

PENGARUH DIMENSI PENAMPANG TERHADAP RASIO DESAIN DAN LENDUTAN PADA *INVERTED BEAM*

Wahiddin¹⁾, Agus Sugiarto²⁾, Joko Setiono³⁾

Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No 9 Kota Malang

¹⁾wahiddin@polinema.ac.id

Abstrak

Umumnya balok beton bertulang berada dibawah pelat pada suatu struktur beton bertulang. Dengan alasan lebih hemat, balok beton dapat diletakkan diatas pelat dan dinamakan *inverted beam*. Tujuan penelitian ini untuk melihat pengaruh ukuran penampang balok terhadap rasio desain dan besarnya lendutan yang terjadi pada inverted beam. Pada penelitian ini, sebuah portal beton bertulang dengan bentang tertentu sedemikian hingga pelatnya berupa *one way distribution* dan *two way distribution load*. Portal tersebut diberikan inverted beam dan balok normal dengan pembebanan sebagaimana beban yang terjadi atap. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio desain inverted beam lebih besar 51,53% dibandingkan dengan kapasitas lentur balok normal pada pelat dengan distribusi beban one way dan 53,24% pada pelat dengan distribusi beban two way. Begitupula lendutan yang terjadi inverted beam lebih kecil 40,13% dan 48,82% dibandingkan dengan balok normal. Lendutan yang terjadi masih berada dibawah lendutan yang diijinkan sebuah balok beton bertulang.

Kata Kunci: *Inverted beam*, rasio desain.

Generally, reinforced concrete beams are under the slab in a reinforced concrete structure. For more economical reasons, concrete blocks can be placed on top of the slab and are called inverted beams. The purpose of this study was to see the effect of the beam cross-sectional size on the design ratio and the amount of deflection that occurs in the inverted beam. In this study, a reinforced concrete portal with a certain span so that the slab is in the form of one way distribution and two way distribution load. The frame is given an inverted beam and a normal beam with the same load as the load on the roof. The results of the analysis show that the design ratio of the inverted beam is 51.53% greater than the flexural capacity of the normal beam on a slab with a one-way load distribution and 53.24% on a slab with a two-way load distribution. Likewise, the deflection that occurs in the inverted beam is 40.13% and 48.82% smaller than the normal beam. The deflection that occurs is still below the allowable deflection of a reinforced concrete beam.

Keywords: *Inverted beam, design ratio.*

1. PENDAHULUAN

Pemilihan material beton bertulang sangat banyak digunakan pada struktur gedung maupun jembatan. Hal ini karena beton bertulang merupakan material komposit antara beton dan tulangan baja yang memiliki kekuatan yang tinggi, tahan terhadap getaran dan karat. Selain itu material beton bertulang juga di pilih karena kelebihanannya yang mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi atau desain arsitektural. Material penyusun beton bertulang pun sangat mudah diperoleh di pasaran di Indonesia.

Pemasangan balok dan pelat di lapangan umumnya dengan susunan pelat diatas balok. Secara teoritis, susunan ini memiliki kapasitas lentur yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitas lentur pelat yang berada di bawah balok (*Inverted beam*). Besarnya kapasitas lentur balok dengan elemen pelat diatas ditimbulkan oleh aksi komposit beton yang menerima gaya tekan pada bagian atas elemen dan tulangan yang menerima gaya tarik pada bagian bawah elemen balok. Pada kondisi tertentu, dengan monolitnya pelat dan balok, maka pelat

dengan lebar tertentu yang berada di atas balok, akan berkontribusi pada kapasitas tekan balok.

Penggunaan inverted beam dapat mereduksi biaya langsung bangunan. Reduksi biaya ditimbulkan dengan mengurangi penggunaan material lain seperti plafon untuk memberikan estetika pada langit-langit. Selain itu ruangan di bawah pelat akan terlihat lebih luas karena tidak terkurangi oleh tinggi balok dan pemasangan plafon.

Pada penelitian ini, plat beton akan diratakan dengan penggunaan inverted beam (balok terbalik) dimana pemasangan balok berada di atas pelat (beam on slab). Penggunaan inverted beam ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan bawah pelat datar dan mereduksi pembiayaan. Pemasangan inverted beam ini di harapkan tetap memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik serta nilai lendutan dibawah nilai yang disyaratkan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Kapasitas Lentur Balok

Material beton memiliki kemampuan tekan yang baik sedangkan kemampuan tarik relative sangat kecil. Oleh karena itu diperlukan tulangan

yang memiliki kemampuan tarik yang lebih baik dibanding kemampuan tekannya. Properties material beton yang digunakan menurut SNI 2847:2019 adalah beton dengan kuat tekan seperti pada tabel 1.

Tabel 2.1. Batasan Kuat Tekan Beton

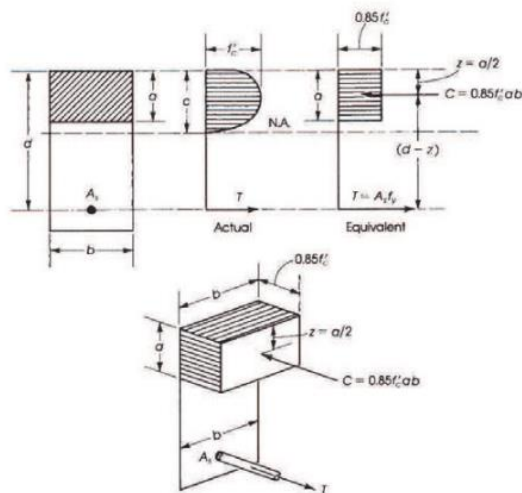
Kegunaan	Jenis Beton	Nilai Min f_c'	Nilai Max f_c'
Umum	Berat normal dan berat ringan	17 MPa	Tidak ada Batasan
SRPMK dan dinding structural khusus	Berat Normal	21 MPa	Tidak ada batasan
	Berat Ringan	21 MPa	Dijijinkan dilewati jika ada eksperimen

Desain elemen beton bertulang menurut SNI 2847 2019 menggunakan asumsi-asumsi:

1. Distribusi regangan dianggap linier yaitu penampang tegak lurus sumbu lentur yang berupa bidang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netralnya setelah mengalami lentur;
2. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja;
3. Perhitungan kekuatan lentur penampang, kuat tarik beton diabaikan;
4. Beton diasumsikan runtuh pada saat mencapai regangan batas tekan;
5. Hubungan tegangan-regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapezium atau parabola.

Kelima asumsi desain di atas dapat dijelaskan dalam bentuk gambar 1 dibawah ini.

Kuat rencana atau kuat desain pada penampang lentur harus dihitung dengan kuat nominal dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan, f . Faktor reduksi kekuatan yang digunakan dalam perancangan, menurut SNI 2847 2019 harus sesuai dengan Tabel 2.2.



Gambar 1. Kondisi actual dan ekivalensi analisis penampang elemen lentur

Tabel 2.2. Faktor reduksi kekuatan, f

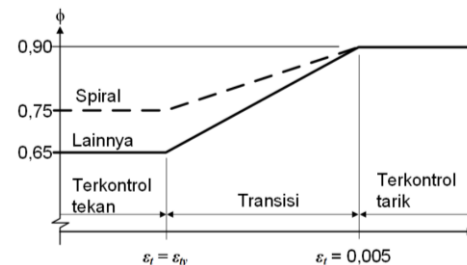
Gaya atau Elemen Struktur	f	Pengecualian
a Momen, Gaya Aksial atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,9	Didekat ujung komponen Tarik dimana strand belum bekerja penuh, f harus disesuaikan
b Geser	0,75	Ada persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa
c Torsi	0,75	
d Tumpu (bearing)	0,65	
e Zona angkur pascatarik	0,85	
f Bracket dan korbek	0,75	

Sumber: SNI 2847:2019

Faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial atau kombinasi momen dan gaya aksial mengikuti ketentuan pada tabel 2.3

Kapasitas lentur elemen dapat diturunkan dengan memperhatikan keseimbangan horizontal pada gambar 1 diatas.

$$\begin{aligned} \sum H &= 0 \\ T &= Cc \\ A_s \cdot f_y &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \end{aligned} \quad (2-1)$$



Gambar 2. Faktor reduksi kekuatan

Sumber: SNI 2847:2019

Sehingga kapasitas lentur balok:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-2)$$

Substitusi persamaan 2-1 ke persamaan 2-2, diperoleh kapasitas desain elemen lentur sebagai berikut:

$$fM_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-3)$$

Rasio desain elemen struktur lentur didefinisikan sebagai perbandingan antara beban ultimate dan kapasitas desain elemen struktur. Rasio desain dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= \frac{M_u}{\phi M_n} \\ &= \frac{M_u}{\phi A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)} \end{aligned} \quad (2-4)$$

2.2. Lentutan

Defleksi atau deformasi elemen struktur harus dibatasi agar tidak memberikan pengaruh pada kekuatan atau kemampuan layan struktur. Oleh karena itu komponen struktur lentur harus didesain

agar memiliki kekakuan yang cukup. Ada dua metode yang dapat digunakan untuk mengontrol defleksi. (Sabnis, L., & and Roll, 1974). Pelat satu arah dan balok nonprategang, dianggap memenuhi persyaratan lendutannya jika tinggi minimum elemen tersebut tidak kurang dari tinggi minimum pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Tinggi minimum balok sesuai perletakan

Kondisi Perletakan	Tinggi Minimum, h
Perletakan sederhana	L/16
Menerus satu sisi	L/18,5
Menerus dua sisi	L/21
Kantilever	L/8

Lendutan yang terjadi pada elemen struktur berupa lendutan seketika dan lendutan jangka Panjang. Lendutan seketika harus dihitung dengan metode dan formula untuk lendutan elastis, dengan mempertimbangkan pengaruh retak dan tulangan pada kekakuan penampang. Lendutan jangka panjang akibat susut dan rangkai untuk komponen lentur dapat dihitung sebagai perkalian lendutan seketika yang disebabkan oleh beban tetap dengan factor I_D .

$$I_D = \frac{\xi}{1 + 50\rho} \quad (2-5)$$

Pada persamaan 2.5, nilai rasio tulangan, r dihitung pada tengah bentang untuk bentang sederhana dan menerus. Sedangkan balok kantilever, nilai r dihitung pada daerah tumpuan. Faktor ketergantungan waktu untuk beban tetap, x dihitung menggunakan tabel 2.4.

Tabel 2.4. Faktor pengaruh waktu untuk beban tetap

Durasi beban tetap (bln)	Faktor pengaruh waktu, x
3	1,0
6	1,2
12	1,4
60 atau lebih	2,0

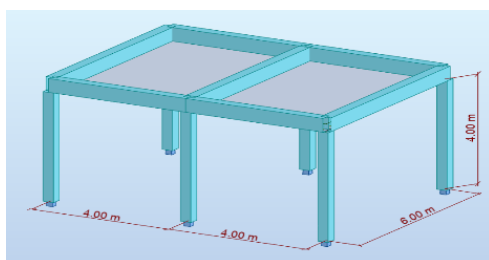
Sumber: SNI 2847:2019

3. Metodologi

Pengujian balok inverted beam akan dilakukan pada portal 3D sederhana seperti pada gambar 3.

Data struktur yang akan dianalisis:

- Mutu Beton, f_c' : 30 MPa
- Mutu Tulangan, f_y : 420 MPa
- Tinggi Pelat : 130 mm
- Panjang Balok X :
(two way slab) : 4000mm
(one way slab) : 3000mm
- Panjang Balok Y : 6000mm

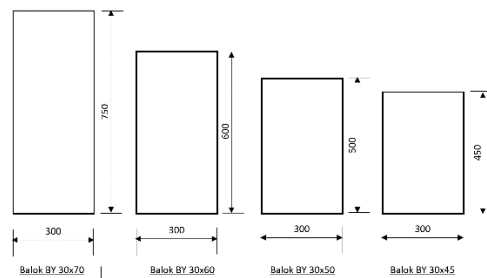


Gambar 3. Portal yang dianalisis dan diamati

- Lebar Balok : 300 mm
 - Beban struktur :
+ Beban mati berupa berat sendiri struktur
+ Beban Hidup Atap sebesar 96 kg/m²
 - Kombinasi beban : 1,2 DL + 1,6 LL
- Penampang *inverted beam* yang akan diamati bervariasi ukurannya seperti pada gambar 4.

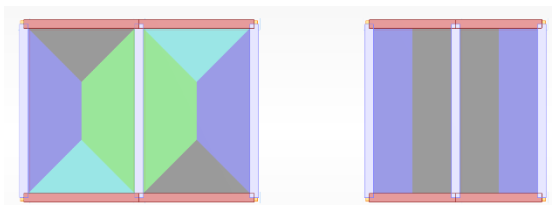
Struktur dianalisis menggunakan alat bantu aplikasi analisis struktur secara 3D. Hasil analisis struktur tersebut yang diamati daerah lapangan dan tumpuan inverted beam berupa:

1. Momen Ultimate maksimum elemen struktur inverted beam pada daerah tumpuan dan lapangan
2. Lendutan maksimum pada elemen inverted beam



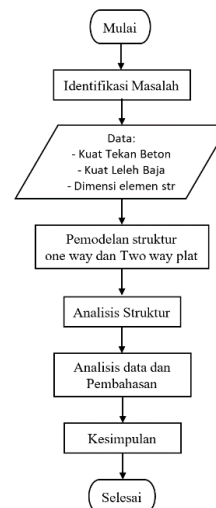
Gambar 4. Variasi dimensi penampang *Inverted beam*

Distribusi beban gravitasi dari terdiri *one way* dan *two way distribution* seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Distribusi beban gravitasi oleh pelat

Penelitian akan dilakukan dengan diagram alir pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

4. HASIL ANALISIS dan PEMBAHASAN

Hasil analisis struktur portal dengan variasi distribusi beban dan variasi dimensi balok seperti pada tabel 4.1.

Berdasarkan gambar 7, besarnya momen yang terjadi di area lapangan pada inverted beam lebih kecil dibanding dengan balok normal. Selain itu, semakin kecil dimensi penampang maka momen di lapangan pun semakin kecil.

Besarnya momen pada elemen balok sangat dipengaruhi beban yang bekerja. Sehingga Ketika ukuran penampang balok kecil, maka beban mati balok berkurang yang kemudian menyebabkan kecilnya momen yang terjadi. Selain itu, kekakuan balok juga mempengaruhi momen yang terjadi.

Tabel 4.1. Hasil pengamatan Inverted beam dan Normal beam

TYPE PELAT	Dimensi Inverted Beam	INVERTED BEAM			BALOK NORMAL		
		Lapangan (kg-m)	Tumpuan (kg-m)	Lendutan Max (cm)	Lapangan (kg-m)	Tumpuan (kg-m)	Lendutan Max (cm)
One Way	30/75	3801,9	1649,43	0,05	8380,75	2286,52	0,108
	30/60	3100,85	1816,06	0,078	6534,28	3001,26	0,158
	30/50	2566,14	1953,98	0,11	5142,03	3415,4	0,207
	30/45	2275,25	2017,79	0,131	4416,74	3535,16	0,238
Two Way	30/75	4659,75	1412,54	0,0604	10962,62	2210,96	0,1403
	30/60	3918,89	1631,16	0,0974	8625,48	3206,85	0,2078
	30/50	3313,3	1847,32	0,139	6803,31	3797,62	0,2723
	30/45	2967,97	1962,45	0,168	5835,95	3977,98	0,3126

Distribusi momen ke setiap elemen struktur berdasarkan besarnya kekakuan setiap elemen. Semakin besar kekakuan elemen, maka distribusi momen yang bekerja semakin besar pula. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil kekakuan elemen struktur, distribusi momen akan semakin kecil.

Penggunaan elemen inverted beam, menyebabkan kekakuan balok semakin kecil karena ketebalan pelat yang langsung berhubungan dengan kolom. Sehingga kekakuan yang terjadi adalah kekakuan kolom dan pelat, akibatnya bahwa momen yang terjadi pada inverted beam lebih kecil dibandingkan dengan balok normal.

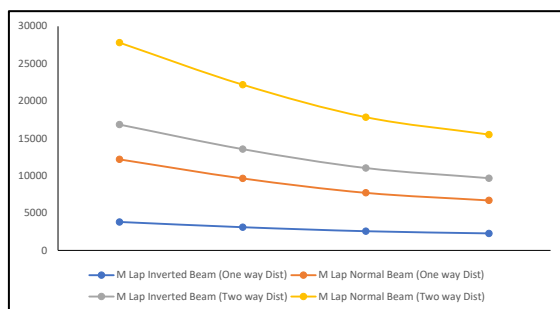
Besarnya persentase perbedaan nilai momen lapangan rata-rata dengan tipe pelat distribusi beban one way sebesar 51,44 %. Sedangkan pada pelat dengan distribusi beban two way sebesar 53,13 %.

Dengan menentukan penggunaan tulangan tarik pada balok adalah 4D19 untuk maka besarnya rasio desain setiap balok dapat dihitung.

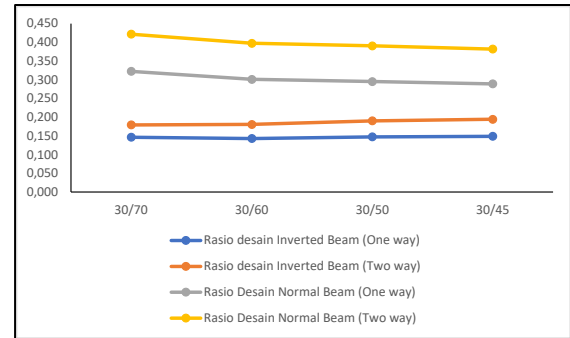
$$A_s = 4 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot 192 = 1134,12 \text{ mm}^2$$

$$d = 700 - 40 - 19/2 = 637,5 \text{ mm}$$

$$a = \frac{1134,12 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 62,265 \text{ mm}$$



Gambar 7. Grafik Momen Lapangan pada balok



Gambar 8. Grafik rasio desain pada daerah lapangan balok

$$M_n = 1134,12 \cdot 420 \cdot (637,5 - 62,265/2) \times 10^{-6}$$

$$= 288,83 \text{ kNm}$$

Besarnya regangan tulangan tarik pada:

$$e_t = 0,003 (637,5 - 74,51)/74,51$$

$$= 0,02 > 0,005$$

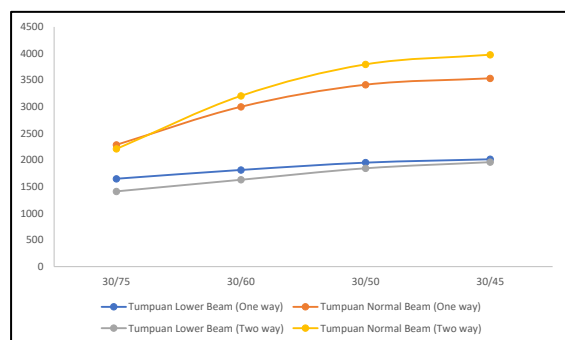
Dengan demikian nilai faktor reduksi 0,9, maka besarnya rasio desain balok inverted 30/70 sebesar:

$$R = 38,02/288,83 = 0,146$$

Gambar 8 memperlihatkan bahwa pada inverted balok hanya menggunakan sedikit kapasitas lenturnya dibandingkan dengan balok normal. Sebesar 51,53% dari kapasitas lentur balok normal yang dibutuhkan oleh inverted balok untuk menahan beban yang sama. Atau dengan kata lain bahwa factor keamanan dari inverted balok lebih tinggi 51,53% pada system distribusi beban one way dan 53,24% pada system distribusi beban two way.

Pada gambar 9 memperlihatkan besarnya momen ultimate pada tumpuan inverted balok dan balok normal. Besarnya persentase perbedaan nilai momen tumpuan ultimate rata-rata dengan tipe pelat distribusi beban one way sebesar 38,27 %. Sedangkan pada pelat dengan distribusi beban two way sebesar 46,82 %. Besarnya selisih momen ultimate yang terjadi pada daerah tumpuan lebih kecil dibandingkan pada daerah lapangan antara balok normal dengan inverted beam.

Dengan menggunakan jumlah tulangan yang sama dengan daerah lapangan balok, maka besarnya rasio desain setiap balok seperti pada gambar 9. Rata-rata rasio desain inverted beam pada tipe pelat dengan distribusi beban one way sebesar 0,098. Sedangkan pada balok normal pada tipe pelat dengan distribusi beban two way sebesar 0,91.



Gambar 9. Grafik Momen Tumpuan pada balok

