

Studi Eksperimental Jumlah Segmen terhadap Kekuatan dan Kekakuan Pelat Lantai Beton Segmental

Yulita Arni Priastiwi*, Ilham Nurhuda, Edo Antonio

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Beton segmental merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk konstruksi plat lantai. Metode ini dilakukan dengan menyusun beberapa segmen beton berukuran kecil sehingga menjadi satu kesatuan struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah segment terhadap perilaku dan kekuatan pelat lantai beton, ditinjau dari kapasitas beban, lendutan maksimum, dan kekakuan dari pelat lantai beton pracetak segmental. Benda uji yang digunakan untuk pengujian pelat lantai beton pracetak segmental menggunakan beton dengan kuat tekan ($f'c$) 25 MPa, dan baja tulangan tarik 2-D10. Dimensi panel pelat yang digunakan mempunyai panjang dua meter dan lebar 25 cm. Panel pelat beton segmental yang akan diuji mempunyai 5 variasi yaitu benda uji pelat beton tanpa segmen, benda uji satu segmen menggunakan topping beton, benda uji dua segmen, benda uji empat segmen, dan benda uji delapan segmen. Pengujian pelat lantai beton pracetak segmental dilakukan dengan metode pengujian lentur satu arah dengan dua titik pembebanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas beban pelat segmental, kekakuan pelat segmental, dan daktilitas pelat segmental berbanding terbalik dengan jumlah segmen pelat lantai beton. Penurunan persentase beban ultimit pelat beton segmental dengan jumlah n -segmen dapat dimodelkan dengan persamaan $P_n = 100.e^{-0,111.n}$.

Kata kunci: beton pracetak; beton segmental; pelat lantai beton; pelat beton segmental; pelat lantai pracetak

Abstract

[Title: *Experimental Study to Investigate the Effect of Number of Segments on Strength and Stiffness of Segmental Precast Concrete Slab*] small-sized segmental concrete blocks into a concrete structure. The objectives of this study are to examine the effect of the number of segments on the behavior and strength of the segmental concrete slab, in terms of load capacity, maximum deflection, and stiffness of segmental concrete slab. The specimens used concrete grade $f'c$ 25 MPa with tension bar 2-D10. The dimension of specimen were 2 meter length and 25 cm width. The specimen were varied into 5 conditions, namely monolithic slab without segmental blocks specimens, one segment with concrete topping, two-segment specimens, four-segment specimens, and eight-segment specimens. The experimental tests were carried out using a one-way flexural test method with two points loading. Research results show that the load capacity, the stiffness, and the ductility of the segmental slabs decrease with the increase of segment numbers. The reduction of ultimate load percentage of segmental concrete slab with n number of segment can be estimated using equation $P_n = 100.e^{-0,111.n}$.

Keywords: precast concrete; segmental concrete; concrete slab; segmental concrete slab; precast concrete slab

1. Pendahuluan

Pelat lantai beton adalah struktur beton yang

berfungsi untuk menopang beban lantai di atasnya. Pelaksanaan pelat yang masih sering kita jumpai di lapangan merupakan metode konvensional. Pada metode pembuatan pelat lantai konvensional, perancah (*scaffolding*) harus disiapkan terlebih dahulu untuk

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: yulitaarnipriastiwi@gmail.com

menopang bekisting pelat (shoring formwork). Beberapa langkah tersebut membuat pengerjaan lantai membutuhkan waktu yang relatif lama.

Di sisi lain, penggunaan beton pracetak pada dunia konstruksi saat ini sedang berkembang. Penggunaan beton pracetak banyak dipakai dalam berbagai macam bangunan, seperti jembatan layang dan gedung. Salah satu keuntungan dari beton pracetak yaitu waktu pengerjaan yang relatif lebih cepat dan bisa dikontrol kualitasnya (Wu dkk., 2018). Beton segmental (*segmental concrete*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk konstruksi pelat lantai yaitu dengan menyusun beberapa segmen beton berukuran kecil sehingga menjadi satu kesatuan struktur.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pelat lantai beton pracetak segmental. Hazairin dkk. (2013) meneliti tentang pelat lantai keraton (keramik-beton). Pelat keraton merupakan pelat segmental yang terbuat dari tanah liat yang diberi rongga-rongga pada penampangnya dengan tujuan untuk mengurangi berat dari segmen tersebut. Pelat segmental keraton mempunyai ukuran yang seragam dengan panjang per-segmen adalah 25 cm. Penampang segmental keraton ditampilkan pada Gambar 1.

Hazairin dkk. (2013) mengungkapkan bahwa kesatuan elemen segmental menjadi hal penting yang harus diperhatikan agar struktur dapat bekerja dengan baik. Lebih lanjut Hazairin dkk. (2013) merangkai segmental keraton menjadi satu kesatuan pelat seperti yang terlihat pada Gambar 2. Hasil penelitian tersebut

menunjukkan bahwa tanpa adanya perkuatan arah transversal maka sambungan antar segmen dapat membuka pada arah transversal yang dapat mengurangi kinerja pelat.

Kekuatan (kapasitas beban) dan daktilitas adalah hal penting yang perlu diketahui pada struktur beton pracetak segmental. Hermawan & Mulya (2011) meneliti sambungan antar segmen pada balok beton pracetak yang di sambung di bagian tengah balok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok pracetak segmental yang dibuat secara baik mampu memberikan kekuatan dan daktilitas yang baik, meskipun lebih kecil dari kekuatan dan daktilitas balok beton monolit.

Hermawan & Mulya (2011) telah meneliti pengaruh sambungan transversal pelat pracetak, sedangkan penelitian yang dilakukan Hazairin dkk. (2013) mengkaji pengaruh panjang struktur pada perilaku dan kekuatan struktur, serta pengaruh sambungan pada perilaku dan kekuatan struktur beton pracetak segmental. Sejauh ini, belum dilakukan studi terkait pengaruh jumlah segmen terhadap perilaku struktur. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah segmen pada perilaku pelat lantai beton segmental. Perilaku yang ditinjau adalah kekakuan, kapasitas beban, dan pola keruntuhan struktur.

2. Alat dan Bahan

2.1 Metode Eksperimental

Panel beton segmental dirancang mempunyai



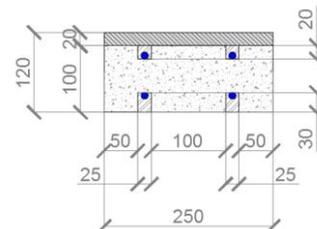
Gambar 1. Penampang segmental keraton (Hazairin dkk., 2013)



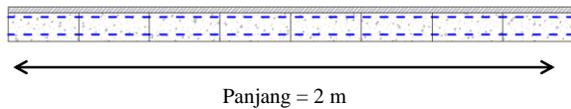
Gambar 2. Keraton yang telah dirangkai menjadi pelat (Hazairin dkk., 2013)



Gambar 3. Gambar potongan benda uji beton pracetak (Hermawan & Mulya, 2011)



Gambar 4. Penampang & dimensi beton segmental



Gambar 5. Potongan memanjang benda uji beton segmental

panjang 2 m dengan rangkaian segmen yang mempunyai panjang bervariasi yaitu 250 mm, 500 mm, 1000 mm, dan 2000 mm. Penampang panel beton segmental berukuran tebal 120 mm dan lebar 250 mm. Potongan melintang dan dimensi penampang benda uji beton segmental ditampilkan pada Gambar 4, sedangkan potongan memanjang beton segmental ditampilkan pada Gambar 5. Bagan alir penelitian pelat lantai beton pracetak segmental ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 7 menunjukkan metode pengujian beton segmental dimana pengujian pelat beton segmental dilakukan dengan metode lentur satu arah dengan dua titik pembebanan (*two points load*) sesuai SNI 4431: 2011. Jarak antar tumpuan pada pengujian adalah 1800 mm dengan titik pembebanan pada jarak 600 mm dari tumpuan. Untuk mengetahui besarnya beban maka digunakan *Load Cell* kapasitas 100 kN. Lendutan benda uji pada arah vertikal diukur menggunakan LVDT vertikal yang dipasang pada tengah bentang benda uji yang berjarak 900 mm dari tumpuan, dan sebagai pembanding dipasang LVDT vertikal pada jarak 450 mm dari tumpuan (seperempat bentang). Set up pengujian pelat beton segmental ditampilkan pada Gambar 7, sedangkan perencanaan jumlah benda uji penelitian beton segmental disajikan pada Tabel 1.

2.2 Analisis Hubungan Beban dan Lendutan

Kuat lentur struktur beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan regangan dalam yang timbul di dalam beton yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam (Nawy dkk., 2010). Peningkatan beban linear akan disertai dengan munculnya daerah asal retak dimana lendutan benda uji juga akan semakin meningkat (Zdanowicz & Marx, 2022). Fase non linear adalah kondisi setelah fase linear pada kurva. Fase non linear ditandai dengan adanya retak pertama dan melendutnya beton beserta tulangan tarik (Al-Fakher dkk., 2021).

Hubungan pendekatan beban dan lendutan pada

Tabel 2. Persentase Beban ultimit

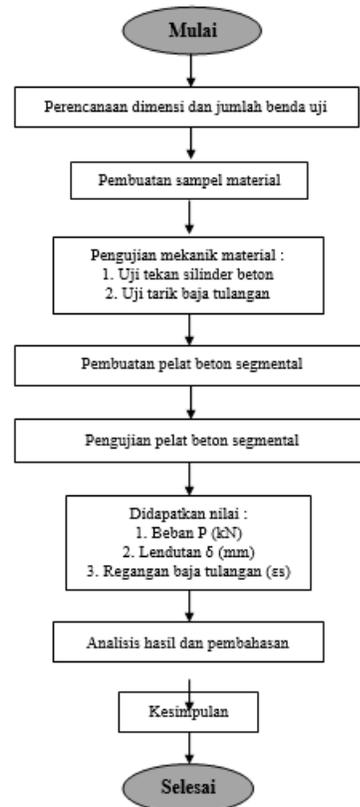
Type Pelat	P _u (kN)	Persentase (%)
Pelat pembanding (B)	18,942	100
1 Segmen (1S)	17,424	85,7
2 Segmen (2S)	16,104	77,1
4 Segmen (4S)	14,388	55,8
8 Segmen (8S)	11,463	44,9

beton bertulang sampai melewati beban maksimum untuk struktur beton dapat dibuat seperti terlihat pada Gambar 8. Kurva hubungan beban dan lendutan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa kekakuan merupakan hubungan antara beban dan lendutan, sehingga kekakuan dapat dihitung dengan membagi beban dengan lendutan. Nilai kekakuan dapat dihitung menggunakan Persamaan 1,

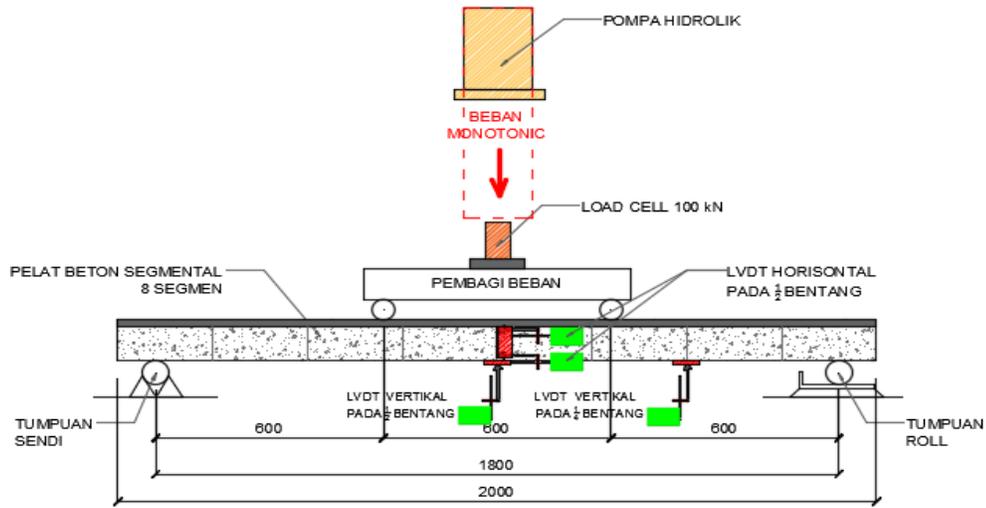
$$k = \frac{P}{\delta} \tag{1}$$

dimana k merupakan kekakuan beton; P merupakan beban yang terjadi (kN); dan δ adalah lendutan yang terjadi (mm).

Hubungan beban dan lendutan juga digunakan untuk menghitung besarnya daktilitas struktur beton bertulang. Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum mengalami keruntuhan (Paulay & Priestley, 1992). Struktur yang bersifat daktil akan mampu menahan beban yang meningkat secara signifikan tanpa mengalami keruntuhan (Gilbert & Sakka, 2007). Besarnya daktilitas maksimum diidentifikasi sebagai *displacement ductility factor* (μ) yang ditunjukkan pada Persamaan 2.



Gambar 6. Bagan alir penelitian



Gambar 7. Metode pengujian pelat beton segmental

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2)$$

dimana μ adalah *displacement ductility factor*; δ_u merupakan lendutan ultimit (mm); dan δ_y adalah lendutan saat leleh (mm).

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pelat beton segmental diawali dengan melakukan pengujian mekanik material terlebih dahulu. Pengujian mekanik material yang dilakukan yaitu pengujian tekan silinder beton dan pengujian kuat tarik baja tulangan.

Uji tekan silinder beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton yang akan dipakai dalam pengujian (SNI 1974:2011). Hasil uji tekan silinder beton diperoleh kuat tekan silinder rata-rata yaitu 26,31 MPa yang melebihi nilai 25 MPa sebagai batasan penelitian pelat segmental.

Pengujian kuat tarik baja tulangan dilakukan untuk mengetahui mutu baja yang digunakan untuk menahan gaya tarik (SNI 2052:2017). Perencanaan mutu baja yang digunakan yaitu menggunakan mutu baja BjTS 520 dengan rencana tegangan leleh baja 600

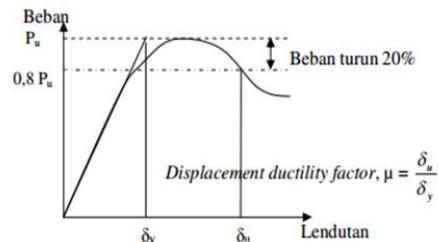
MPa. Hasil pengujian tarik baja tulangan diperoleh tegangan leleh baja (f_y) sebesar 620,37 MPa dimana nilai tegangan leleh tersebut memenuhi persyaratan batasan penelitian.

Hasil pengujian pelat beton segmental berupa data beban dan lendutan pada $\frac{1}{2}$ bentang dan $\frac{1}{4}$ bentang sehingga dapat dibuat grafik hubungan beban dan lendutan untuk mengetahui perilaku pelat beton segmental. Grafik hubungan beban dan lendutan per varian benda uji ditampilkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 13.

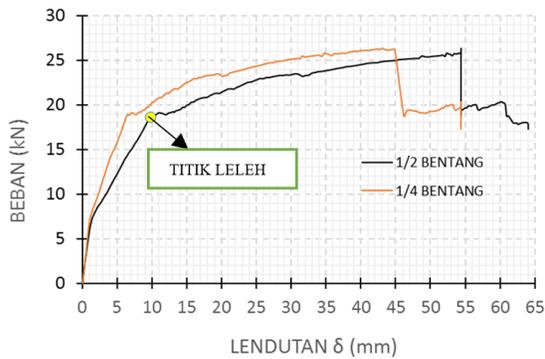
Beban ultimit merupakan beban maksimum yang membuat pelat beton segmental mengalami keruntuhan. Besarnya kapasitas beban ultimit per varian benda uji dicatat dan dibandingkan dengan kapasitas beban ultimit pelat monolit sebagai pembanding. Besar beban ultimit (P_u) tiap benda uji dan persentasenya terhadap pelat pembanding ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan persentase beban ultimit yang semakin menurun akibat bertambahnya segmen. Hasil dari kapasitas beban yang menurun sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hermawan & Mulya (2011) dimana kapasitas beban dari beton utuh lebih besar dari

Tabel 1. Perencanaan jumlah benda uji

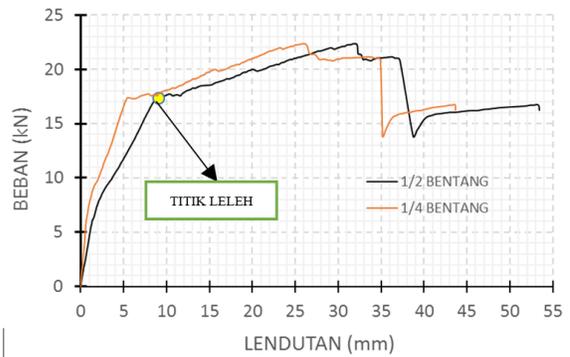
Variasi Benda uji	Kode Benda uji	Jumlah benda uji
8 Segmen	8S	1 sampel
4 Segmen	4S	1 sampel
2 Segmen	2S	1 sampel
1 Segmen	1S	1 sampel
Pelat Pembanding	B	1 Sampel



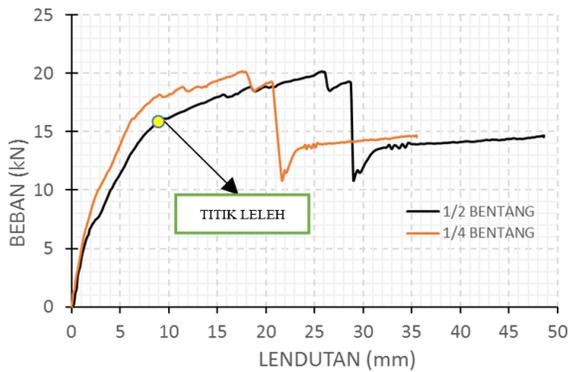
Gambar 8. Grafik hubungan beban-lendutan (Paulay & Priestley, 1992)



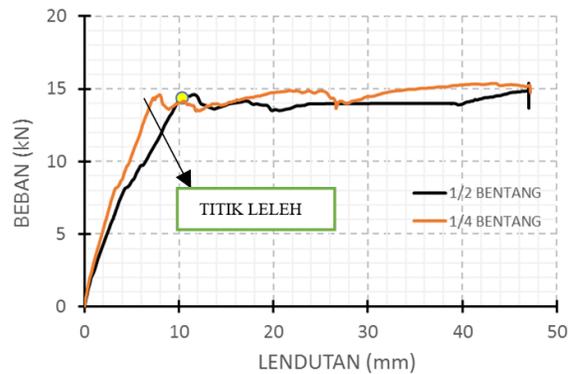
Gambar 9. Hubungan Beban dan Lendutan benda uji B



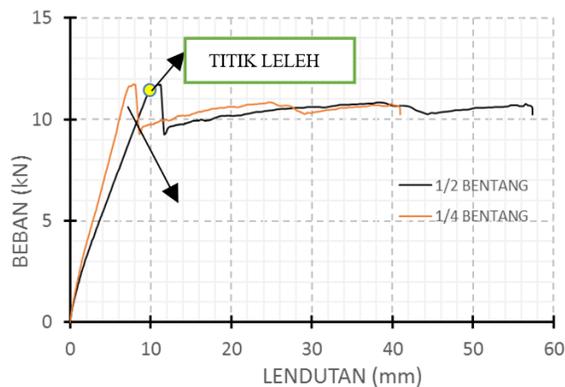
Gambar 10. Hubungan Beban dan lendutan benda uji 1S



Gambar 11. Hubungan Beban dan Lendutan benda uji 2S



Gambar 12. Hubungan Beban dan Lendutan benda uji 4S



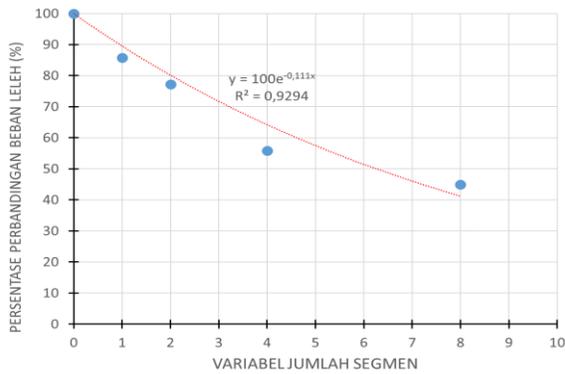
Gambar 13. Hubungan Beban dan Lendutan benda uji 8S

kapasitas beban beton *precast* atau beton sambungan (Hermawan & Mulya, 2011).

Analisis persentase penurunan kapasitas beban leleh dapat diketahui dengan membuat grafik perbandingan antara jumlah segmen dengan persentase beban leleh. Grafik pada Gambar 14 menunjukkan

bahwa semakin banyak segmen maka semakin rendah beban leleh yang dapat diterima dimana benda uji 8 segment hanya mampu menahan beban ultimit sebesar 44,9% jika dibandingkan dengan pelat kondisi utuh.

Penafsiran persentase penurunan kapasitas beban pelat segmental dimodelkan menggunakan persamaan



Gambar 14. Grafik persentase penurunan beban ultimit

eksponensial dengan perhitungan statistik *Standard error of Estimate (SEp)* dan menghasilkan besaran $\pm 1,21\%$. Berdasarkan grafik pada Gambar 14 penurunan kapasitas beban pelat segmental dapat dimodelkan dengan Persamaan 3.

$$P_n = 100 \cdot e^{-0,111 \cdot n} \pm 1,21\% \quad (3)$$

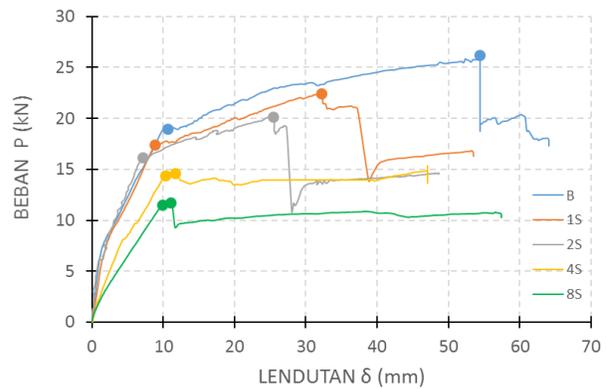
dimana P_n adalah beban ultimit pada (n) segmen; e adalah *exponential*; dan n adalah jumlah segmen.

Kekakuan pada pengujian pelat beton segmental dianalisa pada saat kondisi leleh. Setelah didapatkan beban leleh (P_y) dan lendutan leleh (δ_y) maka kekakuan beton segmental pada kondisi leleh dapat dicari. Untuk mencari kekakuan yaitu dengan membagi beban leleh dengan lendutan leleh seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan dengan bertambahnya segmen maka lendutan pada pelat akan semakin besar sesuai pada penelitian yang dilakukan Leman dkk. (2018). Hazairin dkk. (2013) telah meneliti bahwa dengan bertambahnya lendutan pada pelat segmental maka kekakuan pelat akan semakin menurun, sehingga dari hasil penelitian pada Tabel 3 membuktikan bahwa hasil penelitian sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Hazairin dkk. (2013).

Detail mengenai perilaku beton segmental dapat

Tabel 3. Nilai beban, lendutan, dan kekakuan saat kondisi leleh

Type pelat	P_y (kN)	δ_y (mm)	K_y (kN/mm)
Pelat pembanding (B)	18,942	10,03	1,889
1 Segmen (1S)	17,424	9,56	1,823
2 Segmen (2S)	16,104	9,38	1,717
4 Segmen (4S)	14,388	10,32	1,394
8 Segmen (8S)	11,463	9,87	1,161



Gambar 15. Grafik Daktilitas beton segmental

diketahui dengan menggambarkan perbandingan kurva hubungan beban dan lendutan per varian benda uji. Kurva perbandingan beban dan lendutan masing-masing benda uji juga dapat digunakan dalam mengetahui besarnya daktilitas struktur seperti penelitian yang telah dilakukan Gilbert & Sakka, (2007). Perbandingan beban dan lendutan masing-masing varian benda uji ditampilkan pada grafik Gambar 15.

Analisis daktilitas struktur dimulai dari lendutan pada fase leleh sampai dengan lendutan maksimum. Dari Gambar 15 dapat diketahui terdapat rentang yang panjang dari lendutan leleh sampai dengan lendutan maksimum pada pelat pembanding, sedangkan dengan bertambahnya segmen beton, maka rentang tersebut semakin pendek.

Daktilitas pada pelat beton segmental ($\mu = \text{Displacement ductility factor}$) dianalisis dengan membagi besar lendutan pada saat keruntuhan (δ_u) dengan lendutan saat leleh (δ_y). Berikut merupakan perbandingan daktilitas pada masing-masing variasi benda uji seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa jumlah segmen pada pelat beton segmental mempengaruhi daktilitas struktur, sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Irawan dkk. (2017) serta Liu dkk. (2020) dimana penambahan

Tabel 4. Daktilitas beton segmental

Type pelat	δ_u (mm)	δ_y (mm)	μ (Daktilitas)
Pelat pembanding (B)	54,38	10,03	5,42
1 Segmen (1S)	31,89	9,56	3,34
2 Segmen (2S)	25,02	9,38	2,67
4 Segmen (4S)	11,72	10,32	1,14
8 Segmen (8S)	11,25	9,87	1,14

sambungan (*joint*) akan memperlemah daktilitas struktur. Daktilitas yang semakin menurun mengakibatkan perilaku pelat yang getas terlebih bila dukungan daktilitas tulangan juga rendah (Tuladhar & Lancini, 2014) sehingga keruntuhan dapat terjadi secara mendadak (Gilbert & Sakka, 2007).

4. Kesimpulan

Kesimpulan mengenai kapasitas beban pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Hermawan & Mulya (2011) dimana jumlah segmen pelat beton segmental berpengaruh pada kapasitas beban yang mampu diterima pelat beton, sehingga kesimpulan ini dapat menjawab latar belakang permasalahan dimana penafsiran penurunan persentase beban ultimit dengan bertambahnya segmen pada pelat beton dapat dimodelkan dengan persamaan ($P_n = 100 \cdot e^{-0.011n}$) dimana P_n adalah beban ultimit pelat segmental dengan jumlah segmen n segmen.

Kekakuan dan daktilitas yang mewakili perilaku pelat beton segmental sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya seperti pada penelitian yang dilakukan Leman dkk. (2018) mengenai kekakuan pelat keraton dan penelitian yang dilakukan Gilbert & Sakka (2007) dimana penambahan sambungan (*joint*) dapat berpengaruh pada kekakuan dan daktilitas pelat beton, dimana semakin banyak segmen maka semakin kecil kekakuan dan daktilitas dari struktur beton segmental.

Daftar Pustaka

- Al-Fakher, U., Manalo, A., Ferdous, W., Aravinthan, T., Zhuge, Y., Bai, Y., & Edo, A. (2021). Bending behaviour of precast concrete slab with externally flanged hollow FRP tubes. *Engineering Structures*, 241, 112433.
- SNI 1974:2011. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji silinder. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 4431:2011. (2011) Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2052:2017 (2017). Baja Tulangan Beton. Badan Standardisasi Nasional. (2017).
- Gilbert, R. I., & Sakka, Z. I. (2007). Effect of reinforcement type on the ductility of suspended reinforced concrete slabs. *Journal of structural engineering*, 133(6), 834-843.
- Hazairin, B. H., & Arrasyid, M. A. (2013). Kajian Perilaku Lentur Pelat Keramik Beton (Keraton). *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 7(Oktober), 39–45.
- Hermawan, A. R., & Mulya, E. S. (2011). Balok Precast Segmental Dengan Sistem Sambungan Boned Nonprestressed. *Jurnal Poli-Teknologi*, 10(1), 39-47
- Irawan, D., Iranata, D., & Suprobo, P. (2017). Experimental study of two way half slab precast using triangular rigid connection of precast concrete component. *Int. J. Appl. Eng. Res*, 12, 744-754.
- Leman, S., Itang, F., & Wijaya, J. (2018). Kajian Kekuatan Balok Keraton. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 2(1), 285-290
- Liu, J., Hu, H., Li, J., Chen, Y. F., & Zhang, L. (2020). Flexural behavior of prestressed concrete composite slab with precast inverted T-shaped ribbed panels. *Engineering Structures*, 215, 110687.
- Nawy, E. G., Surjaman, T., & Suryoatmono, B. (2010). *Beton Bertulang: suatu pendekatan dasar*. Bandung: Eresco.
- Paulay, T., & Priestley, M. N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings* (Vol. 768). New York: Wiley.
- Rochman, T., Rasidi, N., & Purnomo, F. (2021). The Flexural Performance Of Lightweight Foamed Precast Concrete Slabs: Experimental And Analysis. *Geomate Journal*, 20(77), 24-32.
- Tuladhar, R. Lancini, B.J. (2014). Ductility of Concrete Slabs Reinforced with Low Ductility welded wire fabric and Steel Fiber. *Structural Engineering and Mechanics*. Vol 49(4).pp. 449-461
- Wu, X., Xia, X., Kang, T., Han, J., & Kim, C. S. (2018). Flexural behavior of precast concrete wall-steel shoe composite assemblies with dry connection. *Steel and Composite Structures*, 29, 545-555.
- Zdanowicz, K., & Marx, S. (2022). Flexural behaviour of thin textile reinforced concrete slabs enhanced by chemical prestressing. *Engineering Structures*, 256, 113946.