

# INOVASI UNTUK PENINGKATAN KEKUATAN DAN KEKAKUAN BALOK LENTUR DENGAN ISIAN PASANGAN BATA MERAH YANG DIBEKANI BEBAN VERTIKAL STATIK MONOTONIK

BAMBANG SABARIMAN<sup>[1]</sup>, TAVIO<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Kampus Unesa, Jln. Ketintang, Surabaya, Indonesia

<sup>[2]</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia  
e-mail: <sup>[1]</sup>bambangabariman@unesa.ac.id, <sup>[2]</sup>tavio@its.ac.id

## ABSTRACT

*Indonesia is an area prone to earthquake disasters. This disaster not only threatens infrastructure but also results in human casualties, environmental damage, property loss, and psychological impacts. For this reason, the design of structural elements is very necessary, such as the design of reinforced concrete beams. The study was carried out on the design of filled red brick masonry (IPBM) which was inserted in the middle of the cross-section of the block across the full width in the transverse direction to the longitudinal direction of the block. Until now, IPBM is still considered part of non-engineered buildings. The results of the study in this research actually show that IPBM contributes to the strength and stiffness of IPBM beams. Its strength increased by 4.10% while its stiffness increased by 15.64%, so it is appropriate that IPBM is not only considered as part of a non-engineered building but can contribute structurally.*

**Keywords:** *Flexural beams, Non-engineered building, Red brick masonry filler, Stiffness, Strength.*

## ABSTRAK

*Indonesia termasuk daerah rawan bencana gempa bumi. Bencana ini bukan hanya mengancam infrastruktur tetapi juga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Untuk itu, rancang bangun elemen struktur sangat diperlukan, seperti rancang bangun balok beton bertulang. Studi dilakukan terhadap rancang bangun isian pasangan bata merah (IPBM) yang dimasukkan di tengah penampang balok selebar penuh arah melintang ke arah memanjang balok. IPBM ini sampai saat ini masih dianggap sebagai bagian dari non-engineered building. Hasil studi pada penelitian ini justru menunjukkan hasil bahwa IPBM memberi kontribusi pada kekuatan dan kekakuan balok IPBM. Kekuatannya meningkat 4,10% sedang kekakuannya meningkat sebesar 15,64%, sehingga selayaknya jika IPBM bukan hanya dianggap sebagai bagian dari non-engineered building namun bisa berkontribusi secara struktural.*

**Kata kunci:** *Balok lentur, Isian pasangan bata merah, Kekakuan, Kekuatan, Non engineered building.*

## 1. PENDAHULUAN

Beberapa wilayah Indonesia termasuk daerah rawan gempa, bencana gempa mengakibatkan rusaknya struktur utama bangunan seperti balok dan kolom (Tavio dan Sabariman, 2022; Tavio dan Sabariman, 2023). Kerusakan balok dan kolom menyebabkan runtuhnya bangunan secara total, untuk itu balok dan kolom harus dirancang kokoh. Kekokohnya harus memenuhi syarat bangunan tahan gempa, upaya memperkokohnya tentu harus dengan upaya meningkatkan kekakuan elemen balok dan kolom.

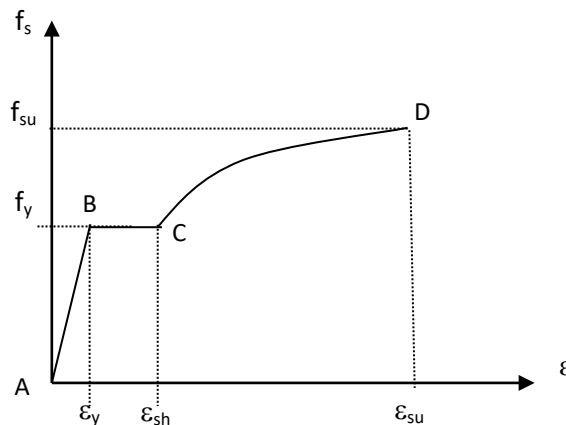
Saat ini IPBM dalam perancangan struktur portal sering dianggap sebagai bahan pengisi saja. Beberapa peraturan (SNI 2847:2019;SNI 1726:2019) menetapkan IPBM sebagai *non engineering building* sehingga kekakuan dan kekuatan yang dimiliki IPBM tidak diperhitungkan dalam perencanaan. Tetapi penelitian (Imran dan Aryanto, 2009; Siregar, 2010; Fenerci, 2013; Sukrawa, 2013; Moretti *et al.*, 2014; Saputra *et al.*, 2015; Tanjung, dan Maidiawati, 2016) ternyata PBM sebagai dinding pengisi justru memberikan efek berbeda pada struktur (memberikan tambahan kekakuan) dan dapat menahan beban horisontal. Penelitian tentang dinding pengisi (Pradeep, 2017) dapat meningkatkan 5 kali daripada tanpa dinding pengisi dan jika digunakan sebagai partisi/penutup luar pada struktur portal beton bertulang (Dewobroto, 2005) justru bisa menahan gaya besar (gempa) yang dapat memberi sumbangan kekakuan dan kekuatan struktur, sehingga perilaku keruntuhannya berbeda dibanding portal terbuka. Penelitian yang dilakukan di Universitas Colorado (Mehrabi, *et al.*, 1996) menunjukkan analisisnya bersifat *lower-bound* dibandingkan hasil eksperimen, sehingga cocok untuk perencanaan. Hasil studi menunjukkan dinding bata (Sari, *et al.*, 2018) memiliki nilai kekakuan dan kekuatan yang berpengaruh secara signifikan untuk bangunan sederhana. Berdasarkan hal tersebut di atas penelitian ini akan melakukan penelitian dimana IPBM tidak dipasang pada *frame* bangunan (diantara dua kolom kiri-kanan dan diantara balok atas-bawah), tetapi justru IPBM dimasukkan pada penampang memanjang balok dan dipasang utuh pada penampang melintang balok. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kontribusi IPBM terhadap penambahan kekuatan dan kekakuan balok lentur.

## 2. TEORI

Beberapa teori sebagai penunjang analisis diurai sebagai berikut.

### 2.1 Tegangan-regangan Baja Tulangan Park dan Paulay (1975)

Kurva diagram tegangan-regangan untuk baja tulangan diperoleh dari Referensi Pak dan Paulay (1975) yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Kurva tegangan-regangan baja

$$\text{Daerah AB : } \varepsilon_s \leq \varepsilon_y$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s$$

(1)

$$\text{Daerah BC : } \varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}$$

$$f_s = f_y$$

(2)

$$\text{Daerah CD : } \varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$$

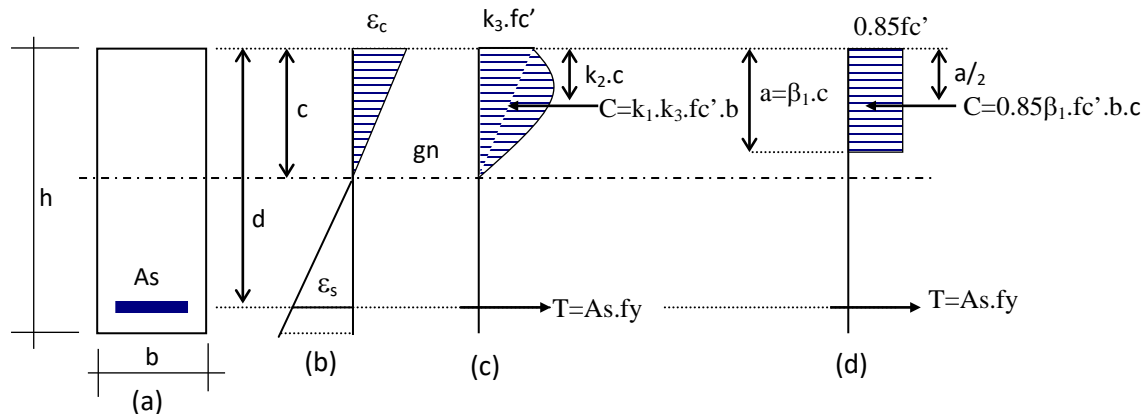
$$f_s = f_y \cdot \left[ \frac{m(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2}{60(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})(60 - m)}{2(30r + 1)^2} \right] \quad (3)$$

dimana:

$$m = \frac{\left( \frac{f_{su}}{f_y} \right) (30r + 1)^2 - 60r - 1}{15r^2} \quad \text{dan} \quad r = \varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \quad (4)$$

Baja tulangan untuk beton harus selalu menggunakan baja tulangan *deform*, sedang baja tulangan polos hanya boleh dipakai untuk tulangan spiral atau sengkang.

## 2.2 Asumsi Diagram Tegangan Blok (*block stress-equivalent*)

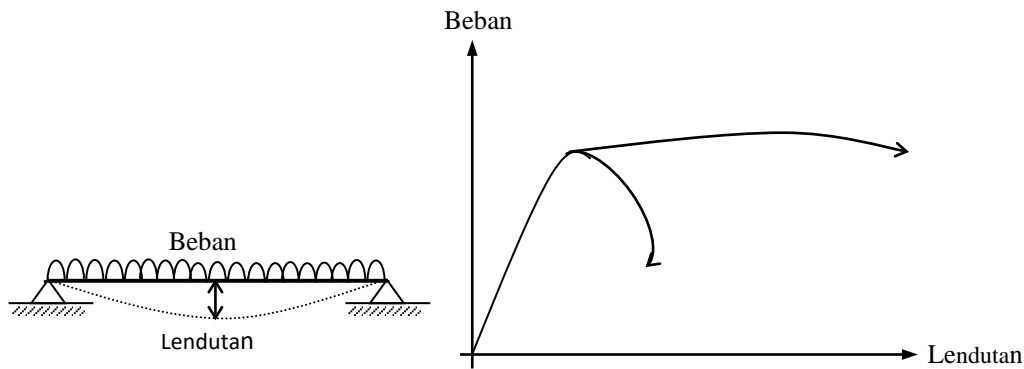


Gambar 2. Diagram tegangan, regangan dan block stress balok bertulangan tunggal

Regangan yang berhubungan dengan tegangan tekan puncak,  $\varepsilon_o$ , sering diasumsikan sebesar 0,002 untuk beton berkekuatan normal. Persamaan parabola ini pertama kali diperkenalkan oleh Hognestad (1952). Di luar regangan,  $\varepsilon_o$ , tegangan diasumsikan menurun secara linier seiring dengan meningkatnya regangan. Jadi, daripada menggunakan kurva tegangan-regangan yang hampir mewakili (seperti yang diberikan pada Gambar 2(c), diagram lain yang lebih mudah digunakan dalam perhitungan dapat diterima, asalkan diagram tersebut cukup memprediksi hasil pengujian. Bentuk blok tegangan pada balok pada momen ultimat dapat dinyatakan secara matematis dalam tiga konstanta:  $k_3$  = rasio tegangan maksimum,  $k_3f_c'$ , pada zona tekan balok terhadap kekuatan silinder,  $f_c'$ ;  $k_1$  = rasio tegangan tekan rata-rata terhadap tegangan maksimum (sama dengan rasio luas yang diarsir pada Gambar 2(c) dengan luas persegi panjang,  $c \times k_3f_c'$ );  $k_2$  = perbandingan jarak antara serat tekan terluar dan resultan gaya tekan terhadap kedalaman sumbu netral,  $c$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 2(c). Sebagai penyederhanaan lebih lanjut, ACI Code Bagian 22.2.2.4 mengizinkan penggunaan distribusi tegangan beton persegi panjang yang setara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(d) untuk perhitungan kuat lentur nominal. Blok tegangan persegi panjang ini, awalnya diusulkan oleh Whitney (1937) yang sering dikenal dengan blok tegangan persegi ekuivalen.

## 2.3 Deformasi, Kekuatan dan Kekakuan

Perilaku beban-lendutan elemen beton bertulang dapat dilihat bahwa perilaku getas dan daktail sangat kontras, seperti diperlihatkan Gambar 3.



Gambar 3. Deformasi elemen lentur

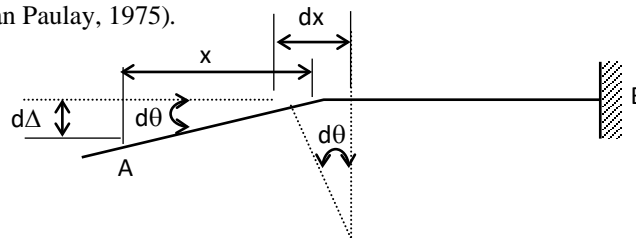
Menurut Park dan Paulay (1975), rotasi dan lendutan suatu elemen dapat dihitung dengan mengintegrasikan kurvatur sepanjang elemen. Bila kurvatur ditentukan sebagai rotasi per-unit panjang elemen (Gambar 3 dan 4), maka rotasi elemen di antara dua titik A dan B dirumuskan sebagai berikut:

$$\theta_{AB} = \int_A^B \phi \cdot dx \quad (5)$$

Sedangkan lendutan transversalnya dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta_{AB} = \int_A^B x \cdot \phi \cdot dx \quad (6)$$

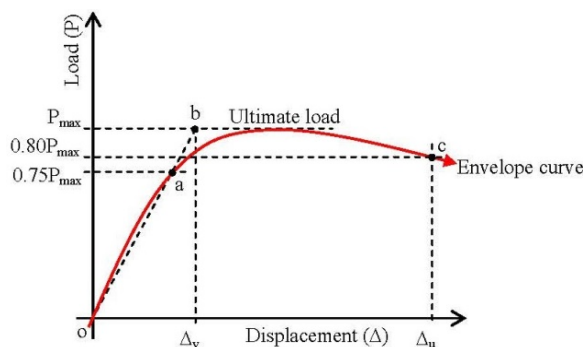
Persamaan (5) dan (6) merupakan generalisasi dari teorema momen-area dan dapat diaplikasikan menghitung kurvatur elastis maupun plastis. Kedua persamaan tersebut dapat juga digunakan untuk menghitung rotasi dan lendutan suatu elemen bila diketahui hubungan momen-kurvatur (Park dan Paulay, 1975).



Gambar 4. Deformasi lentur suatu elemen

Kekuatan balok adalah kemampuan balok untuk melakukan simpangan atau lendutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, kemudian kekakuan balok adalah kemampuan balok untuk melakukan deformasi. Menurut Baumgart (2000) *stiffness = load divided by deformation*, yang dalam hal ini diekspresikan seperti Pers. 7 yakni nilai kekuatan (P) dibagi/berbanding dengan besarnya simpangan ( $\Delta$ ) yang terjadi. Sedang penentuan titik/nilai kekakuan ini dianalogikan seperti analisis penentuan leleh pertama struktur balok (Brachman *et al.*, 2004; Park, 1988).

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (7)$$



Gambar 5. Penentuan leleh pertama

### 3. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium, dengan membuat benda uji balok lentur konvensional dan balok lentur IPBM. Balok ini dibuat berdasarkan analisis teoritis yang berlaku terhadap analisis terkontrol tarik (Wight, 2020), seperti syarat rasio tulangan, dimensi balok dan besarnya beban. Benda uji ini kemudian dites di laboratorium, hal ini dilakukan untuk mendapatkan jawaban dari tujuan penelitiannya. Untuk itu tahapan penelitiannya diurai sebagai berikut.

#### 3.1 Parameter Penelitian

Parameter dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: a). Kurva tegangan-regangan dipakai *block stress-equivalent*, b). Balok memakai sengkang yang berfungsi sebagai pengaman geser, c.) Kondisi balok bertulangan terkontrol tarik, d). Mutu beton dan mutu baja tulangan, dimensi  $b$ ,  $h$  dan  $L$  balok, e). Kuat momen dan lendutan balok.

#### 3.2 Analisis Teoritis

Analisis teoritis balok meliputi: a). Analisis rasio tulangan terkontrol tarik, b). Analisis kuat momen berdasarkan *block stress-equivalent*, c). Pembuatan grafik hubungan beban-lendutan.

#### 3.3 Analisis Eksperimental

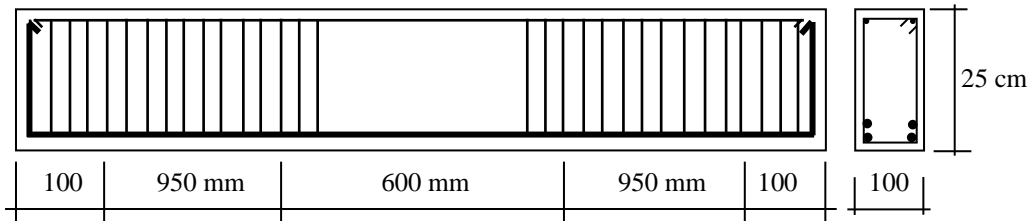
Analisis ekperimental meliputi: a). Berdasarkan hasil dari eksperimental diperoleh data regangan, beban dan lendutan, b). Pembuatan grafik hubungan beban-lendutan, c). Membandingkan hasil prediksi beban dengan hasil eksperimen, d). Diadakan pembahasan hasil eksperimen dan penarikan kesimpulan.

#### 3.4 Teknik Analisis Data

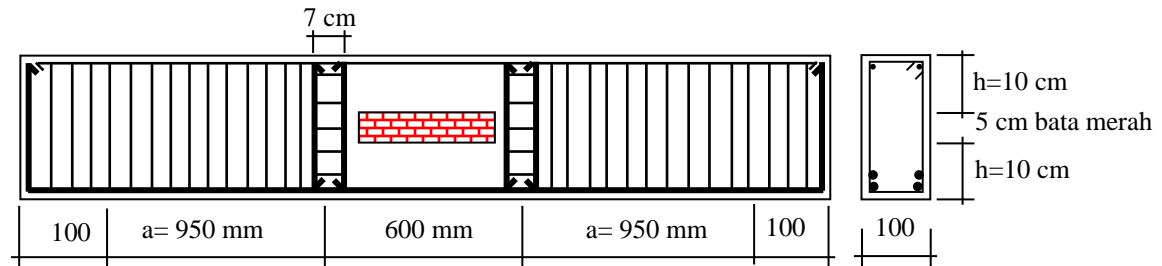
Untuk memberikan gambaran hasil eksperimen maka analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif berdasarkan analisis secara numerik hasil eksperimen laboratorium kemudian diadakan analisis data secara deskriptif kualitatif.

#### 3.5 Benda Uji

Benda uji balok lentur dibuat dengan dua macam. Benda uji balok konvensional dan benda uji balok IPBM seperti terlihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Penulangan balok konvensional, tulangan utama 4D10, sengkang D8-50 mm (as-as),  $a/d \cong 4,37$



Gambar 7. Penulangan balok IPBM, tulangan utama 4D10, sengkang D8-50 mm (as-as),  $a/d \cong 4,37$

### 3.6 Set-up Pengujian Balok

Setup untuk pengujian balok ditunjukkan dalam Gambar 8 dimana pengujian balok diarahkan untuk kegagalan lentur dengan dua titik beban di atas balok dan tumpuan sederhana.



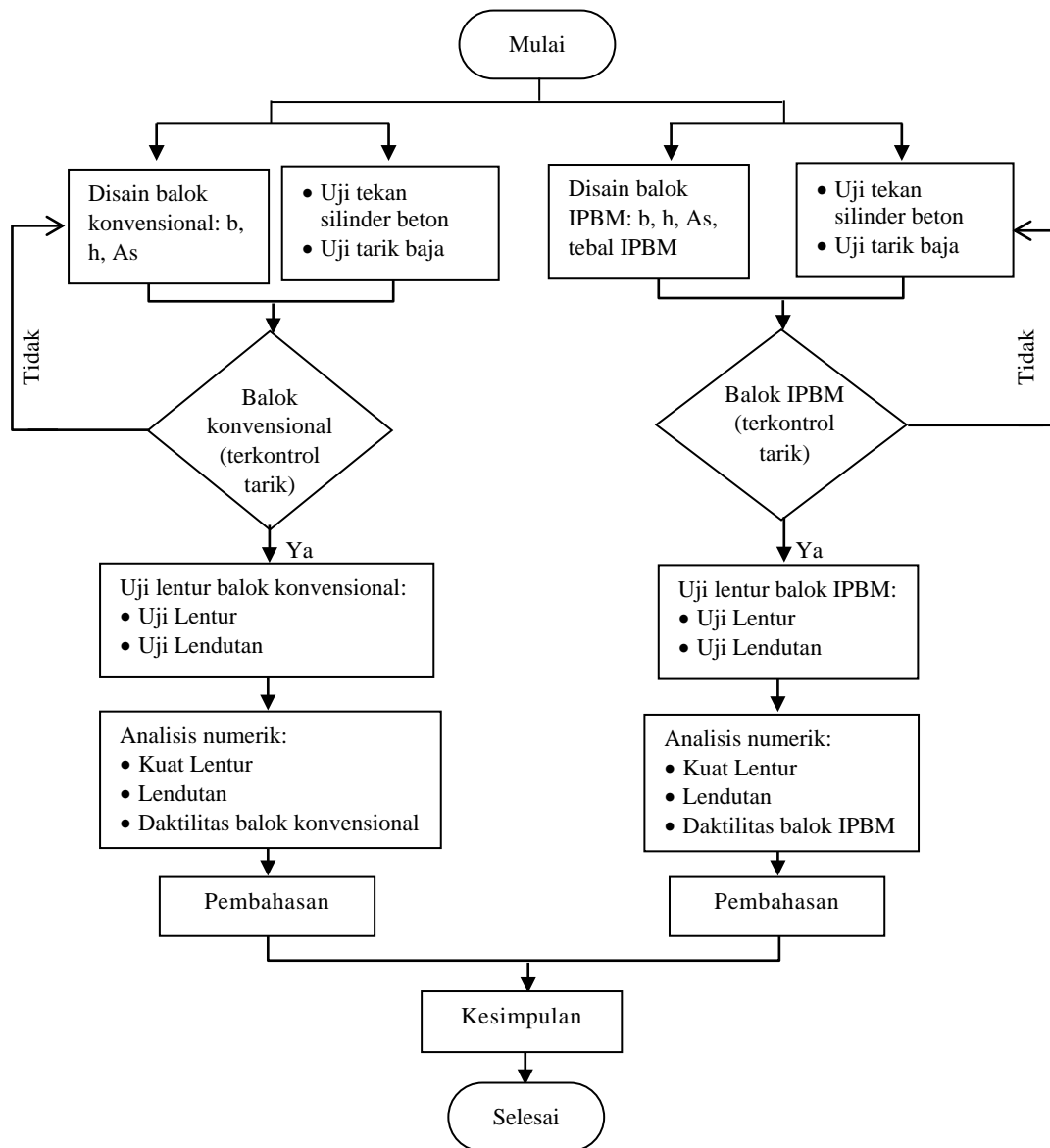
(a). Beban dua titik

(b) Saat pengujian

Gambar 8. Set-up dan kegiatan pengujian balok pembebanan dua titik dengan lengan geser  $a/d \cong 4,37$

### 3.7 Bagan Tahapan Penelitian

Urutan riset ini digambarkan secara tahap demi tahap dalam bagan atau diagram alir seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9 dimana pengujian eksperimental dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil FT Unesa.



Gambar 9. Bagan penelitian

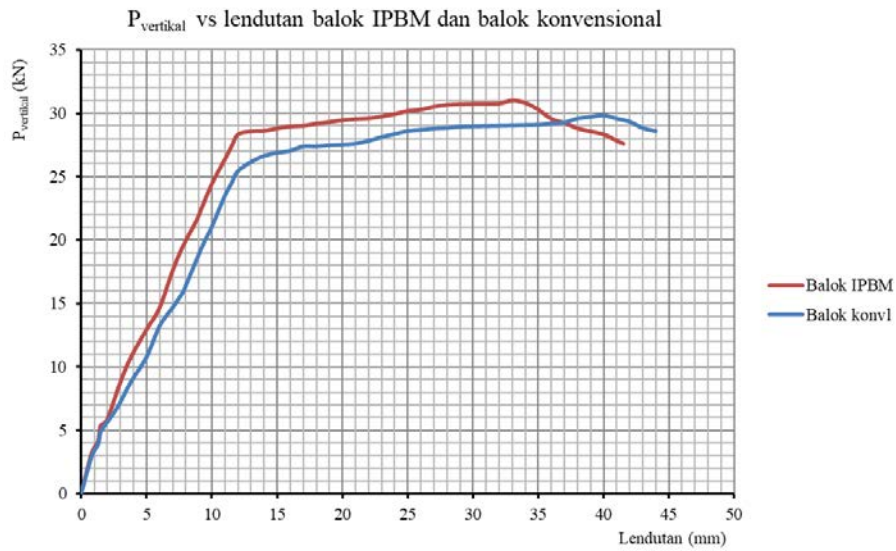
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rancangan yang telah ditetapkan dihasilkan beberapa data. Beberapa data tersebut diolah kemudian ditabelkan dan digambar dalam bentuk grafik. Tabel 1 sampai 4 dan Gambar 10 sampai 14 menunjukkan hasil-hasil penelitian.

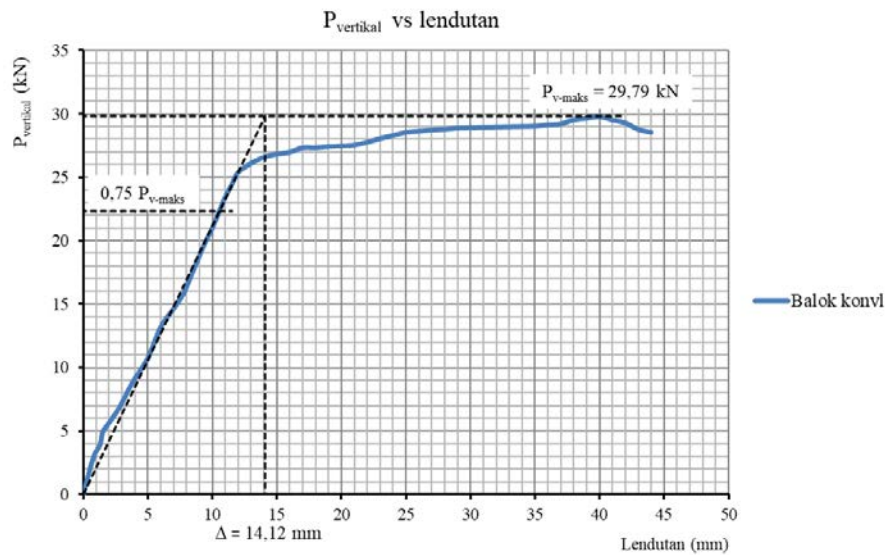
Tabel 1. Hasil Tes Material

Material	Hasil uji (MPa)
Kuat tekan beton, $f'_c$ (MPa)	42.61
Kuat tarik baja tulangan D10, $f_y$	481.34
Kuat tarik baja tulangan D8, $f_{yt}$	450.33
Kuat tekan bata ringan	6.2





Gambar 10. Hubungan  $P_v$  vs. Lendutan Balok



Gambar 11. Hubungan  $P_v$  vs. Lendutan Balok Konvensional (Tanpa IPBM)

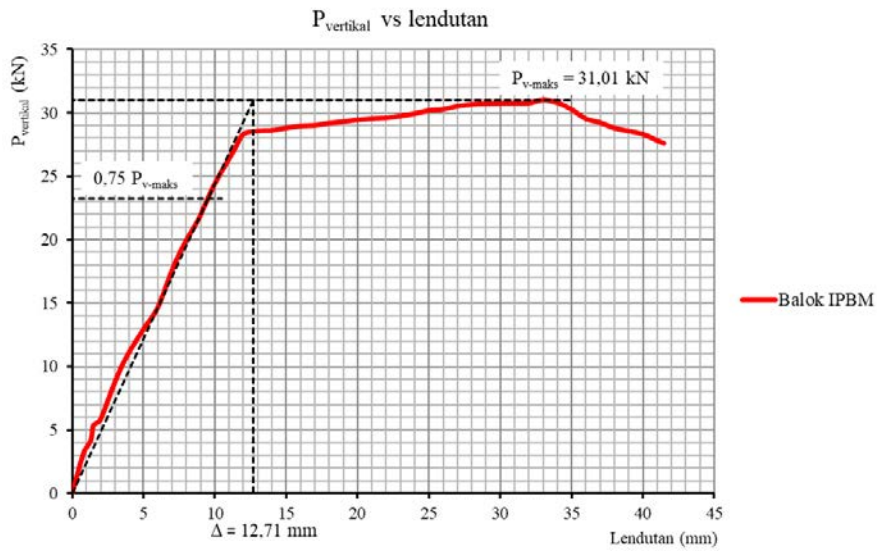
Tabel 2. Kekuatan dan Kekakuan Balok

Benda uji	$P_{h-maks}$ (kN)	$\Delta$ (mm)	K (kN/mm)
Balok konvensional	29,79	14,12	2,11
Balok IPBM	31,01	12,71	2,44

Tabel 3. Peningkatan Kekuatan Balok

Benda uji	$P_{h-maks}$ (kN)	Peningkatan $P_{h-maks}$ balok IPBM terhadap balok konvensional (%)
Balok konvensional	29,79	0
Balok IPBM	31,01	4,10





Gambar 12. Hubungan  $P_v$  vs. Lendutan Balok Memakai IPBM

Tabel 4. Peningkatan Kekakuan Balok

Benda uji	K (kN/mm)	Peningkatan nilai kekakuan balok IPBM terhadap balok konvensional (%)
Balok konvensional	2,11	0
Balok IPBM	2,44	15,64



Gambar 13. Retak Lentur Balok Konvensional



Gambar 14. Retak Lentur Balok IPBM

Berdasarkan data tersebut di atas menunjukkan bahwa pemakaian IPBM pada balok konvensional berkontribusi pada kekuatan dan kekakuan balok, sehingga anggapan yang selama ini IPBM hanya dianggap sebagai *non engineering building* perlu ditelaah kembali. Hasil penelitian ini paling tidak memperkuat beberapa penelitian sebelumnya, dimana hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa IPBM berkontribusi terhadap *boundary* elemen struktur yang membatasi (balok dan atau kolom).

Upaya peningkatan kekuatan dan kekakuan masih perlu dilanjutkan lagi karena penelitian ini masih terbatas pada tinggi IPBM  $h = 5$  cm, sehingga perlu diteliti lagi dengan variasi  $h = 10, 15$  dan  $20$  cm. Berdasarkan penelitian ini ada dugaan bahwa dengan peninggian IPBM lebih besar  $5$  cm juga akan berpengaruh pada kekuatan dan kekakuannya balok, bahkan perlu ditinjau juga pengaruhnya terhadap daktilitas.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan data di atas menunjukkan bahwa dengan pemakaian/penambahan IPBM otomatis juga akan meninggikan  $h$  balok IPBM dan meningkat pula nilai inersia balok, sehingga kekuatan balok juga meningkat.

Kekakuan elemen balok sebenarnya juga dipengaruhi oleh nilai inersia elemen balok sendiri. Kondisi menyebabkan peningkatan kekakuan balok IPBM. Selain itu karena IPBM terletak persis di inti balok (di titik berat) balok, maka dapat dipersepsikan bahwa daerah inti ini tidak terlalu berpengaruh pada nilai tegangan-regangan balok. Namun demikian sangat berpengaruh terhadap nilai inersia balok.

## REFERENSI

- Anonimous (2019), "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)," Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 238 pp.
- Anonimous (2019), "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan," Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 695 pp.
- Baumgart, F. (2000). Stiffness-an unknown world of mechanical science? *Injury, International Journal Care Injured*, Vol. 31, pp. S-B14-S-B23
- Brachmann, I., Browning, J. A., and Matamoros, A. (2004). Drift-Dependent Confinement Requirements for Reinforced Concrete Columns under Cyclic Loading. *ACI Structural Journal*, Technical Paper. Title no. 101-S66, V. 101, No. 5, September-October, pp. 669-677.
- Dewobroto, W. (2005). Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan Equivalent Diagonal Strut. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Edisi Vol. 12/4, 2005.
- Fenerci, A. (2013). The Effect of Infill Walls on the Seismic Performance of Boundary Columns in Reinforced Concrete Frames. *Thesis Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University*.
- Hognestad, E. (1952), "Inelastic Behavior in Tests of Eccentrically Loaded Short Reinforced Concrete Columns," *ACI Journal Proceedings*, Vol. 24, No. 2, October, pp. 117-139.
- Imran, I., dan Aryanto, A. (2009). Behavior of Reinforced Concrete Frames In-Filled with Lightweight Materials Under Seismic Loads. *Civil Engineering Dimension*, Vol. 11, No. 2, pp. 69-77.
- Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., dan Noland, J.L. (1996). Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames. *Journal Structure Engineering ASCE*, 122(3): 228-237.
- Moretti, M.L., Papatheocharis, T., dan Perdikaris, P.C. (2014). Design of Reinforced Concrete Infilled Frames. *Journal of Structural Engineering © ASCE*, ISSN 0733-9445/04014062(10).
- 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., dan Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Pradeep, S. (2017). Behavior Of Reinforced Concrete Frame With Short Column Effect Under Lateral Cyclic Loading. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, Vol. 18, No. 6, pp. 879-891

- Saputra, U., Putra, H., Syafriandi, E., Tanjung, J., dan Thamrin, R.. (2015). Studi Eksperimental Pengaruh Dinding Bata terhadap Ketahanan Kolom Struktur Portal Sederhana. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol. 11 No. 2, pp. 25-35.
- Sari, M.I., Abdullah, A.M. (2018). Perilaku Lateral Siklik Portal Beton Bertulang Berisi Dinding Bata Merah. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, Vol. 1, No. 4, pp. 845 – 856.
- Siregar, Y.A.N. (2010). Efek Dinding Pengisi Bata Pada Respons Gempa Struktur Beton Bertulang, *Tesis Magister Teknik. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia*.
- Sukrawa, M. (2013). Design Aspect of including Infill Wall in RC Frame Design. *Civil Engineering Dimension*, Vol. 16, No. 1, pp. 24-32.
- Tanjung, J., dan Maidiawati. (2016). Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil, Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 23 No. 2, pp. 99-106.
- Tavio, dan Sabariman, B. (2023), “Behavior of Masonry-infilled Concrete Beams,” *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2629, No. 040010.
- Tavio, and Sabariman, B. (2022), “Contribution of Lightweight Brick Infiller on Strength and Stiffness of RC Columns under Cyclic Loading,” *International Journal on Engineering Applications*, Vol. 10, No. 5, pp. 384-392.
- Whitney, C. (1937), “Design of Reinforced Concrete Members Under Flexure or Combined Flexure and Direct Compression,” *ACI Journal Proceedings*, Vol. 8, No. 4, March–April, pp. 483–498.
- Wight, J. K. (2021), “Reinforced Concrete: Mechanics and Design, Eighth Edition, *Pearson Education, Inc.*, Hoboken, New Jersey, 1176 pp.