ini tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap perhitungan lendutan.

Jenis-jenis balok non prismatis yang sering digunakan dalam konstruksi.



**Gambar 2.** Jenis-jenis balok non prismatis

## 3. METODE

### 3.1 Finite Difference

*Finite Difference Method* merupakan metode penyelesaian numerik untuk mencari solusi persamaan differensial parsial yang awalnya diperkenalkan dalam menyelesaikan persamaan fisika pada tahun 1930-an. Metode ini menyelesaikan persamaan differensial dengan membagi bidang menjadi sejumlah berhingga pias segiempat. R. Sri Pawening (2005) menggunakan penerapan metode *finite*

*difference* dalam persamaan perpindahan panas sebuah batang besi secara konduksi dengan persamaan parabolic skema eksplisit, implisit, dan Crank-Nicholson.

**Tabel 1.** Persamaan finite difference untuk hubungan defleksi dan beban  $q$ .

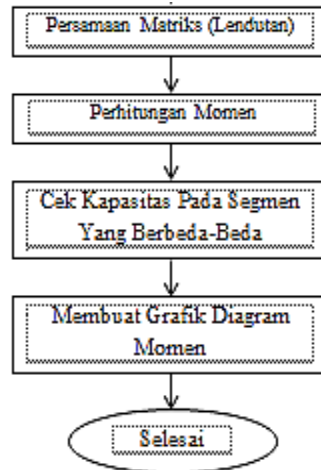
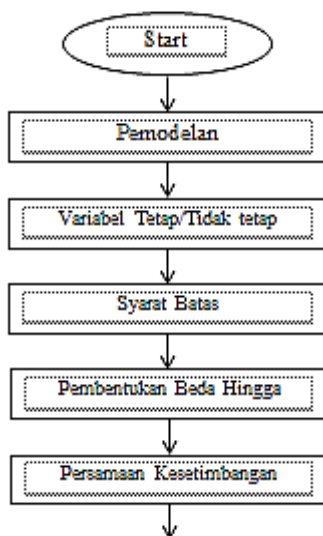
No	Letak titik yang ditinjau (yaitu titik n)	Koefisien didepan persamaan yaitu $E/h^4$					
		$y_{n-2}$	$y_{n-1}$	$y_n$	$y_{n+1}$	$y_{n+2}$	
1		$I_{n-1}$	$-2(I_{n-1} + I_n)$	$(I_{n-1} + 4I_n + I_{n+1})$	$-2(I_n + I_{n+1})$	$I_{n+1}$	$q_n$
2		---	---	$4I_n + I_{n+1}$	$-2(I_n + I_{n+1})$	$I_{n+1}$	$q_n$
3		---	---	$(2I_{n-1} + 4I_n + I_{n+1})$	$-2(I_n + I_{n+1})$	$I_{n+1}$	$q_n$
4		---	---	$I_{n+1}$	$-2I_{n+1}$	$I_{n+1}$	$q_n$
5		---	$-2I_n$	$(4I_n + I_{n+1})$	$-2(I_n + I_{n+1})$	$I_{n+1}$	$q_n$

Dan untuk mencari nilai momen dan ledutan pada balok dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$M_n = -\frac{EI_n}{h^2} (y_{n-1} - 2y_n + y_{n+1}) \dots \dots (1)$$

### 3.2 Prosedur Penelitian

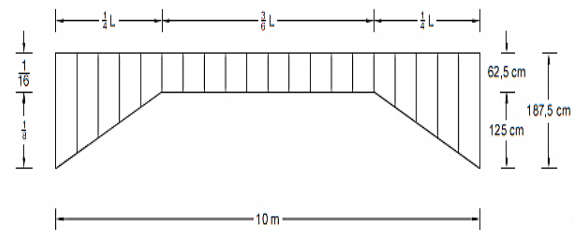
Untuk memudahkan dalam penyajian tugas akhir ini, maka tahap atau prosedur analisis dituangkan dalam bentuk *flowchart* atau bagan alir dibawah ini:



**Gambar 3.** Bagan alur perencanaan balok non prismatis

## 4. HASIL & PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Tinggi Balok Pada Setiap Segmen



**Gambar 4.** Gambar balok rencana

$$b = 93,75 \text{ cm}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

Tinggi balok tiap segmen dihitung dengan cara :

$$h_3 = \frac{h_3 - h_2}{\text{jumlah segmen dalam route}} \times n \dots \dots \dots (2)$$

### 4.2 Perhitungan Inersia Balok Pada Setiap Segmen

$$I = 1/12 \times b \times h^3$$

Inersia dihitung di setiap titik segmen, dikarnakan tinggi balok pada setiap segmen berbeda maka perlu di hitung inersia balok pada setiap segmen. Dalam perhitungan penelitian ini di dapatkan segmen yang berbeda yaitu titik (0, 1, 2, 3,

4, 16, 17, 18, 19, 20) maka dari itu inersia pada titik tersebut berbeda.

### 4.3 Perhitungan Beban

Beban pada balok :

$$DL + LL \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$$DL = \text{Luas} \times b_j \times h \times 1,2$$

$$LL = b \times q \times 1,6 \times h$$

Diketahui :

$$Bj.beton = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 250 \text{ Kg/m}^2$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

Luasan pada setiap segmen balok dihitung dengan cara  $b \times h$ , dimana  $b$  = lebar balok pada satu segmen dan  $h$  = tinggi pada setiap segmen.

### 4.4 Hubungan Lendutan dan Beban

Perhitungan hubungan dan lendutan yaitu dengan menggunakan matriks yang dihitung sesuai dengan (Tabel 2.1). Yang mana hasil  $y$  yang didapatkan pada matriks, diinverskan dan dikalikan dengan beban didapatkan lendutan.

**Tabel 2.** Nilai lendutan.

y0	=	0	=	0	Meter	
y1	=	24,3219	=	0,00243	Meter	
y2	=	99,0817	=	0,00991	Meter	
y3	=	228,633	=	0,02286	Meter	
y4	=	421,672	=	0,04217	Meter	
y5	=	694,345	=	0,06943	Meter	
y6	=	1072,11	=	0,10721	Meter	
y7	=	1462,16	=	0,14622	Meter	
y8	=	1792,33	=	0,17923	Meter	
y9	=	2011,05	1	=	0,20111	Meter
y10	=	2087,4	EI	=	0,20874	Meter
y11	=	2011,05	=	0,20111	Meter	
y12	=	1792,33	=	0,17923	Meter	
y13	=	1462,16	=	0,14622	Meter	
y14	=	1072,11	=	0,10721	Meter	
y15	=	694,345	=	0,06943	Meter	
y16	=	421,672	=	0,04217	Meter	
y17	=	228,633	=	0,02286	Meter	
y18	=	99,0817	=	0,00991	Meter	
y19	=	24,3219	=	0,00243	Meter	
y20	=	0	=	0	Meter	

$$\text{Harga : } E = 200000 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2000000000 \text{ kg/m}^2$$

$$I = 5233764,648 \text{ cm}^4$$

$$= 0,052337646 \text{ m}^4$$

Masukkan ke persamaan diatas.

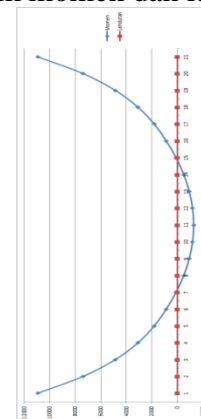
### 4.5 Menentukan Momen

Hubungan momen dan lendutan :

**Tabel 3.** Momen yang terjadi.

M0	=	-10946	kg.m
M1	=	-7388,4	kg.m
M2	=	-4862,4	kg.m
M3	=	-3085,9	kg.m
M4	=	-1821,2	kg.m
M5	=	-875,87	kg.m
M6	=	-102,43	kg.m
M7	=	499,129	kg.m
M8	=	928,816	kg.m
M9	=	1186,63	kg.m
M10	=	1272,57	kg.m
M11	=	1186,63	kg.m
M12	=	928,816	kg.m
M13	=	499,129	kg.m
M14	=	-102,43	kg.m
M15	=	-875,87	kg.m
M16	=	-1821,2	kg.m
M17	=	-3085,9	kg.m
M18	=	-4862,4	kg.m
M19	=	-7388,4	kg.m
M20	=	-10946	kg.m

Berikut Grafik momen dan lendutan :



**Gambar 5.** Grafik momen dan lendutan pada balok non prismatis dimensi 1/16 – 1/8

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara momen yang terjadi dan lendutan yang terjadi pada balok non prismatis yaitu dengan dimensi 1/16 – 1/8, yang mana 1/16 untuk balok normal dan 1/8 untuk voutenya dengan jarak voute  $1/4L=2,5 \text{ m}$ .

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kapasitas lentur balok non prismatis dengan menggunakan metoda *finite difference* dapat disimpulkan hal- hal sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan dimensi balok non prismatis yang efisien untuk bentang panjang seperti 10 meter perlu dilakukan variasi dimensi yang digunakan kemudian membandingkan nilai lendutan dan momennya dengan jarak voute yang berbeda-beda.

2. Berdasarkan perhitungan momen dan lendutan didapatkan dimensi  $1/16 =$  untuk balok normal, dan  $1/8 =$  untuk tambahan voutenya, dengan  $1/4L = 2,5$  meter untuk jarak voute.
3. Tambahan voute berguna untuk mengurangi besarnya balok normal pada balok bentang panjang.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah diuraikan, saran- saran yang perlu disampaikan antara lain :

1. Dalam perencanaan struktur dalam bentang penjang perlu menggunakan voute pada tumpuannya, ini berguna untuk mengurangi angka momen dan lendutan yang terjadi pada balok tersebut dan dihitung dengan *finite difference*.

7. Jagad, B.S., Soebandono, B., Maulana, T.I., 2013. *Analisis Tegangan Dan Deformasi Kantilever Castelleded Bukaan Heksagonal Penampang Balok Non Prismatis Menggunakan Metode Elemen Hingga (Variasi Sudut Lubang, Jaral Antar Lubang, Diameter Lubang, Dan Panjang Bantang)*. TA, UMY, Yogyakarta
8. Kardestuncer., 1984., *Unification of Finite Element Methods*.
9. Krasa, W.A., Sulisty, D., Supriyadi, B., Nov. 2010. *Perilaku Geser Pada Keadaan Layan dan Batas Balok Beton Bertulang Berlubang Memanjang*. LPM UGM, Yogyakarta.
10. Sri, R. P., Mar, 2005. *Finite Difference Method (Metode Beda Hingga) dan Penerapannya Pada Persamaan Perpindahan Panas*. Tesis, UNY, Yogyakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Agoes, S., Wisnumurti., (2017) *Perilaku Balok Baja I Non Prismatis (Tapered Beam)*. ISSN 1978-5658.
2. Agus, S., Des, 2011. *Analisis Struktur Balok Non Prismatis Menggunakan Metode Persamaan Slope-Deflection*. Faculty of Engineering, Binus University, Jakarta Barat.
3. Arga, W., Ristinah, S., Hidayat, M.T., 2017. *Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang*. UBM, Malang.
4. Fadillawaty, S., Sep. 2010. *Perubahan Betuk Mode Kelengkungan Untuk Mendeteksi Kerusakan Retak Pada Balok Beton Betulang Tak-Prismatis*. Tesis, UGM, Yogyakarta.
5. Ghali, A., Neville, A.M., 1990. *Analisa Struktur : Gabungan Metode Klasik dan Matriks*. Edisi ke dua. Diterjemahkan oleh Ir. Wira MSCE. Jakarta : Erlangga.
6. Gultom, A.S.M., Okt, 2018. *Analisa Perbandingan Lendutan dan Tekuk Pada Balok Prismatis Dengan Menggunakan Metode Finite Difference*.