

ANALISIS LENDUTAN BALOK BETON SECARA EKSPERIMENTAL DAN METODE ELEMEN HINGGA SESUAI SNI 2847 : 2013

ANALYSIS OF CONCRETE BEAM DEFLECTION BY EXPERIMENTALLY AND FINITE ELEMENT METHOD BASED ON SNI 2847: 2013

Tri Handayani, Yudi Irawadi

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPPT
Kawasan Puspipstek Serpong, Setu – Tangerang 15314
e-mail : tri.handayani@bppt.go.id, yudi.irawadi@bppt.go.id

Abstrak

Telah dilakukan analisis lendutan balok beton yang diberi beban dari sebuah gedung. Analisis dilakukan menggunakan *software* berbasis *finite element method* (FEM) dan eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh jenis tumpuan dan tipe penampang balok terhadap lendutan. Dalam analisis menggunakan *software* FEM, lendutan balok dihitung menggunakan persamaan lendutan balok dengan dua tumpuan yang diasumsi sebagai penampang balok biasa dan penampang balok T. Selain itu, kondisi tumpuan balok diperhitungkan sebagai tumpuan sederhana dan tumpuan jepit-jepit. Dalam evaluasi secara eksperimental balok beton dibebani sesuai SNI 2847 2013, dengan beban uji adalah air dan besar lendutan diukur dengan *linear variable displacement transducer* (LVDT). Perhitungan lendutan di tengah bentang dengan *software* berbasis FEM dengan asumsi balok T dan tumpuan jepit-jepit menghasilkan lendutan untuk balok C 1-2 sebesar 1,652 mm dan untuk balok 2 A-B sebesar 1,987 mm. Lendutan netto di tengah bentang hasil uji beban untuk balok C 1-2 adalah sebesar 1,263 mm dan untuk balok 2 A-B adalah sebesar 1,625 mm. Dengan demikian pada eksperimen ini dapat disimpulkan bahwa lendutan balok beton hasil evaluasi menggunakan *software* FEM melalui perhitungan dengan asumsi penampang balok T dengan kondisi tumpuan jepit-jepit adalah yang paling mendekati lendutan hasil evaluasi secara eksperimental melalui uji beban.

Kata kunci : lendutan, balok beton, penampang balok biasa,
penampang balok T, tumpuan sederhana, tumpuan jepit-jepit

Abstract

It has been done an analysis of concrete beam deflection by loading test of a building. The analysis was conducted by finite element method calculation and experimentally with the purpose to know the influence of the type of support and beam section against deflection. In finite element method analysis, beam deflection is calculated by using deflection equation for the beam on two supports with assuming the beam section as the ordinary beam and as T beam. Besides of that, the supporting condition was also considered, namely as simple support and as fixed-fixed supports. In experimental evaluation, the concrete beam is loaded based on SNI 2847 2013, with a testing load of water and deflection is measured by linear variable displacement transducer (LVDT). Finite element method calculation of deflection at midspan with the assumption of T beam and fixed-fixed supports provided the deflection for C 1-2 beam 1.652 mm and for 2 A-B beam 1.987 mm. Net deflection at midspan resulted from loading test for C 1-2 beam was 1.263 mm and for 2 A-B beam was 1.625 mm. So,

at this study, it can be concluded that the concrete beam deflection resulted by finite element method evaluation through calculation with the assumption of T beam section with fixed-fixed support condition is the closest to the deflection resulted by experimental evaluation through loading test.

Keywords : deflection, concrete beam, ordinary beam section, T beam section, simple support, fixed-fixed support.

Diterima (received) : 2018, Direvisi (revised) : 2018,
Disetujui (accepted) : 2018

PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus dikontrol lendutannya. Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja¹⁾.

Beberapa kajian laboratorium berkaitan dengan lendutan balok beton antara lain dilakukan Ujianto²⁾, Akmaluddin dan Pathurahman³⁾, Sanapang dkk⁴⁾, Wiyono dan Trisina⁵⁾ dan Alaydrus dkk⁶⁾. Ujianto²⁾ mengkaji pengaruh lubang pada badan balok beton terhadap lendutan dan kekakuannya. Akmaluddin dan Pathurahman³⁾ melakukan kajian laboratorium tentang pengaruh tulangan bambu pada momen retak pada beton dan kajian model perhitungan momen inersia untuk perhitungan lendutan. Sanapang dkk⁴⁾ membuat suatu program komputer untuk menganalisis lendutan balok beton bertulang terhadap waktu. Wiyono dan Trisina⁵⁾ menganalisis lendutan seketika dan lendutan jangka panjang pada struktur balok. Alaydrus dkk⁶⁾ menganalisis deformasi struktur balok beton bertulang dengan lubang *hollow core* pada tengah balok.

Pada makalah ini dipaparkan hasil eksperimen di lapangan yaitu analisis lendutan yang terjadi pada suatu balok pada gedung dengan melakukan uji beban dan pengukuran lendutan yang terjadi.

Besarnya nilai lendutan yang terjadi pada kondisi riil dimungkinkan berbeda dengan lendutan hasil perhitungan baik secara teoritis maupun perhitungan dengan *software finite element method (FEM)* atau perangkat lunak Metode Elemen Hingga (*MEH*). Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan antara kondisi riil dan asumsi-asumsi yang dipakai pada perhitungan dengan *software* berbasis *FEM*. Contohnya adalah seperti kondisi tumpuan pada balok, dalam perhitungan dapat diasumsikan sebagai tumpuan jepit-jepit sementara pada

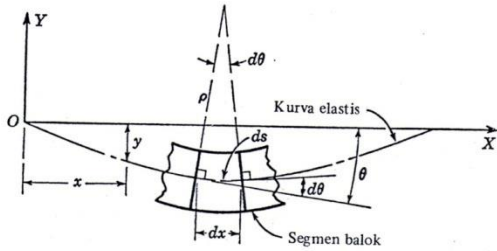
kenyataannya mungkin tidak sepenuhnya jepit-jepit. Contoh lainnya adalah pada balok dengan pelat lantai, pada perhitungan dapat diasumsikan sebagai penampang balok biasa sementara pada kondisi riil mungkin lebih mendekati sebagai penampang balok T ataupun kondisi sebaliknya.

Berdasarkan kedua contoh perbedaan lendutan antara perhitungan dengan *software* dengan kondisi riil di atas maka eksperimen ini dilakukan, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis tumpuan dan tipe penampang balok terhadap lendutan secara perhitungan *software* dan eksperimental. Dalam rangka untuk mencapai tujuan penelitian ini maka dilakukan uji beban terhadap balok beton di lapangan dan dilakukan perhitungan lendutan balok dengan *software* dengan pengaruh berdasarkan jenis tumpuan dan tipe penampang balok.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah area lantai gedung pusat perbelanjaan di Tangerang.

Dalam mendesain balok biasanya lebih ditentukan oleh kekakuan dari pada kekuatan. Balok lantai yang tidak disatukan dengan komponen non struktural biasanya dibatasi hingga lendutan maksimum $L/360$ panjangnya agar menghindari keretakan pada beton⁷⁾. Ada beberapa metode perhitungan lendutan balok, salah satu diantaranya adalah metode integrasi ganda. Lendutan balok dengan metode integrasi ganda adalah dengan mengintegrasikan persamaan diferensial kurva elastis balok secara dua kali. Persamaan diferensial kurva elastis balok diperoleh dari kurva elastis balok seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1.
Kurva Elastis Balok ⁷⁾

Pada Gambar 1 disajikan pandangan samping permukaan netral balok yang melendut (kurva elastis balok). Lendutan ditetapkan sebagai y dari setiap titik dengan terminologi koordinat x . Ujung kiri sebagai origin sumbu X searah dengan kedudukan balok original tanpa lendutan, dan sumbu Y arah ke atas positif. Lendutan dianggap kecil sehingga tidak terdapat perbedaan panjang original balok dengan proyeksi panjang lendutannya. Konsekuensinya kurva elastis sangat datar dan kemiringan pada setiap titik sangat kecil. Harga kemiringan, $\tan \theta = dy/dx$, dengan kesalahan sangat kecil bisa dibuat sama dengan θ sehingga $\theta = dy/dx$ maka ⁸⁾

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (1)$$

Ditinjau dari variasi dalam panjang diferensial ds yang disebabkan oleh lenturan pada balok maka $ds = \rho d\theta$, dimana ρ adalah jari-jari kurva sepanjang busur ds . Karena kurva elastis sangat datar, ds pada prakteknya sama dengan dx , sehingga diperoleh

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \approx \frac{d\theta}{dx} \rightarrow \frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (4)$$

Jika Persamaan 4 diintegrasikan dengan asumsi EI adalah tetap untuk sepanjang balok maka diperoleh Persamaan 5. E adalah modulus elastisitas beton, I adalah momen inersia penampang balok. Persamaan ini adalah persamaan kemiringan yang menunjukkan kemiringan

atau harga dy/dx pada setiap titik. M menyatakan persamaan momen yang dinyatakan dalam terminologi x , dan C_1 adalah konstanta yang dievaluasi dari kondisi pembebanan tertentu.

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (5)$$

$$EI y = \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (6)$$

Persamaan 5 diintegrasikan lagi dan diperoleh Persamaan 6, dimana persamaan ini adalah persamaan lendutan kurva elastis yang dikehendaki guna menunjukkan harga y untuk setiap harga x , C_2 adalah konstanta integrasi lain yang harus dievaluasi dari kondisi balok tertentu dan pembebanannya. Pada penelitian ini disajikan balok dengan pembebanan seperti disajikan pada Gambar 2.

Perhitungan lendutan dilakukan untuk balok dengan 2 jenis pembebanan seperti disajikan pada Gambar 2 dengan kondisi tumpuan sederhana dan tumpuan jepit-jepit. Lendutan yang terjadi pada balok dengan kondisi pembebanan (a) dengan kondisi tumpuan sederhana disajikan pada Persamaan 7 dan lendutan balok dengan kondisi pembebanan (a) dengan kondisi tumpuan jepit-jepit disajikan pada Persamaan 8. Lendutan balok dengan kondisi pembebanan (b) dengan kondisi tumpuan sederhana dan tumpuan jepit-jepit disajikan pada Persamaan 9 dan Persamaan 10.

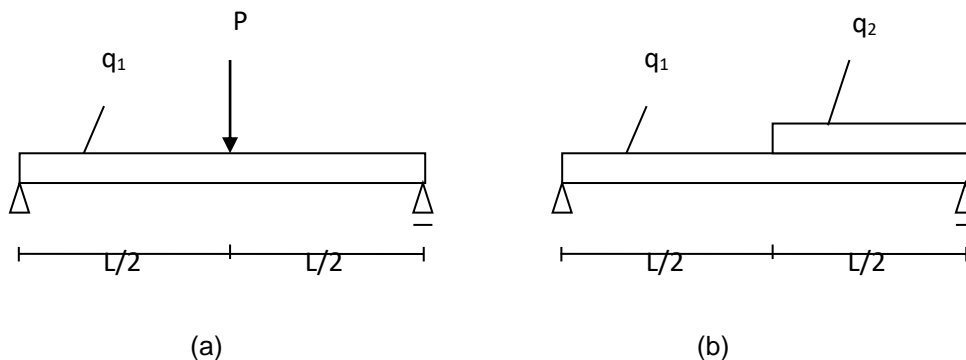
$$y = \frac{5q_1 L^4}{384EI} + \frac{PL^3}{48EI} \quad (7)$$

$$y = \frac{q_1 L^4}{384EI} + \frac{PL^3}{192EI} \quad (8)$$

$$y = \frac{5q_1 L^4}{384EI} + \frac{5q_2 L^4}{768EI} \quad (9)$$

$$y = \frac{q_1 L^4}{384EI} + \frac{q_2 L^4}{768EI} \quad (10)$$

Besarnya lendutan yang terjadi pada balok sesuai dengan Persamaan 7 sampai dengan Persamaan 10 dihitung menggunakan software komputer yang berbasis FEM yaitu software SAP 2000 ¹⁹⁾.



Gambar 2.
Balok Dengan 2 Jenis Pembebanan

Perhitungan lendutan balok juga memperhitungkan kondisi penampang balok, dimana balok bisa diasumsikan sebagai penampang balok biasa dan penampang balok T (Gambar 3). Berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.10¹⁾ apabila balok dicor monolit dengan pelat lantai (mutu beton sama antara balok dan pelat) dan terjadi interaksi antara balok dan pelat yang menjadi satu kesatuan dalam menahan momen positif yang terjadi, balok demikian dikatakan sebagai balok T karena penampangnya yang membentuk huruf T tipikal. Pada kondisi ini sebagian pelat beton akan berfungsi sebagai sayap atas dari balok.

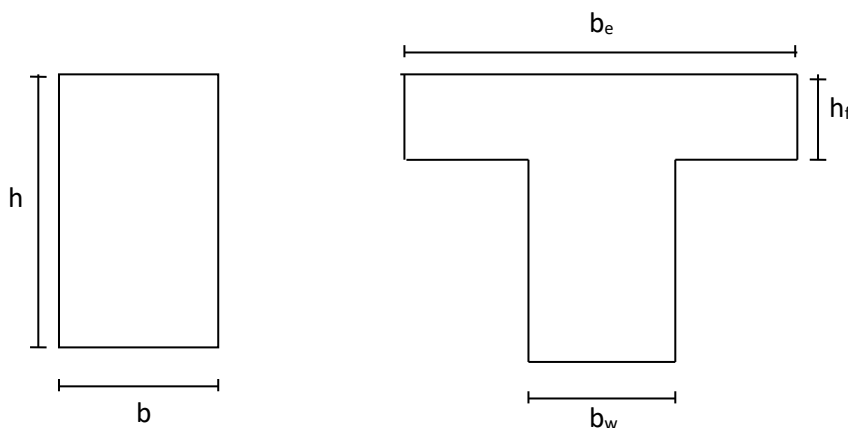
Momen inersia dari penampang balok biasa disajikan pada Persamaan 11 dan untuk penampang balok T yang bisa dikatakan terdiri dari dua buah persegi

panjang, momen inersia penampangnya dihitung sesuai dengan Persamaan 12¹⁰⁾.

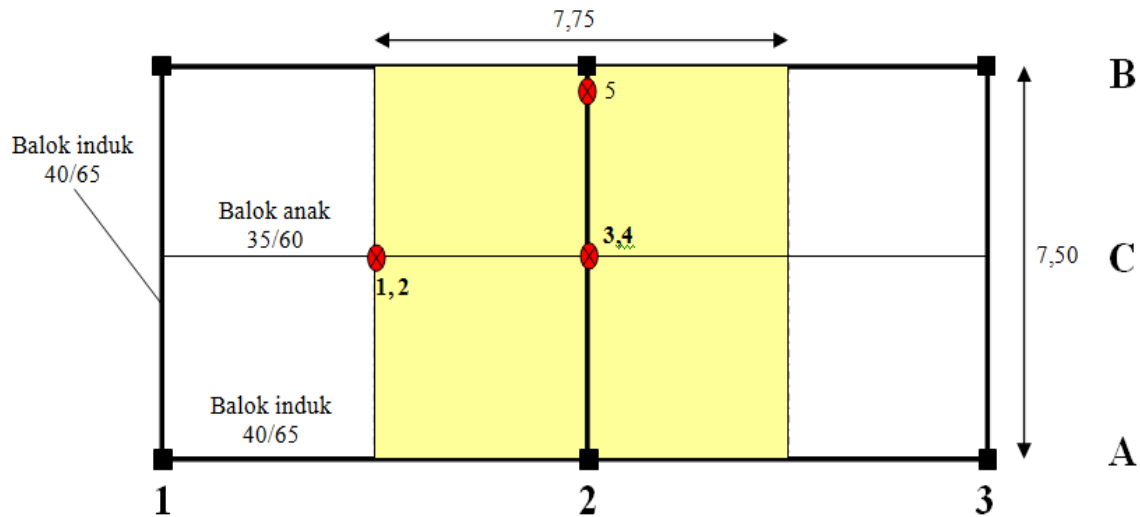
$$I_x = \frac{bh^3}{12} \tag{11}$$

$$I_x = \sum I + \sum Ad^2 \tag{12}$$

Dengan I_x adalah momen inersia arah sumbu x , I adalah momen inersia masing-masing komponen, A adalah luas, d adalah jarak titik berat komponen terhadap titik berat penampang keseluruhan, b adalah lebar balok, h adalah tinggi balok, b_w adalah lebar balok T, b_e adalah lebar efektif sayap dan h_f adalah tebal sayap.



Gambar 3.
Penampang Balok Biasa (kiri) dan Penampang Balok-T (kanan)



Gambar 4.
Denah Posisi Beban Uji (luasan diarsir) dan Penempatan Sensor LVDT ¹⁾

Dalam SNI 2847 : 2013 pasal 20.3 ¹⁾ diatur tentang uji beban yang meliputi prosedur uji beban, besarnya beban serta syarat penerimaan uji beban. Besarnya beban uji total (termasuk beban mati yang sudah ada) tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari 3 persamaan berikut :

$$1,15D + 1,5L + 0,4(Lr \text{ atau } R) \quad (13)$$

$$1,15D + 0,9L + 1,5(Lr \text{ atau } R) \quad (14)$$

$$1,3D \quad (15)$$

Dengan D adalah beban mati, L adalah beban hidup, Lr adalah beban hidup atap dan R adalah beban hujan.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan uji beban pada balok beton. Uji beban dilaksanakan sesuai prosedur dalam SNI 2847 : 2013¹⁾. Uji beban dilakukan menggunakan beban berupa air yang dimasukkan ke dalam bak yang diletakkan di atas lantai gedung. Selama pengujian berlangsung dilakukan pengukuran lendutan menggunakan sensor LVDT (*Linier Variable Displacement Transducer*) yang berjumlah 5 buah dengan posisi pemasangan sensor LVDT seperti disajikan pada Gambar 4.

Beban uji berupa air diberikan mulai dari 0 ton naik secara bertahap hingga mencapai 43,17 ton. Beban uji ditahan selama 24 jam. Setelah ditahan selama 24 jam beban uji dilepas secara bertahap hingga beban kosong. Selama pengujian

dilakukan perekaman data lendutan mulai dari beban kosong naik hingga 43,17 ton, ditahan selama 24 jam, kemudian saat beban turun dari 43,17 ton hingga beban kosong dan dilanjutkan hingga 24 jam setelah beban kosong.

Hasil pengukuran lendutan dari uji beban kemudian dibandingkan dengan lendutan dari hasil perhitungan dengan *software*. Kemudian ditentukan lendutan hasil perhitungan mana yang paling mendekati dengan lendutan hasil uji beban ditinjau dari pengaruh bentuk penampang balok dan pengaruh kondisi tumpuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran lendutan dari uji beban disajikan pada Tabel 1, dan hasil perhitungan lendutan dengan *software FEM* disajikan pada Tabel 2 serta Gambar 5 dan Gambar 6.

Kondisi 1 pada keterangan di Tabel 1 adalah kondisi dimana lendutan terjadi pada saat beban uji mencapai maksimum dan kondisi 2 adalah lendutan permanen yang terjadi ketika beban uji adalah 0 ton (beban kosong) dan setelah ditahan selama 24 jam.

Lendutan yang disajikan pada Tabel 1 adalah lendutan bruto sehingga masih perlu dihitung lendutan netto, yaitu dengan cara mengurangi lendutan terukur di tengah

Tabel 1.
Lendutan dari Hasil Uji Beban

No.	Balok	LVDT	Lendutan maksimum (mm)		Posisi sensor
			Kondisi 1	Kondisi 2	
1	Balok C1-2	LVDT1	2,269	0,281	Tengah bentang
		LVDT 2	2,255	0,267	Tengah bentang
		Rata-rata	2,262	0,274	
2	Balok 2 A-B	LVDT 3	1,953	0,376	Tengah bentang
		LVDT 4	2,040	0,445	Tengah bentang
		Rata-rata	1,997	0,411	
		LVDT 5	0,372	0,372	Ujung bentang

bentang dengan lendutan terukur diujung bentang. Untuk balok C 1-2, beban uji hanya setengah bentang yaitu di sisi ujung nomor 2, sedangkan pada setengah bentang ujung nomor 1 tidak ada beban. Oleh karena itu, pada ujung nomor 1 dianggap tidak terjadi lendutan dan pengaruh lendutan terukur di ujung bentang nomor 2 terhadap lendutan di tengah bentang balok C 1-2 adalah setengahnya. Dengan demikian, lendutan netto di tengah bentang balok C 1-2 adalah lendutan terukur di tengah bentang sebesar 2,262 mm dikurangi 0,999 mm (yaitu setengah dari lendutan terukur di ujung nomor 2) sehingga diperoleh lendutan netto di tengah bentang sebesar 1,263 mm.

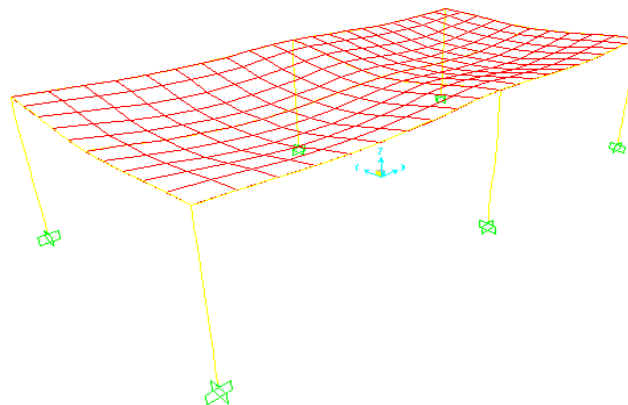
Untuk balok 2 A-B, karena beban uji simetri dan merata di sepanjang balok 2 A-

B, maka lendutan di kedua ujung bentang dianggap sama. Dengan demikian, lendutan netto pada balok 2 A-B adalah 1,997 mm (lendutan terukur di tengah bentang balok 2 A-B) dikurangi dengan 0,372 mm (lendutan terukur di ujung bentang) sehingga diperoleh lendutan netto di tengah bentang sebesar 1,625 mm.

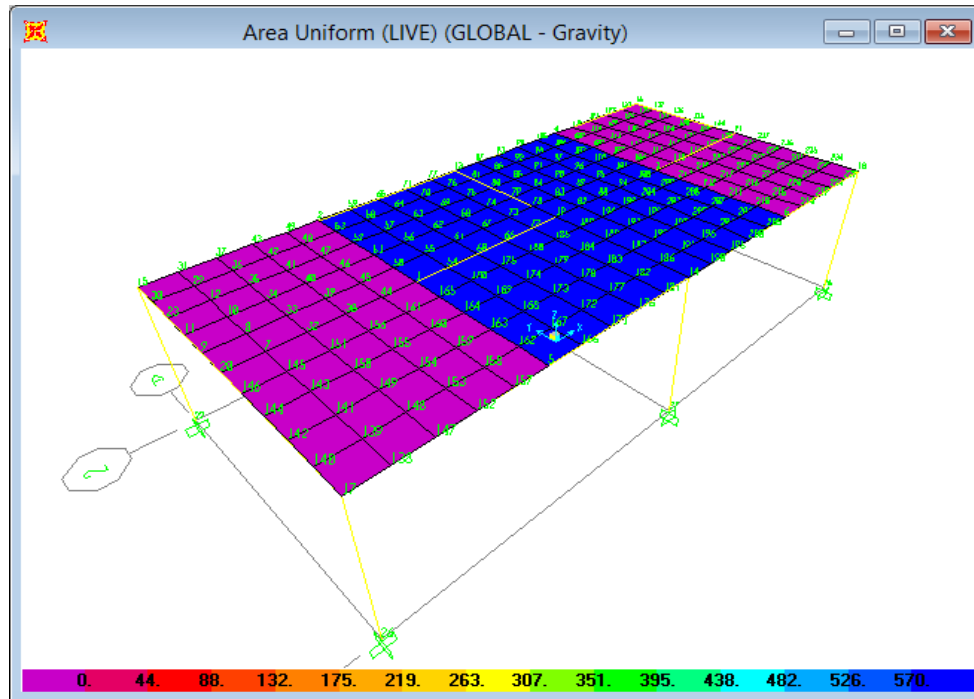
Berdasarkan hasil perhitungan lendutan dengan *software FEM* yang disajikan pada Tabel 2 dan perhitungan lendutan netto hasil uji beban di atas dapat diketahui bahwa lendutan hasil perhitungan dengan kondisi penampang balok T dan kondisi tumpuan jepit-jepit adalah yang paling mendekati lendutan dari hasil uji beban.

Tabel 2.
Lendutan dari Hasil Perhitungan *FEM*

No.	Balok	Lendutan (mm)				Lokasi lendutan
		Tumpuan sederhana		Tumpuan jepit-jepit		
		Balok biasa	Balok T	Balok biasa	Balok T	
1	Balok C1-2	11,723	6,362	2,345	1,272	Tengah bentang
2	Balok 2 A-B	9,363	7,869	1,873	1,574	Tengah bentang



Gambar 5.
Defleksi Yang Terjadi Pada Balok dan Pelat Lantai



Gambar 6.
Pembebanan Pada Balok Dan Pelat Lantai

Tabel 3.
Rekapitulasi Lendutan Hasil Perhitungan *FEM* dan Uji Beban

No.	Balok	Lendutan maksimum di tengah bentang (mm)		Selisih	Rasio defleksi <i>FEM</i> dan Uji Beban
		Uji beban	Perhitungan <i>FEM</i>		
1	Balok C1-2	1,263	1,272	0,009 mm (0,71%)	1,007
2	Balok 2 A-B	1,625	1,574	0,051 mm (3,24%)	0,967

Pada Tabel 3 disajikan rekapitulasi lendutan hasil perhitungan *FEM* dan hasil uji beban. Pada balok C 1-2 lendutan dari hasil uji beban adalah sebesar 1,263 mm. Dari hasil perhitungan *FEM*, lendutan yang paling mendekati dengan hasil uji beban adalah lendutan dengan asumsi kondisi penampang balok T dengan tumpuan jepit-jepit yaitu sebesar 1,272 mm, dengan perbedaan sebesar 0,009 mm (0,71%). Pada balok 2 A-B juga berlaku sama dimana lendutan hasil perhitungan dengan asumsi kondisi penampang balok T dengan tumpuan jepit-jepit sebesar 1,574 mm adalah yang paling mendekati lendutan dari hasil uji beban yaitu 1,625 mm, dengan perbedaan 0,051 mm (3,24%).

Berdasarkan penelitian dari A Lapko dan M Urbanski tentang defleksi secara teoritis dan eksperimental terhadap balok beton diperoleh hasil rasio defleksi teoritis dan defleksi hasil uji beban yang bervariasi.

Pada beban 0 – 15 kN dan 35 - 45 kN defleksi secara teoritis lebih kecil daripada defleksi secara eksperimental. Pada beban 20 – 30 kN defleksi secara teoritis lebih besar dari defleksi eksperimental¹²⁾. Pada penelitian ini, defleksi hasil *FEM* bervariasi terhadap defleksi secara eksperimental. Pada balok C1-2 defleksi *FEM* lebih besar dari defleksi hasil uji beban dan pada balok 2A-B defleksi *FEM* lebih kecil dari defleksi eksperimental.

Untuk mengetahui kemampuan balok dalam mendukung beban apakah dalam kondisi aman atau tidak dalam jangka panjang maka nilai defleksi hasil uji beban harus dibandingkan dengan persyaratan defleksi yang diijinkan sesuai SNI 2847 : 2013. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa balok dalam kondisi aman dalam mendukung beban untuk fungsi bangunan sebagai gedung perbelanjaan.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis pada pembahasan di atas serta terbatas pada data pengujian maka dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini lendutan balok beton hasil perhitungan dengan asumsi kondisi penampang balok T dan tumpuan jepit-jepit adalah yang paling mendekati lendutan dari hasil uji beban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Tim pelaksanaan pengujian beban (*loading test*) dari B2TKS - BPPT Kawasan Puspipstek Serpong.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional, *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2013.
2. Ujianto, M., *Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Bertulang dengan Lubang Segi Empat di Badan*, *Jurnal eco Rekayasa*, Vol.2, No.2, September 2006. <http://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/123456789/1378/ujianto-1.pdf?sequence=1>. [Diakses 14 Maret 2016].
3. Akmaluddin & Pathurahman (2012), *Effective Moment of Inertia Approach for Predicting Deflection of Concrete Beams Reinforced with Twisted Bamboo Cables*, *IJCEE-IJENS*, Vo:12, No:03.http://www.ijens.org/Vol_12_I_03/126903-7878-IJCEE-IJENS.pdf. [Diakses 14 Maret 2016].
4. Sanampang, C. dkk. (2013), *Analisis Lendutan Pada Struktur Beton Bertulang Terhadap Waktu (Time Dependent)*, *Jurnal Sipil Statik*, Vol.1, No.3, Februari 2013.
5. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/download/938/754>. [Diakses 14 Maret 2016].
6. Wiyono, D.R., Trisina, W., (2013), *Analisis Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang pada Struktur Balok*, *Jurnal Teknik Sipil Volume 9 Nomor 1*, April 2013 (1 – 83).[majour.maranatha.edu>article>download](http://majour.maranatha.edu/article/download). [Diakses 28 Mei 2016]
7. Alaydrus, M., Nurlina, S., Remayanti, C.N., (2015), *Analisis Deformasi Struktur Balok Beton Bertulang dengan Lubang Hollow Core pada Tengah Balok*, *Jurnal Teknik Sipil Universitas Brawijaya*. [sipil.studentjournal.ub.ac.id>article>view](http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/article/view/)[Diakses pada 29 Mei 2016]
8. Singer, F.L., Pytel, A., *Mechanics of Materials*, Second Edition, Cengage Learning, Stamford, 2011.
9. Beer, F.P., Johnston, E.R. (2009), *Mechanics of Materials*, Mc Graw - Hill, Singapore, 2011.
10. Computer and Structures Inc, *SAP 2000 Basic : Linier and Nonlinier Static and Dynamic Analysis and Design of Three Dimensional Structures*, Berkeley University, USA, 2008.
11. Craig, R.R., *Mechanics of Materials*, John Wiley & Son, New York, 2011.
12. Fauzi, H.A., Handayani, T., Sudarmadi (2014), *Loading Test Lantai Lower Ground*, Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, Tangerang Selatan, 2011.
13. Lapko, A., Urbanski, M., *Experimental and Theoretical Analysis of Deflections of Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebar*, *Science Direct – Civil and Mechanical Engineering* 15 (223 – 230), 2015.