

STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN BETON INSTAN TERHADAP DAKTILITAS BALOK GESER USIA 21 HARI DAN 28 HARI

I MADE AGUS ARSHANA^[1], BAMBANG SABARIMAN^[2]

^{[1],[2]}Prodi S1 dan S2 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Gedung A4, Kampus Unesa 1, Jln. Ketintang, Kec. Gayungan, Kota Surabaya, 60231, Indonesia.
e-mail: ^[1]imade.21064@mhs.unesa.ac.id, ^[2]bambangabariman@unesa.ac.id

ABSTRACT

Instant concrete (dry mix concrete) serves as an alternative solution for enhancing construction efficiency by providing time savings and improving quality consistency. Nevertheless, the evaluation of the performance of structural elements particularly concerning shear behavior and ductility in beams without shear reinforcement still requires empirical validation. This study aims to evaluate the failure behavior and ductility (μ_Δ) of instant concrete beams at 21 and 28 days of age. The method utilized was a laboratory experiment involving two-point loading and a displacement-controlled approach, conducted at a shear span-to-depth ratio (a/d) of 2.35. Test specimens consisted of beams without stirrups and concrete cylinders. Test results showed that all specimens achieved a conservative compressive strength above the target of 25 MPa, with the highest value reaching 38.89 MPa at 28 days. Based on the structural performance, the cracking load (P_{cr}) and ultimate load (P_{max}) obtained from the experiment exceeded theoretical calculations. However, the ductility review showed average values of $\mu_\Delta = 1.767$ (21 days) and $\mu_\Delta = 1.902$ (28 days), indicating that all instant concrete beam specimens are still categorized as having low ductility. The research results also indicated that all instant concrete beam specimens experienced a shear-tension failure pattern at maximum load conditions. This leads to the conclusion that while the use of instant concrete demonstrates favorable strength performance that surpasses theoretical approaches, the implementation of shear reinforcement (stirrups) remains necessary to achieve adequate ductility.

Keywords: Beams Without Stirrups, Ductility, Instant Concrete, Shear Failure Pattern.

ABSTRAK

Beton instan (dry mix concrete) merupakan solusi alternatif untuk meningkatkan efisiensi konstruksi melalui penghematan waktu dan peningkatan konsistensi mutu. Meskipun demikian, evaluasi terhadap kinerja elemen struktural khususnya terkait perilaku geser, dan daktilitas balok tanpa tulangan geser masih memerlukan validasi empiris. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perilaku keruntuhan, dan daktilitas (μ_Δ) balok beton instan pada usia 21 hari dan 28 hari. Metode yang digunakan adalah eksperimen di laboratorium dengan pembebanan dua titik (two-point loading) dan memakai metode displacement controlled dengan rasio a/d sebesar 2,35. Spesimen uji terdiri dari balok tanpa sengkang dan silinder beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh spesimen mencapai kuat tekan yang konservatif yakni berada di atas target kuat tekan beton 25 MPa, dengan nilai tertinggi mencapai 38,89 MPa pada usia 28 hari. Berdasarkan kinerja struktur, beban retak (P_{cr}) dan beban ultimit (P_{maks}) hasil eksperimen telah melampaui perhitungan teoritis, namun daktilitasnya masih menunjukkan nilai rata-rata sebesar $\mu_\Delta = 1,767$ (21 hari) dan 1,902 (28 hari), dengan demikian semua benda uji balok beton instan masih tergolong dalam kategori daktilitas rendah. Hasil penelitian juga menunjukkan seluruh benda uji balok beton instan mengalami pola keruntuhan geser tarik (shear-tension failure) pada kondisi maksimal, hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan beton instan menunjukkan performa kekuatan yang baik dan melampaui pendekatan teoritis. Namun untuk ketercapaian daktilitas yang memadai maka penggunaan tulangan geser (sengkang) tetap diperlukan.

Kata kunci: Beton Instan, Balok Tanpa Sengkang, Daktilitas, Pola Keruntuhan Geser.

1. PENDAHULUAN

Percepatan pembangunan infrastruktur di Indonesia mendorong inovasi material konstruksi untuk mengatasi tantangan efisiensi waktu dan inkonsistensi mutu. Beton instan (*dry mix concrete*) telah menjadi solusi strategis, menggantikan metode pengecoran konvensional (*site mixing*) yang rentan terhadap ketidakseragaman campuran. Produk ini merupakan campuran homogen dari semen, agregat halus, agregat kasar, dan bahan aditif yang ditakar secara presisi di pabrik dan dikemas. Beton instan (BI) hanya memerlukan penambahan air sesuai takaran yang dianjurkan, BI secara efektif mengurangi potensi kesalahan manusia (*human error*) dalam proses pencampuran di lapangan.

Berbagai penelitian telah memvalidasi keunggulan BI dalam hal efisiensi waktu pengerjaan dan kemampuannya mencapai kuat tekan yang setara dengan beton konvensional (Yulianto & Puspitasari, 2022; Arman & Ramayanti, 2018; Ghazi *et al.* 2025). Meskipun keunggulan dalam kuat tekan dan efisiensi waktu telah dibuktikan, tetapi evaluasi terhadap parameter kinerja struktural BI, khususnya pada elemen balok, masih terbatas. Kinerja elemen struktur tidak hanya ditentukan oleh kuat tekan, melainkan juga oleh responnya terhadap pembebanan, terutama perilaku geser. Oleh karena itu, parameter kritis seperti daktilitas (kemampuan berdeformasi sebelum runtuh) merupakan celah evaluasi yang seringkali belum menjadi fokus utama dalam penggunaan produk BI.

Perilaku geser merupakan aspek penting dalam disain struktur di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat daktil, keruntuhan geser bersifat getas (*brittle*), dan keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba, serta berpotensi memicu kegagalan struktural total. Park dan Paulay (1975) menekankan bahwa disain harus menjamin terjadi keruntuhan lentur yang daktil terlebih dahulu daripada keruntuhan geser yang getas. Untuk mengkaji secara murni kontribusi beton dalam menahan gaya geser (V_c), metodologi penelitian seringkali menggunakan balok tanpa tulangan geser (sengkang). Pendekatan ini (Wang & Salmon, 1993) bertujuan untuk memaksa terjadinya keruntuhan geser murni. Selain itu, standar ACI *Committee* 209 menunjukkan bahwa beton normal yang dirawat lembap dapat mencapai sekitar 82%-97% dari kuat tekan rencananya pada umur 21 hari, meskipun persentase ini bervariasi tergantung jenis semen dan aditif dalam beton.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, terlihat adanya urgensi untuk mengaplikasikan dan mengevaluasi kinerja BI pada struktur balok, khususnya yang didisain untuk menguji kekuatan gesernya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku keruntuhan, dan daktilitas balok beton instan (BBI) tanpa tulangan geser (sengkang) di bawah pembebanan geser, serta menganalisis perbandingan kinerjanya pada usia 21 hari dan 28 hari berdasarkan hasil uji kuat geser.

2. TEORI

2.1 BETON INSTAN

Secara umum, BI tidak jauh berbeda dengan beton konvensional karena sama-sama terdiri dari semen, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), dan air. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada komposisi rancangan campurannya (*mix design*). Perbedaan ini mencakup rasio air-semen (*w/c ratio*), kandungan semen (*cement content*), proporsi agregat kasar (*coarse aggregate*), agregat halus (*fine aggregate*) dan bahan *additivenya*. BI dapat dirancang untuk mencapai ketercapaian kekuatan penuh (100%) pada usia tertentu, misal usia 7, 14, 21, atau 28 hari. Perbedaan komposisi ini didasarkan pada tujuan teknis untuk memenuhi target percepatan waktu pengerjaan dan mencapai kuat tekan yang spesifik. BI usia 28 hari dirancang untuk mencapai kekuatan puncak sesuai standar umum mutu beton. Sebaliknya, BI usia 7, 14, 21 hari diformulasikan dengan kandungan semen yang lebih tinggi dan *w/c ratio* yang lebih rendah untuk mempercepat proses hidrasi dan mencapai kekuatan lebih awal dibandingkan beton 28 hari. Khusus BI usia 21 dan 28 hari komposisinya sebagai berikut.

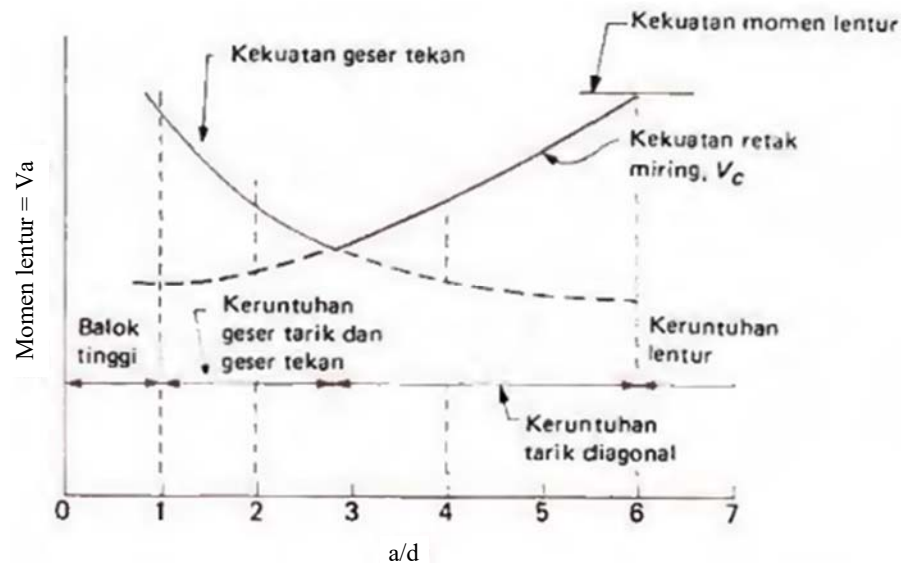
Tabel 1. Mix Proportion BI dengan target kuat tekan 25 MPa (Nurdiansyah, 2024)

Grade concrete	Usia beton 21 hari	Usia beton 28 hari
Aggregate size	maks. 15 mm	maks. 15 mm
Slump	12 ± 2	12 ± 2
W/C ratio	0,45	0,50
Cemen content (kg/m ³)	400-410	380-390
Admixture (kg)	1-1,5	1-1,5
Water estimation (ltr/m ³)	170-190	170-190
Coarse aggregate 5-15 mm (kg/m ³)	957-969	967-979
Fine aggregate < 5 mm (kg/m ³)	742-754	751-759

2.2 RASIO a/d

Nilai dari rasio a/d (lihat Gambar 1) pada balok akan menentukan jenis keruntuhan balok, dimana a adalah bentang geser balok dan d adalah tinggi efektif balok (Wang & Salmon, 1993). Ada empat kategori umum terhadap nilai a/d, nilai a/d ≤ 1 sebagai balok tinggi, nilai 1 < a/d ≤ 2,5 sebagai balok pendek, nilai 2,5 < a/d ≤ 6 sebagai balok biasa dengan panjang sedang, dan nilai a/d > 6 sebagai balok panjang.

Hubungan beberapa nilai a/d dan jenis keruntuhan digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1. Variasi Kekuatan Geser Berdasarkan Nilai a/d (Wang & Salmon, 1993)

2.3 DAKTILITAS DISPLACEMENT

Kebutuhan daktilitas *displacement* sangat diperlukan oleh komponen struktur bangunan. Ada tiga tingkat daktilitas elemen struktur (lihat Tabel 2): daktilitas rendah, daktilitas menengah dan daktilitas penuh, nilai ini didasarkan pada perbandingan *displacement* ultimit terhadap *displacement* leleh pertama, seperti rumus berikut:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

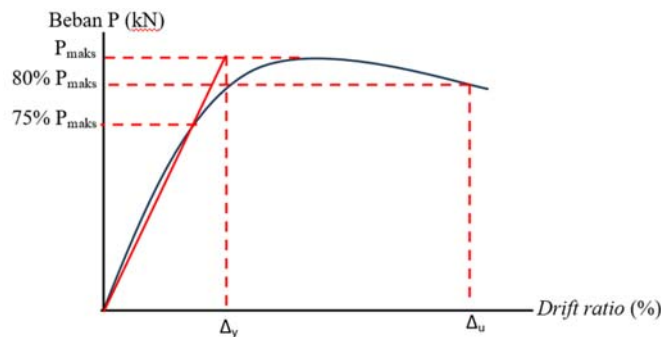
dimana : μ_{Δ} = nilai daktilitas *displacement*; Δ_y = *displacement* leleh pertama (mm); Δ_u = *displacement* ultimit (mm).

Pendekatan nilai *displacement* leleh pertama (Δ_y); *displacement* ultimit (Δ_u) pada uji balok dapat didekati dengan menggunakan Gambar 4 (Park, 1988 dan Sabariman *et al.*, 2024), cara penentuannya adalah 1). Gambarkan terlebih dahulu hubungan rasio simpangan (*drift ratio*) vs beban atau momen, 2). Tentukan titik potong nilai $0,75 P_{maks}$ terhadap kurva rasio simpangan (*drift ratio*) vs beban atau momen, 3). Tarik garis lurus dari titik pusat (0,0) ke titik potong tersebut sampai memotong perpanjangan garis P_{maks} atau M_{maks} , selanjutnya tariklah garis vertikal kebawah maka akan didapat nilai Δ_y , 4). Tentukan juga titik potong nilai $0,80 P_{maks}$ terhadap kurva rasio simpangan (*drift ratio*) vs beban atau momen pada kondisi inlester selanjutnya tariklah garis vertikal kebawah maka akan didapat nilai Δ_u . Gambar 4 tersebut juga bisa dibuat berdasarkan hubungan simpangan (Δ -mm) vs P_{maks} atau M_{maks} .

Tabel 2. Klasifikasi Daktilitas

No.	Tingkat Daktilitas	Nilai Daktilitas
1.	Daktilitas Rendah	< 2
2.	Daktilitas Menengah	$2 \leq \mu \leq 4$
3.	Daktilitas Penuh	> 4

Sumber : FEMA 356:2000 & SNI 9274:2025



Gambar 2. Penentuan Simpangan Leleh Pertama dan Simpangan Ultimit Balok
(Park, 1988 dan Sabariman *et al.*, 2024)

2.4 RANCANGAN BALOK GESER

Balok dapat dirancang tidak memakai tulangan transversal/sengkan jika bertujuan untuk mengetahui kapasitas geser beton murninya saja (V_c), meskipun sebenarnya balok mampu termasuk komponen struktur yang mampu menahan lentur dan geser, dengan demikian balok tanpa tulangan geser kapasitas gesernya beton hanya berdasarkan V_c .

$$V_n = V_c + V_s \quad (2)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

Jika benda uji balok hanya menggunakan perkuatan dari tulangan lentur saja, tanpa adanya perkuatan dari penulangan geser, maka anggapan nilai V_s sama dengan nol, sehingga didapat:

$$V_n = V_c \quad (4)$$

dimana: V_n = gaya geser nominal penampang (kN), V_c = kapasitas geser beton (kN), V_s = kapasitas geser sengkang (kN), f'_c = kuat tekan beton (MPa), b_w = lebar penampang balok (mm), d = tinggi efektif balok (mm).

3. METODE

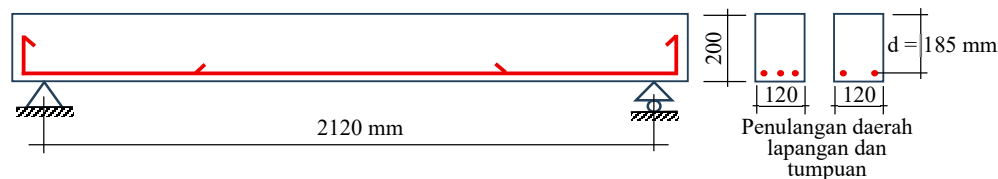
3.1 PELAKSANAAN PENELITIAN DAN RINCIAN BENDA UJI

Uji tekan silinder beton dan pengujian BBI dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya Jl. Ketintang Surabaya. Sedangkan uji kuat tarik baja tulangan dilaksanakan di Laboratorium PT. Bhirawa Steel, Jl. Margomulyo Surabaya. Pembuatan benda uji menggunakan *mix design* sesuai Tabel 1. BBI umur 21 dan 28 hari masing-masing dibuat dua benda uji, sedang silinder beton dibuat tiga buah untuk setiap benda uji balok. Rincian BBI diurai pada Tabel 3 dan Gambar 3 dengan penjangkaran tulangan utama mengarah keatas (Sabariman & Sofianto, 2017).

Tabel 3. Rancangan dan Penamaan Benda Uji

No.	Benda uji balok	bxh x L (mm)	Target kuat tekan (MPa)	Tulangan Utama	Jumlah
1	BBI ₂₁	120x200x2120	25	3D10	2
2	BBI ₂₈	120x200x2120	25	3D10	2

Keterangan : BBI = Balok Beton Instan, 21 & 28 = usia beton

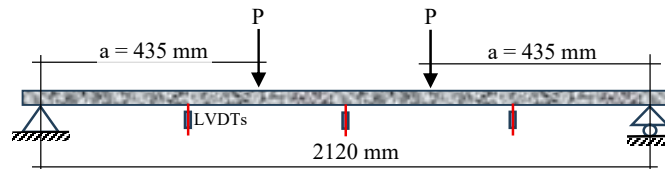


Gambar 3. Disain Penulangan BBI Tanpa Sengkang

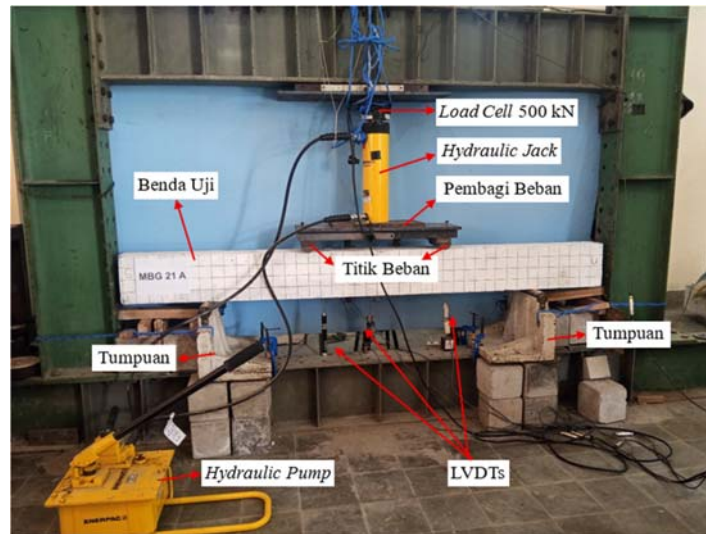
3.2 METODE PENGUJIAN DAN SET UP PENGUJIAN

Pengujian menggunakan alat *hydraulic jack*, *load cell*, *linier variable displacement transducers* (LVDTs) dan alat perekam data bernama *Universal Recorder-Kyowa* yang dihubungkan dengan komputer, serta menggunakan metode *displacement controlled*, dengan *setting* sebagai berikut:

1. Balok beton bertulang diuji terhadap beban statik monotonik.
2. Tumpuan benda uji balok adalah tumpuan sendi dan rol dengan jarak antar tumpuan = 1470 mm, sedang panjang total BBI = 2120 mm.
3. Pembebanan dilakukan dengan 2 titik beban (lihat Gambar 4).
4. Pembebanan menggunakan *hydraulic jack* kapasitas 200 kN dan *load cell* kapasitas 500 kN.
5. Ditengah bentang dan disepereempat bentang dipasang LVDTs masing-masing kapasitas berkapasitas 100 mm dan 50 mm, LVDTs ini untuk mengukur lendutan yang terjadi.
6. Pompa hidrolik manual dioperasikan secara perlahan untuk memberikan beban pada *hydraulic jack*.
7. Beban ditingkatkan secara bertahap dan kontinyu dengan metode *displacement controlled*, mulai dari nol hingga balok runtuh. Saat pengujian berlangsung diamati secara visual terjadinya retakan awal hingga balok mengalami *spalling* dan runtuh.
8. Penandaan/pelukisan retakan pada badan BBI bertujuan memberikan gambaran terjadinya perilaku retak lentur dan retak geser.
9. Pencatatan secara manual saat retak pertama sampai retakan kondisi runtuh dicatat nilai lendutan dan beban yang terjadi sebagai acuan analisis data dan penarikan kesimpulan.



Gambar 4. Skematik Pengujian BBI dengan $a/d = 2,35$



Gambar 5. Actual Set Up Pengujian BBI

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENELITIAN

4.1.1 HASIL KUAT TEKAN BETON

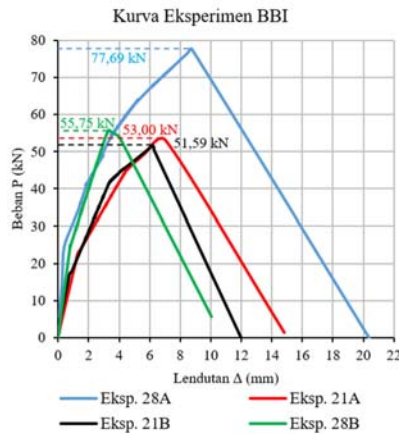
Pengujian silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dilakukan setelah melalui perawatan dengan cara direndam selama 21 hari dan 28 hari. Jumlah silinder beton yang diuji sebanyak 12 sampel. Hasil uji kemudian dirata-rata untuk mendapatkan kuat tekan beton rata-rata, hasil penguciannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Kuat Tekan Silinder

Silinder beton	No. Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
BBI _{21A}	1	25,33	27,95
	2	22,18	
	3	36,34	
BBI _{21B}	1	38,92	30,45
	2	24,57	
	3	28,15	
BBI _{28A}	1	38,79	38,89
	2	38,45	
	3	39,42	
BBI _{28B}	1	21,45	30,42
	2	33,02	
	3	36,81	

4.1.2 HASIL EKSPERIMEN BALOK BI

Hasil rekaman lendutan LVDTs dan nilai beban pada *load cell* yang terekam dikomputer dapat digambarkan grafik hubungan beban dengan lendutan (lihat Gambar 6). Grafik hubungan beban (P) vs lendutan (Δ) menunjukkan respon struktur BBI terhadap pembebanan dengan keruntuhan geser.



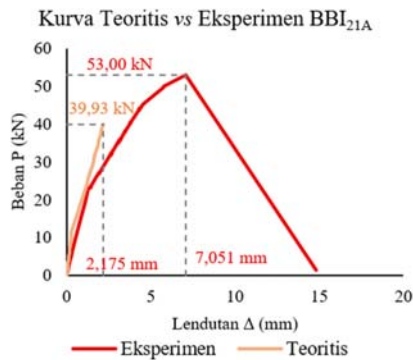
Gambar 6. Grafik Hubungan P-Δ Eksperimen

Tabel 5. Rekapitulasi Kekuatan Balok BI

Pengamatan	BBI _{21A}	BBI _{21B}	BBI _{28A}	BBI _{28B}
P_{cr} (kN)	23,47	21,22	23,00	24,41
Δ_{cr} (mm)	1,437	1,249	0,345	0,694
M_{cr} (kNm)	6,66	6,17	6,56	6,87
P_{maks} (kN)	53,00	51,59	77,69	55,75
Δ_{maks} (mm)	7,051	6,204	8,747	3,294
M_{maks} (kNm)	11,68	11,38	17,05	12,28

4.1.3 HASIL TEORITIS VS EKSPERIMEN

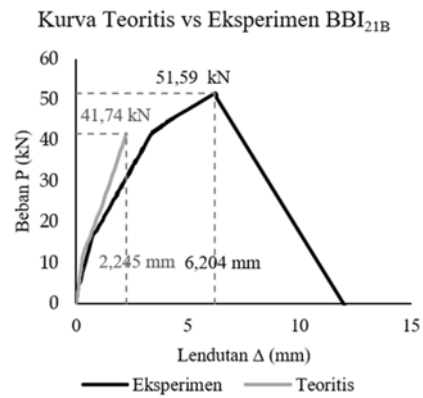
Berdasarkan hasil teoritis dan hasil eksperimen dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Eksperimen - Teoritis BBI_{21A}

Tabel 6. Perbandingan Teoritis dan Eksperimen BBI_{21A}

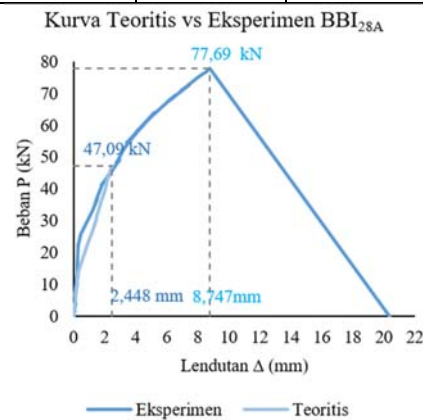
Pengamatan pada BBI _{21A}	Teoritis	Eksperimen	Selisih
P_{cr} (kN)	11,40	23,47	12,07
Δ_{cr} (mm)	0,298	1,437	1,139
M_{cr} (kNm)	2,64	6,66	4,03
P_{maks} (kN)	39,93	53,00	13,07
Δ_{maks} (mm)	2,175	7,051	4,876
M_{maks} (kNm)	8,84	11,68	2,840



Gambar 8. Grafik Perbandingan Eksperimen - Teoritis BBI_{21B}

Tabel 7. Perbandingan Teoritis dan Eksperimen BBI_{21B}

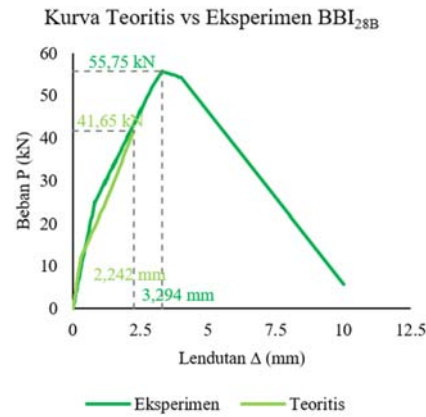
Pengamatan pada BBI _{21B}	Teoritis	Eksperimen	Selisih
P_{cr} (kN)	11,950	21,220	9,270
Δ_{cr} (mm)	0,298	1,250	0,952
M_{cr} (kNm)	2,755	6,170	3,420
P_{maks} (kN)	41,74	51,590	9,852
Δ_{maks} (mm)	2,245	6,204	3,960
M_{maks} (kNm)	9,234	11,380	2,146



Gambar 9. Grafik Perbandingan Eksperimen - Teoritis BBI_{28A}

Tabel 8. Perbandingan Teoritis dan Eksperimen BBI_{28A}

Pengamatan pada BBI _{28A}	Teoritis	Eksperimen	Selisih
P_{cr} (kN)	13,574	23,00	9,430
Δ_{cr} (mm)	0,300	0,345	0,045
M_{cr} (kNm)	3,110	6,560	3,450
P_{maks} (kN)	47,090	77,690	30,600
Δ_{maks} (mm)	2,448	8,747	6,299
M_{maks} (kNm)	10,400	17,050	6,650



Gambar 10. Grafik Perbandingan Eksperimen - Teoritis BBI_{28B}

Tabel 9. Perbandingan Teoritis dan Eksperimen BBI_{28B}

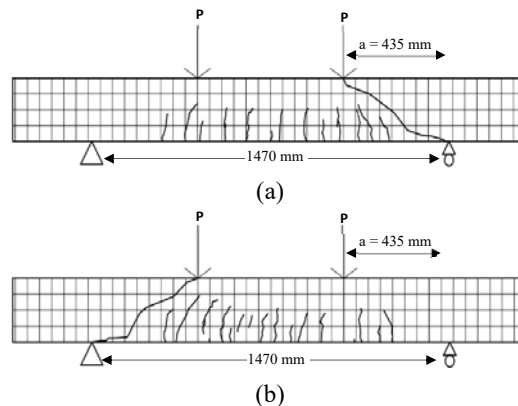
Pengamatan pada BBI _{28A}	Teoritis	Eksperimen	Selisih
P_{cr} (kN)	11,920	24,410	12,490
Δ_{cr} (mm)	0,298	0,694	0,396
M_{cr} (kNm)	2,750	6,870	4,120
P_{maks} (kN)	41,650	55,750	14,100
Δ_{maks} (mm)	2,242	3,294	1,052
M_{maks} (kNm)	9,220	12,280	3,070

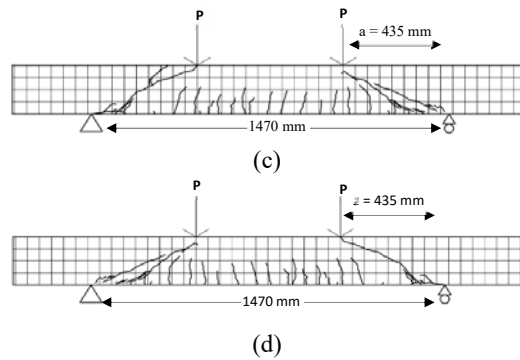
Tabel 10. Nilai Daktilitas Displacement

Benda Uji	μ_{Δ}	μ_{Δ} Rata-Rata	Kategori daktilitas
BBI _{21A}	1,745	1,767	Rendah (FEMA 356:2000 dan SNI 9274:2025)
BBI _{21B}	1,789		
BBI _{28A}	1,993	1,902	Rendah (FEMA 356:2000 dan SNI 9274:2025)
BBI _{28B}	1,811		

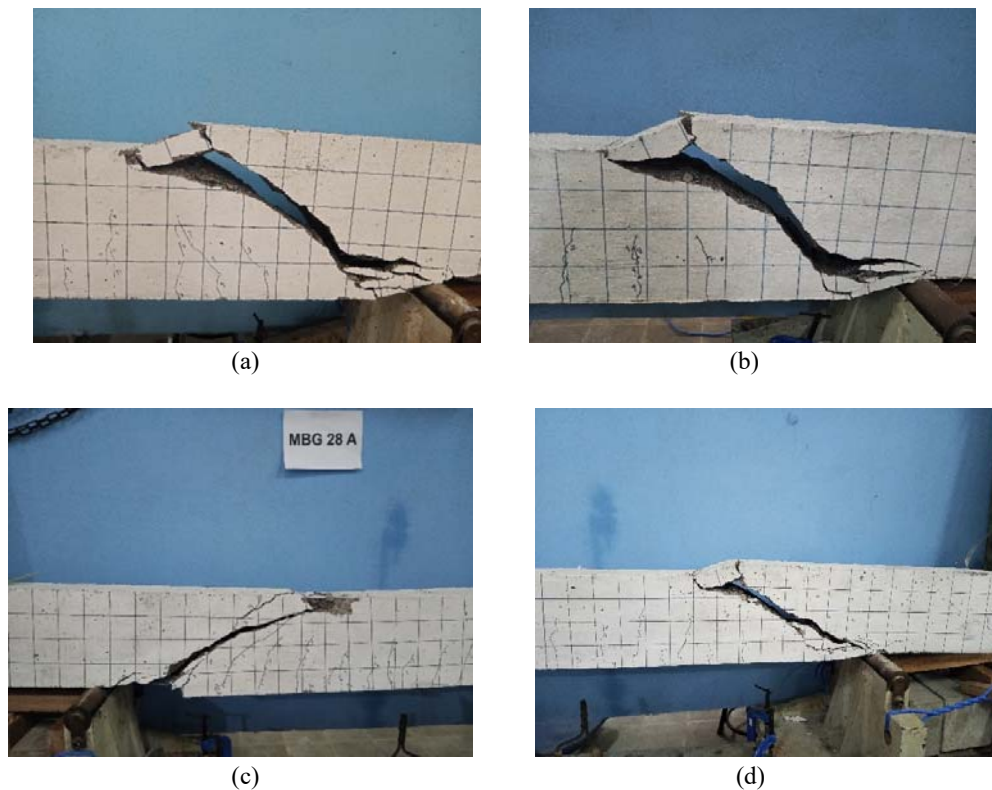
4.1.4 POLA RETAK BALOK UJI

Berdasarkan pola retak yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12 dapat diidentifikasi bahwa keempat benda uji BBI mengalami kegagalan geser, lebih spesifiknya adalah jenis kegagalan tarik diagonal.





Gambar 11. (a). Pola Retak Benda Uji BBI_{21A}, (b). Pola Retak Benda Uji BBI_{21B}, (c). Pola Retak Benda Uji BBI_{28A}, (d). Pola Retak Benda Uji BBI_{28B}.



Gambar 12. (a). Close Up Pola Retak Benda Uji BBI_{21A}, (b). Close Up Pola Retak Benda Uji BBI_{21B}, (c). Close Up Pola Retak Benda Uji BBI_{28A}, (d). Close Up Pola Retak Benda Uji BBI_{28B}.

4.2 PEMBAHASAN

Evaluasi terhadap kuat tekan BI menunjukkan bahwa kuat tekannya telah memenuhi persyaratan penerimaan SNI 2847:2019, yaitu rata-rata dari tiga spesimen pengujian kuat tekan yang dianalisis secara berurutan memiliki nilai yang melebihi target kuat tekan rencana yakni 25 MPa. Kinerja BBI usia 28 hari menunjukkan kemampuan menahan P_{maks} dan M_{maks} lebih tinggi dibandingkan dengan BBI usia 21 hari. Meskipun demikian, secara konservatif, kedua usia balok menunjukkan kekuatan yang setara. Selain itu, kapasitas balok pada saat retak pertama (P_{cr}) menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara keduanya, hal mengindikasikan bahwa kekuatan awal beton telah memadai untuk menahan retak. Perilaku keruntuhan dan analisis geser hasil pengujian balok secara eksperimen

menghasilkan nilai beban ultimit yang lebih besar dibandingkan dengan analisis teoritis. Hal ini juga menunjukkan bahwa pengujian geser BBI terjadi kegagalan geser sesuai perencanaan awal, hal ini dikarenakan balok hanya didisain kuat terhadap lentur (*flexural over-design*). Disain ini didukung oleh penggunaan rasio $a/d = 2,35$ yang berada dalam kategori daerah geser tinggi (merujuk pada klasifikasi Wang & Salmon, 1993).

Rangkaian keruntuhan keempat specimen, setelah penambahan beban (P), balok mulai melentur. Seiring penambahan P balok mulai menunjukkan retakan (P_{cr}). Hal ini memicu timbulnya retak-retak lentur vertikal di bagian tengah bentang (di antara kedua titik beban) dimana momen lentur maksimum terjadi dan tegangan tarik melebihi kekuatan tarik beton. Pertambahan beban P terus meningkat mengakibatkan daerah lengan geser (a) terjadi retakan diagonal, ini memicu munculnya tegangan tarik utama yang arahnya diagonal. Ketika tegangan ini melampaui kapasitas tarik beton, salah satu retak miring berkembang menjadi retak tarik diagonal yang besar (runtuh geser). Akhirnya BBI tidak mampu menahan gaya tarik ini, dan retak menyebar sangat cepat, menyebabkan balok runtuh secara tiba-tiba. Runtuh secara tiba-tiba ini mengidentifikasikan bahwa BBI tanpa tulangan sengkang memiliki perilaku yang tidak daktil (*brittle*), untuk itu agar tidak gagal geser balok harus memakai Sengkang, baik di daerah lapangan maupun di daerah tumpuan.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Ketercapaian kuat tekan, kondisi retak pertama, dan beban ultimit dari BBI 21 hari dan 28 hari didapat sebagai berikut.
 - a. Ketercapaian target kuat tekan BI sebesar 25 MPa pada penelitian ini didapat masing-masing adalah 27,95 MPa (BBI_{21A}); 30,55 MPa (BBI_{21B}); 38,89 MPa (BBI_{28A}); dan 30,42 MPa (BBI_{28B}) dengan demikian ketercapaian target semua benda uji diatas 25 MPa, hal ini menunjukkan hasil yang cukup konservatif.
 - b. Kondisi layan beban *crack* (P_{cr}), momen *crack* (M_{cr}), dan lendutan *crack* (Δ_{cr}) eksperimen, keempat BBI berada diatas prediksi teoritis.
 - c. Kondisi ultimit beban maksimum (P_{maks}), momen maksimum (M_{maks}), dan lendutan maksimum (M_{maks}) eksperimen, keempat BBI diatas prediksi teoritis.
2. Nilai daktilitas rata-rata balok umur 21 hari ($\mu_{\Delta} = 1,767$) dan balok umur 28 hari ($\mu_{\Delta} = 1,902$). Kedua nilai ini masih tergolong dalam kategori daktilitas rendah, dengan demikian hal ini menunjukkan bahwa balok memerlukan penulangan sengkang agar dicapai daktilitas penuh.

Spesimen BBI₂₁ dan BBI₂₈ yang dirancang untuk mengalami kegagalan geser, pada hasil penelitian ini menunjukkan pola keruntuhan geser artinya rancangan penelitian dapat dikatakan cukup baik.

SAMPAIAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan dana mandiri namun didukung oleh kerjasama antara Universitas Negeri Surabaya dengan PT. Albicon Reka Sarana dengan MoU No. 309/UN38/KS.01/2024 dan No. 08/ARS/KS-02/2024.

REFERENSI

- ACI Committee 209. (1992). *ACI 209R-92: Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*. USA: American Concrete Institute.
- Arman, A., dan Ramayanti, C. (2018). Studi Eksperimental Metoda Pembuatan Beton Instan $f_c' = 25$ MPa dengan Penambahan Zat Adiktif Fosroc SP 337 & Fosroc Conplast R. *Menara Ilmu*, Vol. XII No. I, pp. 1-7.

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD). Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2025). SNI 9274:2025, Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik Bangunan Gedung Beton Eksisting, Standar dan Penjelasan, (ACI CODE-369.1-22, MOD). Jakarta: BSN.
- Federal Emergency Management Agency. FEMA 356/November 2000. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. USA, Washington: American Society of Civil Engineers, Federal Emergency Management Agency.
- Ghozi, M., Budiati, A., Sabariman, B., & Widodo, S. (2025). Stress-strain relationships of spirally confined instant concrete under axial compression. *Engineering and Applied Science Research*, 52(2), pp. 198–206. <https://doi.org/10.14456/easr.2025.17>.
- Nurdiansyah, N. (2024). Mix proportion data sheet atoz mix instant (form: MPA-4C) [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 02]. Available from: <https://atozmix.co.id/Blog-Artikel/Spesifikasi-Teknis-ATOZ-Mix-Instant-K-300-batu-Screening-7-28-Hari/#wbb1>.
- Park, R. (1988). State-of-the Art Report, Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing. Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering. August 2-9, 1988, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol. VIII, SG-R, pp. VIII.605-VIII.616.
- Park, R., and Paulay, T. (1975). Reinforced Concrete Structures. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Sabariman, B., and Sofianto MF. (2017). Study of Crack Patterns in the Beam Column Joint Due to the Upwards Anchoring Beam Effect. AIP Conference Proceedings, Green Process, Material, and Energy: A Sustainable Solution for Climate Change; 2016 December 7-8; Surakarta, Indonesia: AIP Publishing.
- Sabariman, B., dan Tavio. (2024). Inovasi untuk Peningkatan Kekuatan dan Kekakuan Balok Lentur dengan Isian Pasangan Bata Merah yang Dibebani Beban Vertikal Statik Monotonik. *Jurnal Inter Tech*, Vol. 2 No. 1, pp. 53-63.
- Wang, C. K., & Salmon, C. G. (1993). Disain Beton Bertulang, edisi 4. Jakarta: Erlangga.
- Yuliyanto dan Puspitasari, I. (2022). Analisis Perbandingan Kuat Tekan, Waktu dan Biaya Pengecoran antara Beton Instan dan Beton Konvensional. *TEDC*, Vol. 16 No. 3, September 2022, pp. 248-254.