

ANALISIS LENDUTAN SEKETIKA DAN LENDUTAN JANGKA PANJANG PADA STRUKTUR BALOK

Daud R. Wiyono, William Trisina

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. drg. Soeria Sumantri, MPH, No. 65, Bandung, 40164

ABSTRAK

Masa layan struktur sebuah bangunan beton bertulang sangat ditentukan oleh besarnya lendutan yang dialami oleh struktur tersebut. Namun seringkali dalam pengerjaannya struktur dibebani lebih besar dari yang diperkirakan semula. Ditambah lagi dengan adanya kesalahan dalam pelaksanaan di lapangan misalnya kurangnya jumlah tulangan yang dipasang, jarak antar sengkang yang lebih panjang dari yang direncanakan, mutu beton yang kurang dari yang direncanakan serta hal-hal lainnya. Apalagi seiring dengan bertambahnya usia bangunan maka ada penurunan dari kapasitas struktur akibat efek rangkak, susut, dan timbulnya retak akibat beban kerja sehingga dimungkinkan lendutan yang terjadi pada komponen struktur bertambah besar. Sebelum menghitung lendutan pada balok, terlebih dahulu harus dipastikan bahwa balok yang ditinjau mampu menahan beban-beban yang akan diberikan pada balok tersebut. Oleh sebab itu luas tulangan merupakan faktor yang amat penting untuk diperhitungkan agar tidak terjadi kegagalan pada salah satu komponen maupun keseluruhan struktur. Dalam Penelitian ini dibahas balok yang mempunyai panjang 8 meter, dengan berbagai kombinasi beban, mutu beton, dan dimensi. Besarnya lendutan dan luas tulangan dicari dengan menggunakan panduan SNI 03-2847-2002. Melalui penelitian ini akan diketahui dimensi balok beserta luas tulangan yang sesuai dengan beban dan mutu beton tertentu, besarnya pengaruh dari perubahan dimensi balok, mutu beton, serta beban pada nilai lendutan jangka panjang balok.

Kata kunci: Beban, Penulangan, Lendutan jangka panjang, Lendutan izin

1. LATAR BELAKANG

Masa layan struktur sebuah bangunan beton bertulang sangat ditentukan oleh besarnya lendutan yang dialami oleh struktur tersebut. Namun seringkali dalam pengerjaannya struktur dibebani lebih besar dari yang diperkirakan semula. Ditambah lagi dengan adanya kesalahan dalam pelaksanaan di lapangan misalnya kurangnya jumlah tulangan yang dipasang, jarak antar sengkang yang lebih besar dari yang direncanakan, mutu beton yang kurang dari yang direncanakan serta hal-hal lainnya, hal-hal tersebut dapat mengakibatkan struktur beton (dalam hal ini adalah balok beton bertulang) melendut melebihi apa yang diperkirakan semula dan mengakibatkan retak pada beton.

Seiring dengan bertambahnya usia bangunan maka ada penurunan dari kapasitas struktur sehingga dimungkinkan lendutan dan retak pada komponen struktur bertambah besar. Apalagi pada saat mendesain balok dan pelat seringkali tidak memperhitungkan faktor lendutan karena sudah ada pedoman *preliminary design* atau pradesain.

Perencanaan struktur balok dan pelat dibuat berdasarkan analisis struktur yang hanya memperhitungkan gaya dalam dan lendutan berdasarkan kriteria mekanika

rekayasa (hanya memperhitungkan kapasitas struktur berdasarkan Modulus Elastisitas dan Momen Inersia penampang).

Balok dan pelat jarang sekali digunakan sebagai elemen struktur terisolasi; biasanya merupakan bagian yang monolit dari suatu sistem yang terintegrasi. Lentutan yang berlebihan pada suatu pelat lantai dapat menyebabkan dislokasi partisi yang ditumpunya. Begitu pula lentutan yang berlebihan pada balok dapat menyebabkan rusaknya partisi di bawahnya, dan lentutan yang berlebihan pada balok di atas jendela dapat menyebabkan kaca jendela pecah. Dalam hal lantai terbuka atau atap, seperti lantai-lantai atas garasi parkir, dapat menyebabkan rembesan air, karena hal-hal inilah maka kontrol terhadap lentutan merupakan hal yang penting untuk dihitung.

2. PERMASALAHAN

Dengan adanya pedoman *preliminary design* atau pra desain maka seringkali masalah lentutan terutama lentutan jangka panjang diabaikan oleh para insinyur pada saat mendesain suatu struktur bangunan (dalam hal ini adalah balok). Padahal faktor lentutan memegang peranan yang amat penting baik dalam hal keamanan maupun kenyamanan pengguna bangunan tersebut kelak. Lentutan yang tidak diperhitungkan dengan baik pada saat pembangunan sebuah struktur akan menyebabkan struktur mengalami lentutan yang melebihi batas toleransi sehingga menyebabkan bukan hanya kekurangnyamanan penggunaannya kelak tetapi juga mengakibatkan retak yang lebih banyak dan lebih lebar dari yang diizinkan. Hal ini menjadi lebih berbahaya lagi karena retak akan menyebabkan inersia beton menjadi lebih kecil sehingga menyebabkan kemampuan beton berkurang. Hal ini menyebabkan efek domino dimana lentutan berlebih menyebabkan retak, dan retak menyebabkan lentutan menjadi semakin besar, dan diperparah efek rangkak dan susut pada balok beton serta faktor lingkungan yang semakin tidak bersahabat sehingga pada akhirnya menyebabkan masa layan (*serviceability*) menjadi semakin berkurang.

3. PEMBatasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Balok yang ditinjau adalah balok dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - a. Balok terjepit elastis pada kedua ujungnya.
 - b. Panjang balok adalah 8 meter.

- c. Balok dibebani oleh pelat beton dengan ketebalan 160 mm yang diberi beban mati tambahan sebesar 150 kg/m^2 dan beban hidup sebesar 250 kg/m^2 , 400 kg/m^2 , dan 600 kg/m^2
 - d. Tulangan menggunakan diameter 29 mm.
 - e. Tulangan tekan menggunakan 2D29 dengan luas tulangan sebesar 1321 mm^2 .
 - f. Tebal selimut beton adalah 40 mm.
 - g. Pembebanan balok sesuai dengan pemodelan yang ada pada Bab 3.
2. Peraturan yang dipergunakan adalah dari SNI 03-2847-2002.
 3. Mutu beton yang dipergunakan adalah $f_c'=20 \text{ MPa}$, $f_c'=25 \text{ MPa}$, $f_c'=30 \text{ MPa}$.
 4. Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah sebesar 1,2 DL + 1,6 LL untuk menentukan tulangan balok.
 5. Lendutan akibat deformasi geser diabaikan.

4. TINJAUAN PUSTAKA

4.1 Beton [Dipohusodo,1994]

Beton merupakan bahan komposit yang didapatkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, kerikil, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan semen, dan air guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Namun pada penggunaannya sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahan beton dalam menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas dimana batang tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan dalam menahan gaya tekan. Namun dalam perkembangannya dengan didasarkan pada tujuan peningkatan kemampuan kekuatan komponen, sering dijumpai beton dan tulangan baja bersama-sama ditempatkan pada bagian struktur dimana keduanya menahan gaya tekan.

4.2 Balok Persegi Bertulangan Rangkap [Dipohusodo,1994]

Apabila balok dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan di pihak lain seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok yang sudah tertentu dimensinya tersebut.

Apabila hal tersebut yang dialami maka SNI memperbolehkan penambahan tulangan baja tarik bersamaan dengan penambahan tulangan baja di daerah tekan

penampang balok. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang di daerah tarik dan tulangan tekan dipasang di daerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.

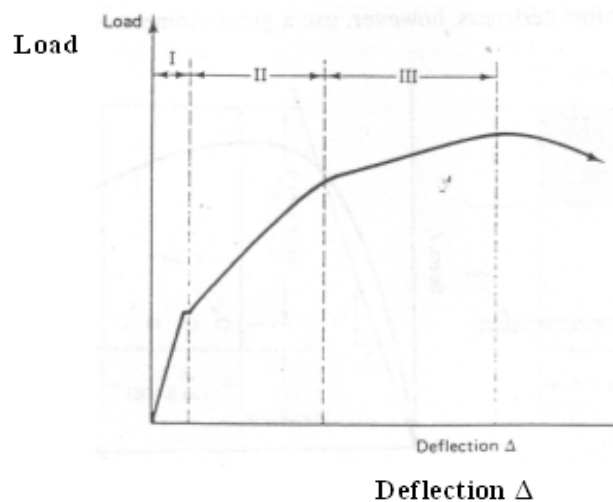
4.3 Perilaku Lendutan Pada Balok [Nawy,2003]

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture*.

Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.

Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya.

Daerah III : Taraf pasca-*serviceability*, di mana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



Gambar 1. Hubungan beban–lendutan pada balok. Daerah I, Taraf praretak; Daerah II, Taraf pascaretak ; Daerah III, Taraf pasca-*serviceability* [Nawy,2003].

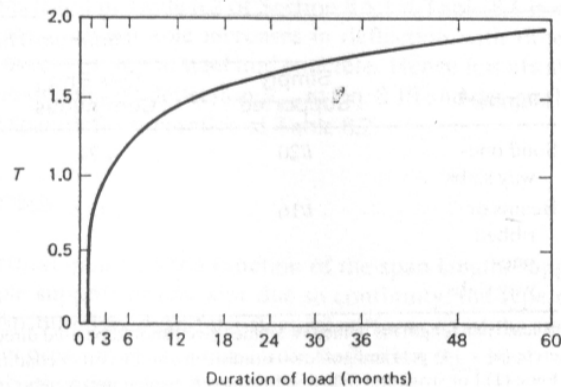
4.4 Lendutan Jangka Panjang [Nawy,2003]

Faktor-faktor yang bergantung pada waktu dapat memperbesar lendutan terhadap bertambahnya waktu. Sebagai akibatnya perencana harus mengevaluasi lendutan sesaat (*immediate*) maupun lendutan jangka panjang (*long-term*) agar lendutan ini terjamin tidak akan melebihi suatu kriteria tertentu. Efek-efek yang bergantung pada waktu ini disebabkan oleh rangkask (*creep*), susut (*shrinkage*) dan regangan-regangan yang

bergantung pada waktu. Regangan-regangan tambahan ini menyebabkan perubahan distribusi tegangan pada beton dan baja tulangan sehingga kelengkungan pada elemen struktural bertambah untuk suatu beban luar yang tetap. Lendutan tambahan akibat beban *sustained* dan susut jangka panjang yang sesuai dengan prosedur ACI dapat dihitung dengan menggunakan faktor pengali seperti pada persamaan 2.3 dibawah ini:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (1)$$

Dimana ρ' adalah rasio penulangan tekan yang dihitung pada lapangan untuk balok ditumpu sederhana dan balok menerus dan balok T. ξ adalah faktor yang diambil sebesar 1,0 untuk lama pembebanan 3 bulan, 1,2 untuk lama pembebanan 6 bulan, dan 2,0 untuk lama pembebanan 5 tahun atau lebih.



Gambar 2. Faktor Pengali untuk lendutan jangka panjang [Nawy,2003].

4.5 Lendutan yang Diizinkan Pada Balok [Nawy, 2003 dan SNI 2002]

Lendutan yang diizinkan pada sistem struktur sangat bergantung pada besarnya lendutan yang masih dapat ditahan oleh komponen-komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan penampilan estetis dan tanpa kerusakan pada elemen yang terdefleksi. Akan tetapi struktur-struktur pada masa sekarang dirancang dengan menggunakan prosedur kekuatan batas (*ultimate*), yaitu dengan memanfaatkan kekuatan tinggi baja dengan betonnya. Dengan demikian akan diperoleh elemen-elemen struktur yang semakin langsing dan dalam hal demikian lendutan sesaat maupun jangka panjang sangat perlu dikontrol.

Pada Tabel 1 dicantumkan rekomendasi dari SNI mengenai tebal minimum balok sebagai fungsi dari panjang bentang. Terlihat disini bahwa untuk balok yang tidak memikul atau tidak dihubungkan dengan konstruksi yang mungkin rusak akibat lendutan besar, tidak diperlukan perhitungan lendutan. Lendutan-lendutan lainnya harus dihitung

dan dikontrol dengan menggunakan Tabel 2. Apabila tebal total balok kurang dari yang diperlukan pada tabel, perancang harus membuktikan bahwa lendutan baloknya memberikan *serviceability* yang memadai, dengan memberikan perhitungan rinci mengenai lendutan sesaat dan lendutan jangka panjangnya.

Tabel 1. Tebal Minimum Balok dan Pelat Satu Arah Apabila Lendutan Tidak Dihitung [SNI, 2002].

Tabel minimum,h				
Elemen Struktur ^a	Ditumpu Sederhana	Satu ujung menerus	Dua ujung menerus	Kantilever
Pelat satu arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau pelat satu arah dengan grid	L/16	L/18,5	L/21	L/8

^aUntuk elemen struktur yang tidak memikul atau dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lain yang dapat rusak akibat lendutan yang besar

Tabel 2.1 berlaku untuk massa beton $W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$. Sementara bentang bersih L adalah harga dalam mm.

Tabel 2. Angka Perbandingan Bentang (L) Dengan Lendutan (Δ) Maksimum yang Diizinkan (L = bentang terpanjang) [SNI, 2002].

Jenis elemen Struktur	Lendutan,yang ditinjau	(L/ Δ)min
Atap datar yang tidak memikul dan padanya tidak terpasang elemen-elemen non struktural yang dapat rusak oleh lendutan besar	Lendutan sesaat,akibat beban hidup, Δ_L	180 ^a
Lantai-lantai yang tidak memikul dan padanya tidak terpasang elemen-elemen non struktural yang dapat rusak oleh lendutan besar	Lendutan sesaat,akibat beban hidup, Δ_L	360

Tabel 2. (lanjutan).		
Konstruksi atap atau lantai yang padanya terpasang elemen-elemen non-struktural yang dapat rusak oleh lendutan besar	Sebagian dari lendutan total yang terjadi sesudah pemasabgan elemen non-struktural; jumlah dari semua beban <i>sustained</i>	480°
Konstruksi atap atau lantai yang padanya terpasang elemen-elemen non-struktural yang tidak rusak oleh lendutan besar	ideal ditambah sebagian dari beban hidup yang <i>sustained</i> dan lendutan sesaat akibat suatu beban hidup tambahan ^b , Δ_{LT}	240°

4.6 Lendutan Balok Menerus [Nawy,2003]

Balok beton bertulang menerus diatas banyak tumpuan akan berupa penampang *berflens* pada lapangan dan kadang-kadang berupa penampang bertulangan rangkap pada tumpuan apabila tulangan pada serat bawah tumpuan terkekang cukup baik oleh sengkang dan dijangkar dengan baik pula, karena itu perlu dicari momen inersia efektif $I_{e,rata-rata}$. Prosedur sederhana adalah dengan menggunakan besaran penampang rata-rata dengan penggunaan suatu faktor seperti yang disyaratkan oleh peraturan ACI,yaitu:

1. Balok yang kedua ujungnya menerus:

$$I_{e,rata-rata} = 0,70I_m + 0,15 (I_{e1} + I_{e2}) \quad (2)$$

2. Balok yang satu ujungnya menerus:

$$I_{e,rata-rata} = 0,85I_m + 0,15 (I_{ec}) \quad (3)$$

Dimana: I_m = I_e pada penampang lapangan (*mid span*)

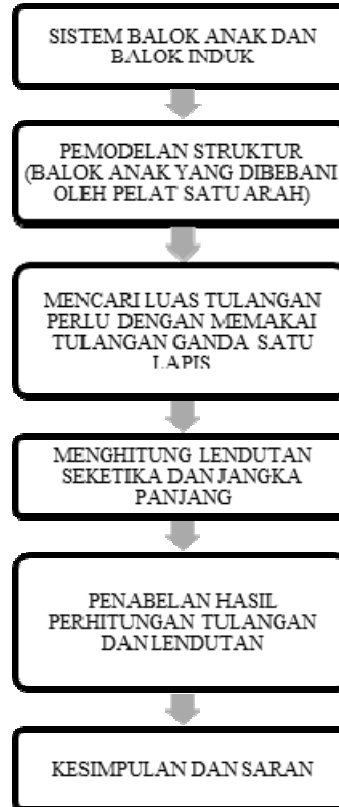
I_{e1}, I_{e2} = I_e untuk masing-masing penampang ujung (*ends*)

I_{ec} = I_e ujung menerus (*continuous end*)

5 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

5.3 Diagram Alir Pembahasan

Diagram alir ini menjelaskan proses atau tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Gambar dari tahapan atau alur penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Pembahasan.

5.2 Studi Kasus

Data Material

a. Material Beton Bertulang

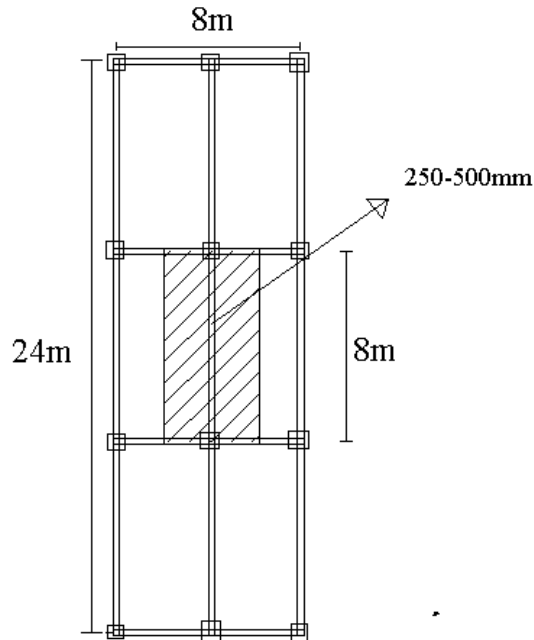
1. Kuat tekan beton, f_c' = 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa
2. Massa jenis beton, $\gamma_{\text{beton}} = 24 \text{ kN/m}^3$
3. Modulus Elastisitas beton, $E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$ (4)

b. Material Tulangan Non-prategang Balok

1. Kuat leleh tulangan non-prategang (lentur), $f_y = 400 \text{ MPa}$
2. Modulus elastisitas tulangan non-prategang, $E_s = 200000 \text{ MPa}$
3. Cover minimum berdasarkan SNI 2002 untuk balok = 40 mm

Data Komponen Struktur

Komponen struktur terdiri dari balok, kolom, dan pelat lantai, detail komponen struktur diperlihatkan pada gambar 4



Gambar 4. Pemodelan struktur.

Data Pembebanan

Komponen balok hanya akan menerima beban statik gravitasi sebagai berikut:

1. Beban Berat Sendiri , *BS (self-weight)* sebesar 24 kN/m^3
2. Beban Mati Tambahan, *SDL (super impose dead load)*

Pada balok ini, beban mati tambahan diakibatkan oleh berat sendiri pelat dan beban mati tambahan yang bekerja pada pelat dengan perincian sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 BS_{\text{pelat}} &= 0,16\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 &= 3,84 \text{ kN/m}^2 \\
 SDL_{\text{pelat}} & &= \underline{1,50 \text{ kN/m}^2} + \\
 & &= 5,34 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga beban mati tambahan yang bekerja pada balok adalah sebesar $5,34 \text{ kN/m}^2 \times 4\text{m} = 21,36 \text{ kN/m}$

3. Beban Hidup, *LL (live load)*

Beban hidup diakibatkan oleh beban gravitasi yang berasal dari benda bergerak. Pada balok yang akan dianalisis ini, beban hidup yang bekerja berasal dari beban hidup yang bekerja pada pelat lantai yaitu sebesar $2,50 \text{ kN/m}^2$, $4,00 \text{ kN/m}^2$, dan $6,00 \text{ kN/m}^2$. Beban hidup yang bekerja pada balok yang akan dianalisis adalah sebesar $LL_{\text{pelat}} \times 4\text{m}$, Sehingga beban hidup yang bekerja pada balok adalah

- a. $10,00 \text{ kN/m}$ untuk beban hidup pada pelat sebesar $2,50 \text{ kN/m}^2$
- b. $16,00 \text{ kN/m}$ untuk beban hidup pada pelat sebesar $4,00 \text{ kN/m}^2$

- c. 24,00 kN/m untuk beban hidup pada pelat sebesar 6,00 kN/m²

Perhitungan Tulangan balok

Sebelum perhitungan lendutan dilakukan, penulangan balok harus terlebih dahulu dihitung agar balok yang akan dicek lendutannya dipastikan memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban rencana. Untuk menghitung tulangan, beban yang dipakai adalah beban ultimate, q_u yaitu beban yang telah dikalikan dengan faktor beban. Faktor beban yang dipakai adalah 1,2 untuk BS dan SDL serta 1,6 untuk LL.

Setelah mendapatkan nilai beban ultimate, maka selanjutnya momen akibat beban terfaktor dihitung untuk daerah lapangan dan tumpuan. Untuk menghitung momen dipakai rumus sebagai berikut :

$$M_u = \frac{1}{14} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah lapangan} \quad (5)$$

$$M_u = \frac{1}{12} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah tumpuan kiri dan kanan} \quad (6)$$

Dengan rumus diatas dihitung momen pada daerah lapangan dan momen pada daerah tumpuan akibat berat sendiri balok (BS), beban mati tambahan (SDL), beban hidup (LL), penjumlahan dari BS + SDL (DL), penjumlahan dari DL + LL, dan penjumlahan dari DL + 0,5 LL.

Perhitungan Lendutan balok

Setelah tulangan untuk balok daerah lapangan dan tumpuan didapat, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan lendutan. Beban yang dipergunakan pada saat melakukan perhitungan lendutan berbeda dengan beban yang dipergunakan pada saat mencari luas tulangan balok. Beban yang digunakan pada saat menghitung lendutan tidak dikalikan dengan faktor beban.

Setelah mendapatkan nilai beban ultimate pada perhitungan lendutan, maka selanjutnya momen akibat beban terfaktor dihitung untuk daerah lapangan dan tumpuan. Untuk menghitung momen dipakai rumus sebagai berikut :

$$M = \frac{1}{14} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah lapangan} \quad (7)$$

$$M = \frac{1}{12} q_u L^2 \rightarrow \text{Untuk momen daerah tumpuan kiri dan kanan} \quad (8)$$

Dengan rumus diatas dihitung momen pada daerah lapangan dan momen pada daerah tumpuan akibat berat sendiri balok (BS), beban mati tambahan (SDL), beban hidup (LL), penjumlahan dari BS + SDL menjadi DL, penjumlahan dari DL + LL, dan penjumlahan dari DL + 0,5 LL. Setelah mengetahui besarnya momen yang bekerja pada daerah lapangan maupun tumpuan, selanjutnya perlu dicari nilai kd. Untuk mencari nilai kd terlebih dahulu harus dicari nilai d, d', n, I_g, f_r, r untuk daerah lapangan maupun tumpuan.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada rumus di bawah ini :

$$d = h - (\text{selimut} + \text{senggang} + 0,5 D_{\text{tulangan}}) \quad (9)$$

$$d' = \text{selimut} + \text{senggang} + 0,5 D_{\text{tulangan}} \quad (10)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (11)$$

$$I_g = \frac{1}{12} b * h^3 \quad (12)$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} \quad (13)$$

$$r = \frac{(n-1)A_s'}{nA_s} \quad (14)$$

$$y_t = \frac{h}{2} \quad (15)$$

$$kd = \frac{1}{B} \left\{ \left(\sqrt{2dB \left(1 + r \frac{d'}{d}\right) + (1+r)^2} \right) - (1+r) \right\} \quad (16)$$

Setelah mendapatkan nilai kd langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari I_{cr} dan

M_{cr}. Nilai dari I_{cr} dan M_{cr} didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{cr} = \left(\frac{1}{3} b * (kd^3) \right) + (n * A_s * (d - kd)^2) + ((n-1) * A_s' * (kd - d')^2) \quad (17)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t} \quad (18)$$

Nilai I_{cr} yang telah didapatkan harus dibandingkan dengan nilai dari I_g.

Menghitung Momen Inersia Efektif (I_e)

Bila $\frac{M_{cr}}{M_D} > 1$ maka balok tidak retak sehingga digunakan M_{cr} = M_u dan I_e = I_g

Tetapi bila $\frac{M_{cr}}{M_D} \leq 1$ maka balok retak sehingga nilai Momen Inersia efektif, I_e perlu untuk dicari.

Untuk mencari besarnya nilai I_e dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_D} \right)^3 I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_D} \right)^3 \right\} I_{cr} \quad (19)$$

Nilai I_e yang dipakai dalam perhitungan lendutan besarnya merupakan kombinasi dari 0,7 $I_{elapangan} + 0,15 I_{etumpuan\ kiri} + 0,15 I_{etumpuan\ kanan}$. Namun karena besarnya I_e tumpuan kiri sama dengan besarnya I_e tumpuan kanan maka diambil nilai $0,7 I_{elapangan} + 0,3 I_{etumpuan}$. Nilai I_e yang dipergunakan ditabelkan pada Tabel 3.7

Setelah nilai I_e didapatkan maka lendutan seketika dari balok dapat dihitung, besarnya lendutan seketika pada balok dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_i = \frac{5}{48} k \frac{M_a * L^2}{E_c * I_{e,rata-rata}} \quad (20)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b * d} \quad (21)$$

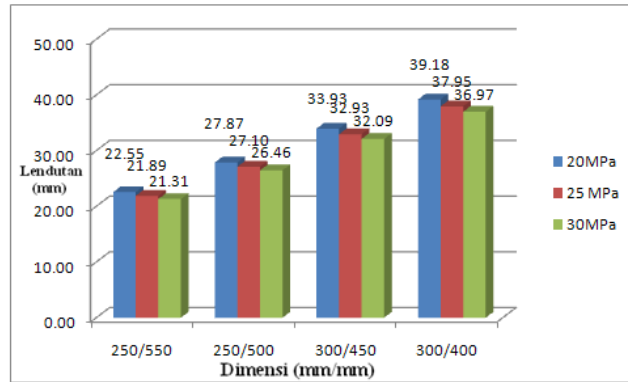
Setelah mendapatkan nilai ρ' langkah selanjutnya adalah mencari besarnya nilai λ_{to} dan λ_{∞} dengan rumus sebagai berikut :

$$\lambda_{to} = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (22)$$

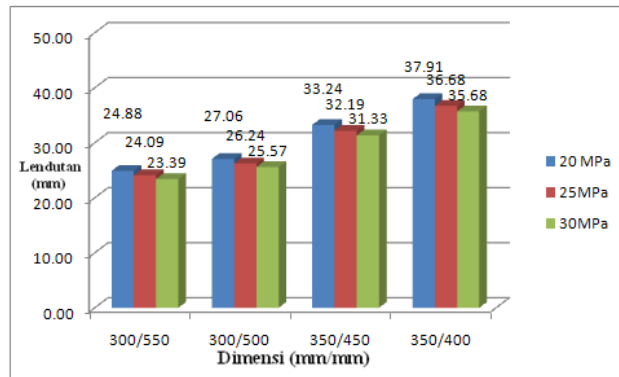
Nilai dari lendutan jangka panjang didapatkan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\Delta_{LT} = \Delta_L + (\lambda_{\infty} - \lambda_{to}) * \Delta_D + \lambda_{\infty} * \Delta_{LS} \quad (23)$$

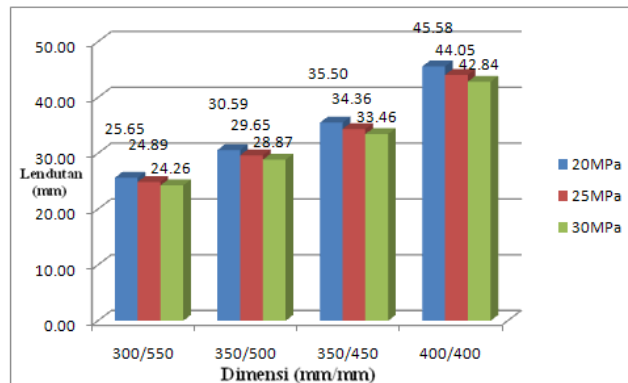
5.4 Pembahasan Lendutan Jangka Panjang Pada Balok



Gambar 5. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Beban 250kg/m².



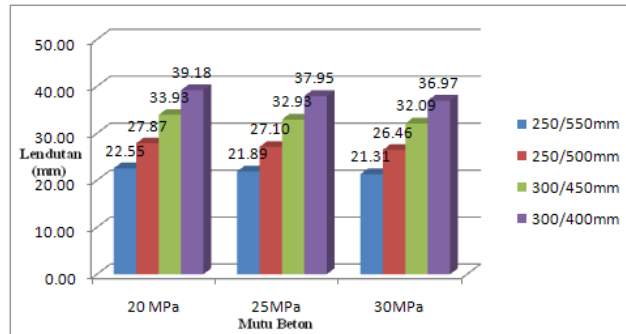
Gambar 6. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Beban 400kg/m².



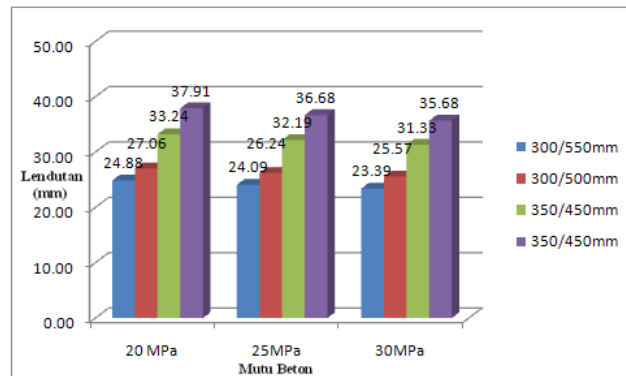
Gambar 7. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Beban 600kg/m².

Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 merupakan grafik yang menerangkan perubahan lendutan akibat dimensi yang berubah pada suatu beban tertentu. Misalnya

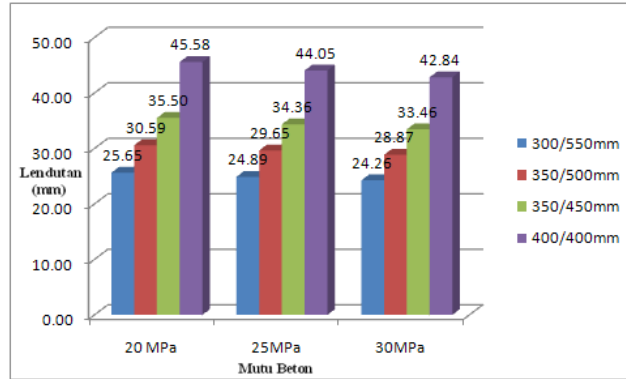
saja pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa lendutan jangka panjang pada mutu beton 20 MPa berubah berturut-turut 25,65mm, 30,59mm, 35,50mm, 45,58mm karena adanya perubahan dimensi. Hal yang sama juga terjadi pada mutu beton lainnya juga pada beban-beban yang berbeda. Pada Gambar 5 sampai Gambar 7 dapat dilihat bahwa perubahan lendutan yang terjadi akibat perubahan dimensi ternyata cukup besar apalagi pada tinggi balok 450mm dan 400mm.



Gambar 8. Grafik Hubungan Mutu Beton dan Lendutan Pada Beban 250 kg/m².

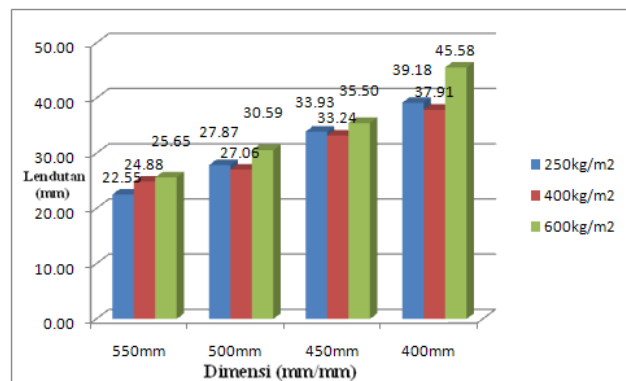


Gambar 9. Grafik Hubungan Mutu Beton dan Lendutan Pada Beban 400 kg/m².

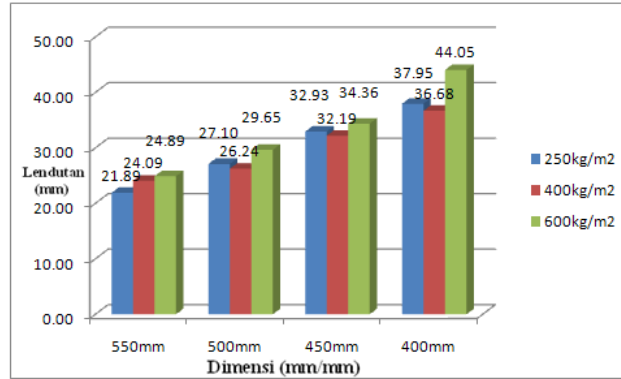


Gambar 10. Grafik Hubungan Mutu Beton dan Lendutan Pada Beban 600 kg/m².

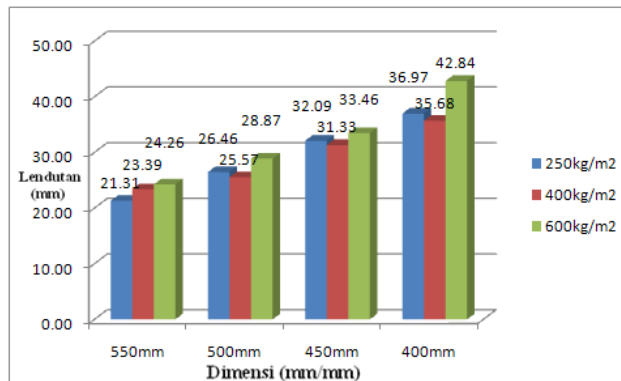
Gambar 8 sampai dengan Gambar 10 merupakan grafik yang menerangkan perubahan lendutan akibat mutu beton yang berubah pada suatu beban tertentu. Misalnya saja pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa lendutan jangka panjang pada dimensi 250/550mm berubah berturut-turut 25,65mm, 24,89mm, 24,26mm, karena adanya perubahan mutu beton. Hal yang sama juga terjadi pada balok dengan mutu beton lainnya juga pada beban-beban yang berbeda. Pada Gambar 8 sampai Gambar 10 dapat dilihat bahwa perubahan lendutan yang terjadi akibat perubahan mutu beton ternyata tidak signifikan.



Gambar 11. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Mutu Beton 20 MPa.



Gambar 12. Gambar Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Mutu Beton 25 MPa.



Gambar 13. Grafik Hubungan Dimensi dan Lendutan Pada Mutu Beton 30 MPa.

Gambar 11 sampai dengan Gambar 13 merupakan grafik yang menerangkan perubahan lendutan akibat penambahan beban pada suatu mutu beton tertentu. Misalnya saja pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa lendutan jangka panjang pada balok dengan tinggi 550 mm berkisar antara 21,31mm sampai dengan 24,26mm. Ini berarti hanya terjadi penambahan lendutan yang relatif kecil padahal penambahan beban hidup cukup besar. Hal ini terjadi karena adanya penambahan luas tulangan tarik untuk beban yang lebih besar. Pada gambar diatas juga dapat terlihat pengaruh pembulatan A_{sperlu} menjadi A_{spakai} yang lebih banyak pada beban 400 kg/m² sehingga menyebabkan lendutannya menjadi lebih kecil dibandingkan pada beban 250 kg/m².

6 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai model dengan berbagai macam variasi dimensi, mutu beton, beban, didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Penambahan beban mengakibatkan peningkatan luas tulangan perlu.

2. Penambahan mutu beton mengakibatkan penurunan luas tulangan perlu.
3. Ketika mutu beton ditingkatkan tetapi luas tulangan pakai dan beban tidak berubah, lendutan yang terjadi menjadi lebih kecil namun nilainya tidak signifikan.
4. Peningkatan luas tulangan pakai menyebabkan lendutan menjadi lebih kecil.
5. Tulangan tarik berpengaruh pada lendutan seketika, penambahannya menyebabkan lendutan seketikanya menjadi lebih kecil.
6. Penambahan dimensi dalam hal ini penambahan tinggi balok menyebabkan jumlah tulangan perlu menjadi lebih sedikit. Tetapi walaupun menggunakan lebih sedikit tulangan lendutan yang dihasilkan tetap lebih kecil bila dibandingkan dengan dimensi yang lebih pendek.
7. Balok dengan tinggi lebih kecil tinggi minimum tetap boleh digunakan namun konsekuensinya adalah harus menambah luas tulangan pakainya, sehingga menyebabkan penggunaan tulangan menjadi boros.

7 SARAN

Adapun beberapa saran yang sebaiknya dilakukan lebih lanjut dari penelitian ini, antara lain :

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk balok-balok dengan bentang yang berbeda.
2. Dalam melakukan pemilihan dimensi yang sesuai untuk bentang yang cukup panjang sebaiknya jangan memilih tinggi minimum.
3. Dalam melakukan pemilihan dimensi yang sesuai untuk beban yang cukup besar sebaiknya jangan memilih tinggi minimum.
4. Untuk pemodelan balok seperti yang dibahas pada Bab III, dalam rangka mengurangi lendutan agar memenuhi lendutan izin dengan dimensi dan tulangan yang lebih sedikit sebaiknya digunakan balok anak, sehingga balok tidak lagi menerima beban dari pelat berukuran 4m x 8m namun hanya dari pelat 2m x 4m saja.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nawy, E. G., 2003, *Reinforced Concrete a Fundamental Approach*, 5th ed., Pearson Education Ltd., London.
2. Standar Nasional Indonesia. 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia.

3. MacGregor, James G. and James K. Wight, 2005, *Reinforced Concrete Mechanics And Design*, 4th ed., Pearson Education Ltd., London
4. Dipohusodo, Istimawan., 1999, *Struktur Beton Bertulang.*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.