

## **TINJAUAN KINERJA BALOK *PRECAST SEGMENTAL* DENGAN BENTUK BIDANG V DENGAN *GROUTING*** (Tinjauan Eksperimental)

**Abdul Rochman<sup>1</sup>, Ali Asroni<sup>1</sup>, Lilo Styogo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417  
Email: ar126@ums.ac.id

### **Abstrak**

*Dalam pekerjaan struktur, beton precast segmental banyak diaplikasikan pada proyek jembatan menggunakan kabel tendon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan lentur balok precast segmental dengan sistem tulangan konvensional serta mencari perbandingan kuat lentur balok dengan penempatan beban di tengah balok, antara balok precast segmental dan balok bertulang normal. Beton yang digunakan diusahakan bermutu tinggi. Bahan penelitian yang digunakan antara lain; pasir, kerikil, air, semen, fly ash, dan superplastizer. Campuran beton didesain dengan FAS 0,30. Proporsi bahan susun ditentukan dengan metode SNI 03-6468-2000, dengan komposisi bahan tambahan penggunaan superplastizer 1,5% dari kebutuhan semen, dan fly ash. Benda uji dibuat terdiri dari; 3 buah beton silinder, 3 buah balok precast segmental yang telah dirakit menggunakan semen biasa dan dipasang tulangan konvensional sebagai tendon yang telah dikencangkan dengan baut disetiap ujung-ujungnya dan 1 balok beton bertulang norma. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Dari pengujian didapatkan, nilai kekakuan benda uji balok beton precast segmental sebesar 19521 N/mm. Nilai ini lebih rendah dari benda uji balok utuh yaitu sebesar 27272 N/mm. Sedang untuk momen retak dan momen kapasitas, pada balok uji beton precast segmental diperoleh sebesar 7,203 kNm dan 10,963 kNm, 9,083 kNm. Nilai ini lebih rendah dari benda uji balok utuh, yaitu sebesar 9,083 kNm dan 11,693 kNm.*

**Kata kunci :** *balok precast segmental, kekakuan, momen retak, momen kapasitas*

### **Pendahuluan**

Seiring dengan pesatnya perkembangan dalam dunia konstruksi pembangunan, struktur yang menggunakan beton pracetak (*precast*) berkembang sangat pesat, seperti pembangunan rumah tinggal, gedung bertingkat untuk rumah susun, perkantoran, apartemen, jembatan dan lain-lain. Beton pracetak sangat populer di Indonesia karena lebih menguntungkan secara ekonomi, seperti kualitas produk yang lebih baik dan terjamin, lebih awet serta ramah lingkungan. Hal ini karena pengawasan yang lebih ketat dalam proses fabrikasi. Kelebihan lain beton pracetak adalah material beton relatif murah harganya, mudah dalam pengerjaan, dan tahan lama, karena pembuatan beton pracetak dilakukan secara fabrikasi maka kekuatan dan mutu beton terjamin lebih terkontrol, serta di dalam pelaksanaan fisiknya pemasangan beton pracetak lebih cepat waktu penyelesaiannya dibandingkan dengan beton konvensional, sehingga beton pracetak dapat menghemat biaya konstruksi bila di produksi massal. Dalam pekerjaan struktur, beton precast segmental banyak diaplikasikan pada proyek jembatan menggunakan kabel tendon.

Penelitian tentang balok beton precast segmental telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Hermawan (2011). Pada penelitiannya, Hermawan (2011) menggunakan sistem sambungan *Boned Nonprestressed* yang disambung di tengah bentang (*middle wet joint*). Dari hasil pengujian diperoleh, bahwa balok precast yang disambung di tengah bentang performanya belum sebaik dibandingkan dengan balok konvensional. Dari kurva beban-lendutan diketahui bahwa beban maksimal rata-rata balok uji sebesar 22,7 kN, sedangkan pada balok uji konvensional bisa mencapai beban maksimal rata-rata sebesar 32,7 kN.

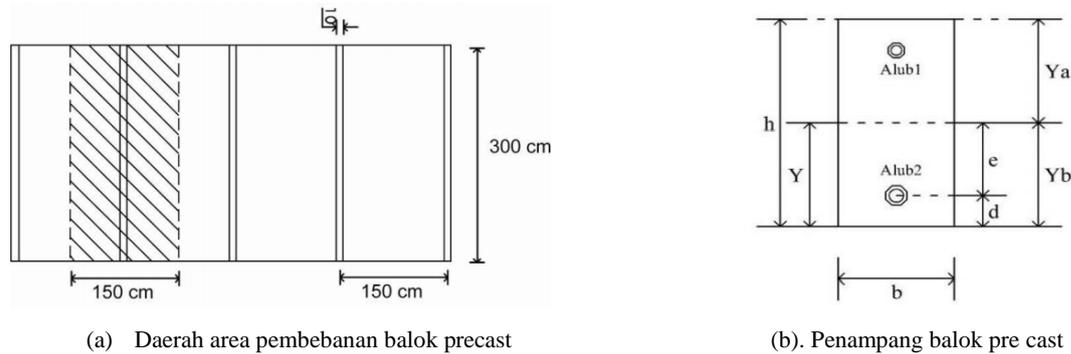
Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Zumrotin (2019) dengan bentuk bidang sambungan berbentuk U dan tanpa *grouting*. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil, untuk beton precast segmental, nilai kekakuan 10454,55 N/mm, momen retak sebesar 4,6351 kNm, dan momen kapasitas 8,3658 kNm. Sedang untuk beton bertulang konvensional diperoleh, nilai kekakuan 20833,33 N/mm, momen retak 7,5851 kNm, dan momen kapasitas sebesar 10,3751 kNm. Dari perbandingan hasil tersebut terlihat, bahwa kinerja balok beton precast segmental tanpa *grouting* ternyata masih jauh dibandingkan dengan balok beton konvensional (Zumrotin, 2019). Penelitian ini

dimaksudkan untuk melanjutkan tersebut bertujuan dengan modifikasi bidang sambung menjadi berbentuk V dan dengan grouting. Bahan grouting yang di pilih adalah Sika Grout-215 di produksi oleh PT. Sika Nusa Pratama.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain; 1) untuk mengetahui seberapa besar kemampuan lentur balok precast grouting dengan sistem tulangan konvensional. 2) untuk mengetahui besar kekakuan balok precast grouting dengan tulangan konvensional. 3) Untuk mengetahui besar kemampuan kapasitas balok beton precast grouting jika dibandingkan dengan balok beton non-precast.

Precast concrete (beton pracetak) adalah suatu metode pencetakan komponen secara mekanisasi dalam pabrik atau workshop dengan memberi waktu pengerasan dan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang. Karena proses pengecorannya di tempat khusus (bengkel pabrikasi), maka mutunya dapat terjaga dengan baik. Tetapi agar dapat menghasilkan keuntungan, maka beton pracetak hanya akan diproduksi jika jumlah bentuk typical-nya mencapai angka minimum tertentu, bentuk typical yang dimaksud adalah bentuk-bentuk repetitif dalam jumlah besar (Batubara, 2012).

Balok precast segmental dalam penelitian ini direncanakan sebagai balok pendukung sistem lantai rumah tinggal sederhana dengan bentang 3 meter, dan jarak antara balok 1,5 meter seperti terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Balok uji pre-cast

Dari area pembebanan pada Gambar 1(a) di atas, dihitung beban mati ( $q_D$ ), beban hidup ( $q_L$ ), dan selanjutnya beban perlu ( $q_U$ ). Dari beban perlu ( $q_U$ ), kemudian ditetapkan nilai momen perlu ( $M_U$ ) sebagai dasar perencanaan dimensi balok uji pre-cast segmental. Setelah ditetapkan dimensi balok uji, selanjutnya direncanakan kebutuhan tulangannya. Analisis penampang balok uji precast segmental dilakukan dengan mengadopsi rumus-rumus perhitungan balok prestress metode post tensioned, dengan tahapan sebagai berikut:

Menghitung modulus elastis beton,  $E_c = 4700 \cdot f'_c{}^{0.5}$  (1)

Menghitung rasio moduler ( $n$ ),  $n = E_s / E_c$  (2)

Menghitung luas penampang netto ( $A_{net}$ ),  $A_{net} = A_{conc} - (A_{lub1} + A_{lub2})$  (3)

Menghitung titik berat ( $\bar{Y}$ ),

$$\bar{Y} = \frac{A_{br} \cdot \frac{1}{2}h - (A_{lub1} \cdot d_1 + A_{lub2} \cdot d_2)}{A_{net}}$$
 (4)

Menghitung momen inersia penampang netto ( $I_{net}$ )

$$I_{net} = \frac{1}{2}b \cdot h^3 + b \cdot h \left( \frac{1}{2}h - \bar{Y} \right)^2 - (A_{lub1} \cdot e_1^2 + A_{lub2} \cdot e_2^2)$$
 (5)

Menghitung gaya tarik tulangan ( $T_i$ )

- Ditinjau tepi atas penampang beton

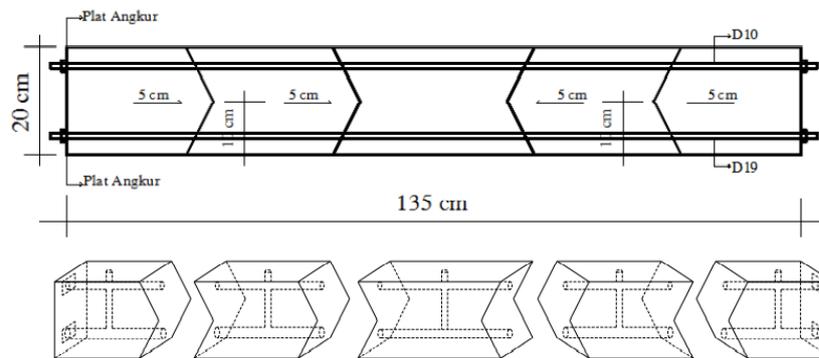
$$-\frac{T_i}{A_{net}} + \frac{T_i \cdot e \cdot Y_a}{I_{net}} - \frac{M_u \cdot Y_a}{I_{net}} \leq 0,45 \cdot \sqrt{f'_q}$$
 (6)

- Ditinjau tepi bawah penampang beton

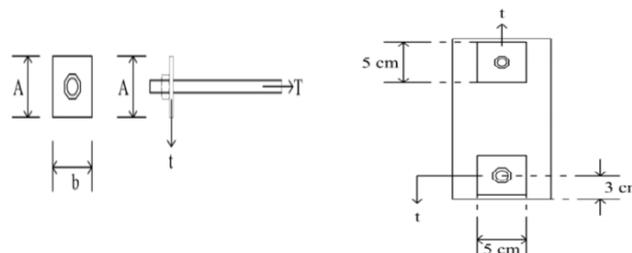
$$-\frac{T_i}{A_{net}} + \frac{T_i \cdot e \cdot Y_a}{I_{net}} + \frac{M_u \cdot Y_a}{I_{net}} \leq 0,50 \cdot \sqrt{f'_q}$$
 (7)

Dari nilai  $T_i$  dapat ditentukan diameter tulangan balok beton pre-cast.

Dengan menggunakan asumsi  $f'_c = 40$  MPa,  $f_y = 320$  MPa, maka dengan melakukan perhitungan dengan rumus-rumus di atas diperoleh dimensi balok uji sebagai berikut:  $b = 100$  mm,  $h = 200$  mm,  $D_{tul} = 20$  mm, dan plat ujung = 5 mm. Detail benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.



(a). Desain Bentuk Balok Precast Segmental



(b). Desain plat ankur balok precast segmental

**Gambar 2.** Desain Balok uji pre-cast segmental

### Metodologi Penelitian

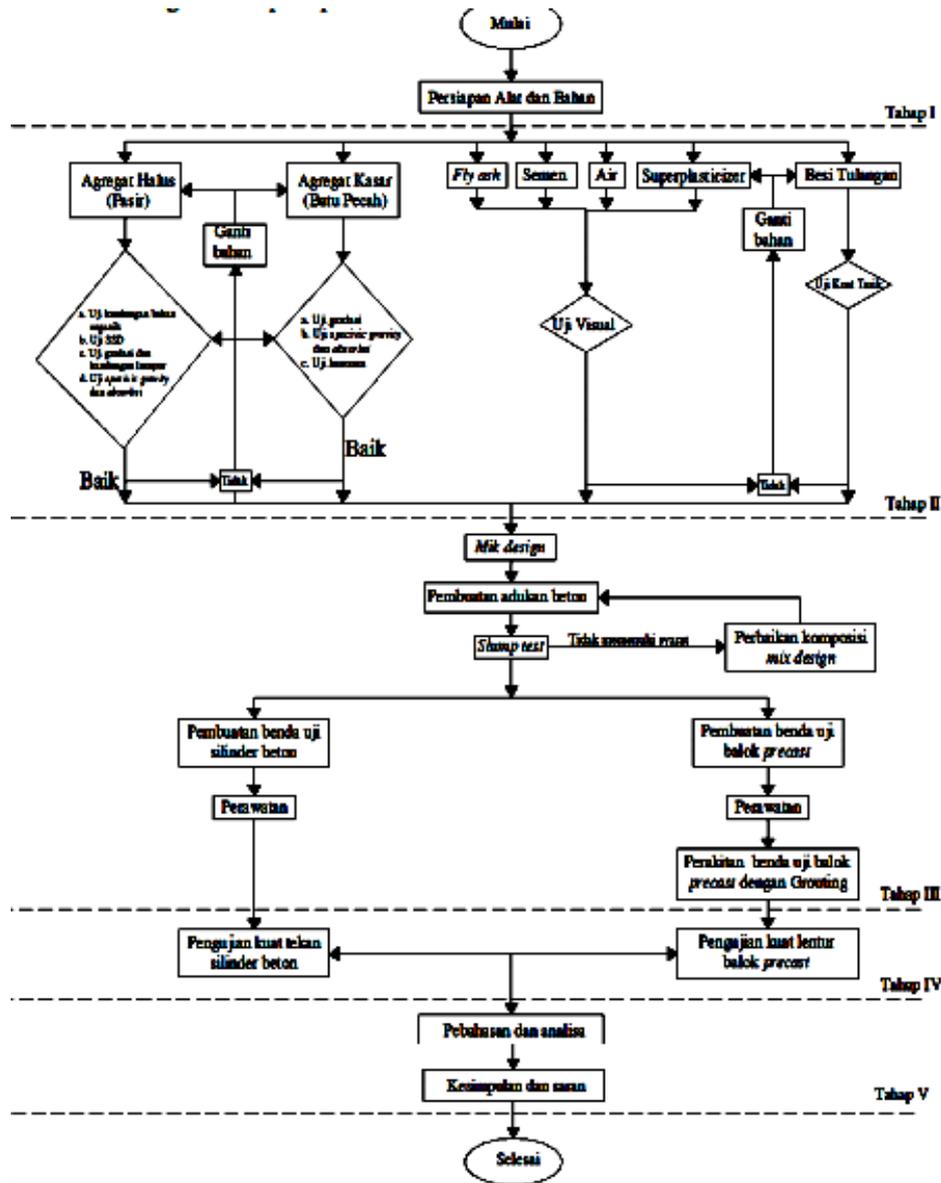
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: (a) *Portland cement*, digunakan semen jenis I dengan merk Gresik, (b) Agregat halus, digunakan pasir yang diperoleh dari salah satu toko bangunan di Kartasura yang bersumber di sungai Merapi, (c) Agregat kasar, digunakan kerikil ukuran maksimum 12,5 mm yang diambil dari Boyolali, (d) Baja tulangan, digunakan diameter 20 mm dan 10 mm, (e) *Fly ash*, digunakan *fly ash* kelas F dari produk CV. Lestari dengan merk Mentari, (f) *Superplasticizer*, digunakan *superplastisizer* merupakan produk dari sica dengan merk *viscocrete 1003*, (g) Air, digunakan air dari laboratorium Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Sedang peralatan yang digunakan antara lain; (a) *Mixer* beton (molen), untuk mengaduk beton segar yang dibuat, (b) Picnometer, digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus, (c) Kerucut *slump test*, digunakan untuk pengujian *slump*, (d) *Hellige tester*, digunakan untuk pengujian kandungan bahan organik, (e) Tabung dan gelas ukur, digunakan untuk pengujian kandungan bahan organik, (f) *Vicat apparatus*, digunakan dalam pengujian ikatan awal semen, (g) Kerucut *Abram's*, digunakan dalam pengujian *SSD* agregat halus, (h) *Universal Tension Mechine*, digunakan untuk pengujian kuat tekan beton, (i) Mesin *Los Angeles*, digunakan untuk pengujian keausan agregat kasar.

Tahapan proses penelitian meliputi;

(i) *Tahap I. Persiapan alat dan penyediaan bahan.* Pada tahapan ini merupakan tahapan untuk mempersiapkan alat dan menyediakan yang akan digunakan untuk penelitian. Alat yang akan digunakan disediakan dengan baik di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini di ambil dari tempat yang memiliki kualitas agregat yang memiliki mutu yang baik serta bahan tambah dibeli dari salah satu toko khusus penyedia bahan tambah beton di daerah Jogja untuk mendapatkan hasil yang baik serta sesuai rencana.

(ii) *Tahap II. Pemeriksaan bahan.* Sebelum dilakukan produksi beton segar untuk pembuatan benda uji bahan atau material dilakukan pengujian mutu. Mutu material yang dipakai memenuhi persyaratan maka hasil dari beton yang diproduksi juga memiliki mutu yang bagus. Pengujian material yang dilakukan sebagai berikut : pengujian semen meliputi pengujian visualisasi semen dan pengujian ikatan awal semen, pengujian visualisasi air, pengujian agregat halus meliputi pengujian kandungan bahan organik, pengujian kandungan lumpur, pengujian berat jenis, pengujian gradasi agregat halus, pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat jenis, pengujian keausan, pengujian gradasi agregat kasar, dan pengujian kuat tarik bambu.



Gambar 3. Bagan alur penelitian.

(iii) *Tahap III. Perencanaan campuran dan pembuatan benda uji.* Tahapan ini diawali dengan perencanaan campuran beton yang disesuaikan dengan persyaratan dan langkah-langkah sesuai dengan SNI-03-6468-2000. Selanjutnya dilakukan pembuatan beton segar untuk pembuatan benda uji, pembuatan beton segar dilakukan dengan proporsi agregat sesuai dengan hasil dari perencanaan campuran beton sebelumnya. Material pembentuk beton ditimbang secara teliti dan dijaga mutunya sesuai dengan perencanaan campuran beton. Pembuatan benda uji dilakukan setelah beton segar sudah siap. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Macam dan jumlah benda uji

Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Ukuran	Umur Pengujian
Silinder	3 Buah	D=15 cm t = 30 cm	28 hari
Balok Beton Precast	3 Buah	135x10x20 cm	28 hari
Balok Beton Konvensional	1 Buah	135x10x20 cm	28 hari

Setelah pelaksanaan pembuatan benda uji dilakukan *curing* atau perawatan benda uji dengan cara melakukan perendaman benda uji dalam air selama 28 hari. Perawatan benda uji ditujukan untuk mengontrol terjadi panas hidrasi yang disebabkan penggunaan semen serta mencegah terjadinya retak pada benda uji.

(iv) *Tahap IV. Pengujian benda uji.* Tahap ini dilakukan pengujian baik benda uji silinder maupun benda uji plat beton bertulang. Pengujian pada benda uji silinder dilakukan pengujian kuat tekan dan pengujian balok uji precast segmental dilakukan pengujian kuat lentur. Pengujian dilakukan setelah dilakukan perawatan beton selama 28 hari. Untuk balok uji precast segmental, sebelum pengujian dilakukan perakitan terlebih dahulu. Foto-foto pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.

(v) *Tahap V. Analisis dan pembahasan.* Dari hasil pengujian yang dilakukan pada Tahap IV, kemudian dilakukan analisis data. Nilai kuat tekan dan lentur diambil dari kuat rata-rata sampel benda uji. Analisis dilakukan untuk mendapatkan hasil dari penelitian ini untuk membuktikan bahwa penelitian ini memenuhi persyaratan apabila diaplikasikan menjadi sebuah beton untuk struktur.



Gambar 4. Foto-foto penelitian.

**Hasil Penelitian**

Kuat tekan beton

Hasil pengujian kuat tekan silinder beton dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton

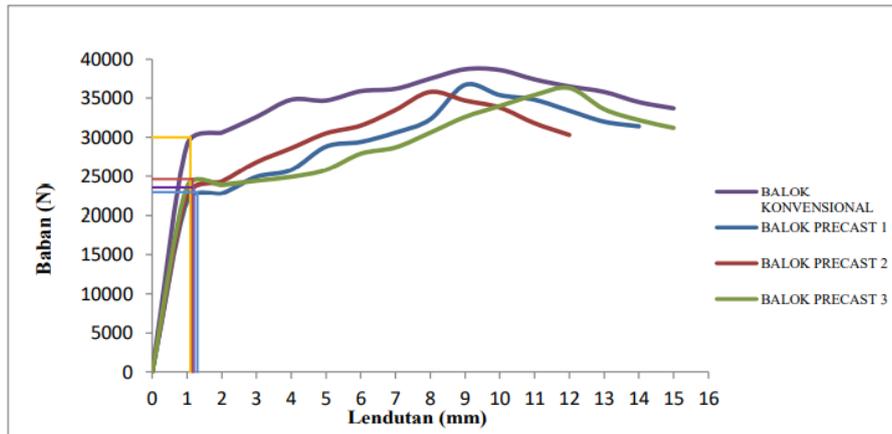
Benda uji	beban P		Luas (mm <sup>2</sup> )	f' <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f' <sub>c</sub> rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
	kN	N			
1	1000	1000000	17663	56,6	57,5
2	900	900000	17663	50,9	
3	1050	1050000	17663	65,1	

Dari hasil perhitungan kuat tekan silinder beton diatas menunjukkan bahwa beton yang dibuat termasuk didalam beton mutu tinggi karena memiliki kuat tekan yang lebih dari 40 MPa.

Pengujian lentur balok *precast segmental*

(i) Hubungan antara beban dengan lendutan

Hubungan antara beban yang bekerja dan lendutan benda uji plat dapat dilihat Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan beban dan lendutan balok uji

(ii) Kekakuan (*stiffness*)

Dari Gambar 5, dapat diperoleh nilai kekakuan benda uji plat *precast* yang dihitung dengan persamaan membagi  $P_{\text{retak-awal}}$  dengan lendutan pada retak awal. Hasil perhitungan kekakuan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2. Nilai kekakuan benda uji plat beton *precast*

Benda uji	$P_{\text{retak awal}}$ (N)	lendutan (mm)	kekakuan/ <i>stiffness</i> (N/mm)	Rata-rata <i>stiffness</i> (N/mm)
Blk Uji Precast1	24600	1,16	21206,9	19521,9
Blk Uji Precast1	23600	1,2	19666,7	
Blk Uji Precast1	23000	1,3	17692,3	
Blk Uji Konvensional	24600	1,1	27272,7	27272,7

Dari hasil pengujian seperti Tabel 2 di atas, diperoleh nilai kekakuan rata-rata balok uji *precast segmental* nilai kekakuan (*stiffness*) sebesar 19521,9 N/mm, sedang untuk balok uji konvensional sebesar 27272,7 N/mm. Dari aspek ini terlihat bahwa, kekakuan balok *precast segmental* masih jauh di bawah balok uji konvensional.

(iii) Momen retak

Dari nilai  $P_{\text{retak awal}}$  seperti pada Tabel 3 di atas, dapat diperoleh momen retak awal uji yang dihitung dengan menggunakan persamaan  $1/4P_{\text{retak}} L + 1/8qL^2$ . Dari perhitungan yang berdasarkan pada diagram tegangan-regangan penampang, dapat diperoleh momen retak awal secara teoritis, yang hasil selengkapnya ditampilkan pada Tabel 3 di bawah. Dari Tabel 3 didapat hasil bahwa nilai momen retak rata-rata balok uji *precast segmental* sebesar 10963000 Nmm, sedang untuk balok uji konvensional 11693000 Nmm.

Tabel 3. Nilai momen retak uji dan momen retak teori

Benda uji	L (m)	$P_{\text{retak}}$ (N)	beban merata q (N/mm)	Momen retak uji ( $1/4P_{\text{retak}} L + 1/8qL^2$ ) (Nmm)	Rata-Rata momen retak uji (Nmm)
Blk Uji Precast1	1,2	24600	0,459	7463000	7203000
Blk Uji Precast1	1,2	23600	0,459	7163000	
Blk Uji Precast1	1,2	23000	0,459	6983000	
Blk Uji Konvensional	1,2	30000	0,459	11693000	9083000

(iv) Momen kapasitas

Hasil pengujian didapat data yang akan diolah untuk mendapatkan nilai momen kapasitas uji dan momen kapasitas teori. Momen kapasitas teori diperoleh dengan menggunakan persamaan (2), persamaan (3) dan persamaan (4). Momen kapasitas uji diperoleh dengan menggunakan persamaan (1). Perbandingan momen kapasitas teoritis dan uji laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah.

Tabel 5. Nilai momen kapasitas uji dan momen kapasitas teori

Benda uji	L (m)	Beban maks (kN)	beban merata q (kN/m)	Momen kapasitas uji $(1/4P_{maks}L+1/8qL^2)$ (kNm)	Rata-Rata momen kapasitas uji (kNm)
Blk Uji Precast1	1,2	36,7	0,459	11093000	10963000
Blk Uji Precast1	1,2	35,8	0,459	10823000	
Blk Uji Precast1	1,2	36,3	0,459	10973000	
Blk Uji Konvensional	1,2	3,25	0,459	11693000	11693000

Dari Tabel 5, diperoleh rata-rata momen kapasitas pelat lantai *precast* pada penelitian ini didapat nilai rata-rata sebesar 0,7880 kNm sedangkan perhitungan momen kapasitas secara teoritis lebih tinggi yaitu sebesar 1,305 kNm atau 39,6 % lebih besar momen lentur teoritis.

**Kesimpulan**

Dari hasil penelitian, diperoleh beberapa hal yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Kekakuan balok precast segmental dengan grouting, yaitu sebesar 19521,9 N/mm masih lebih rendah dari balok bertulang konvensional yaitu sebesar 27272,7 N/mm, atau sekitar 71,5 % kekakuan balok bertulang konvensional.
- 2) Momen retak awal balok precast segmental dengan grouting, yaitu sebesar 7203000 Nmm masih lebih rendah dari balok bertulang konvensional yaitu sebesar 9083000 Nmm, atau sekitar 73,5 % momen retak awal balok bertulang konvensional.
- 3) Momen kapasitas balok precast segmental dengan grouting, yaitu sebesar 10963000 Nmm masih lebih rendah dari balok bertulang konvensional yaitu sebesar 11693000 Nmm, atau sekitar 93,7 % momen kapasitas balok bertulang konvensional.
- 4) Secara umum dapat disimpulkan, kinerja balok precast segmental dengan grouting cukup baik, meski belum dapat menyamai kinerja balok bertulang konvensional.

**Daftar Notasi**

- $A_{net}$  = luas penampang netto penampang balok, mm<sup>2</sup>
- $A_{br}$  = luas penampang bruto penampang balok, mm<sup>2</sup>
- $A_{lub}$  = luas penampang lubang pipa, mm<sup>2</sup>
- $e$  = eksentrisitas dari pusat lubang pipa ke pusat penampang, mm
- $E_c$  = modulus elastis beton, MPa
- $E_s$  = modulus elastis baja, MPa
- $f'_c$  = kuat tekan beton rencana, MPa
- $M_{retak}$  = momen retak awal, Nmm
- $M_{kap}$  = momen kapasitas, Nmm
- $M_u$  = momen perlu, Nmm
- $n$  = rasio modulus
- $P_{retak}$  = Beban pada saat retak awal, N
- $P_{maks}$  = Beban maksimum, N
- $q$  = Berat sendiri balok, N/mm
- $T_i$  = gaya tarik baja, N
- $Y_a$  = jarak serat atas ke pusat penampang, mm
- $Y_b$  = jarak serat bawah ke pusat penampang, mm
- $\emptyset$  = faktor reduksi, 0,90

### **Daftar Pustaka**

- Anonim. 2000. Tata Cara Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang SNI 03-6468-2000. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Asroni, A. 2015. Teori dan Desain Balok dan Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013. Graha Ilmu : Yogyakarta.
- Batubara, Iqbal. 2012. Teknologi Bahan (Beton Precast). Departemen Teknik Sipil : Medan.
- Dipohusodo, Istimawan. 1996. Struktur Beton Bertulang. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Hermawan, Rudi. 2011. Balok Precast Segmental dengan Sistem Sambungan Bored Non Prestressed. Politeknik Negeri Jakarta : Jakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. Teknologi Beton, Penerbit Nafir, Yogyakarta.
- Zumrotin, Izzah. 2019. Tinjauan Kuat Lentur Balok Precast Segmental Dengan Bentuk Bidang U Tanpa Grouting . Fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta : Surakarta.