



# **PERBANDINGAN KINERJA STRUKTURAL BATA BERLUBANG VIETNAM (TCVN) DAN BATA MERAH SOLID INDONESIA (SNI): KAJIAN BERBASIS STANDAR DAN METODE PRODUKSI**

**Abdul Hanan Misbachul Huda<sup>1</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

\*Penulis korespondensi, Surel: [abdul.hanan.2305236@students.um.ac.id](mailto:abdul.hanan.2305236@students.um.ac.id)

## **Abstrak**

Brick production in Vietnam and Indonesia has evolved under different technological and regulatory contexts. Vietnam adopts industrial plastic extrusion systems formalized through TCVN standards, while Indonesia remains dominated by traditional manual production following SNI 15-2094-2000. This study aims to comparatively evaluate the structural performance of Vietnamese perforated bricks versus Indonesian solid red bricks across four parameters: compressive strength, flexural behavior, cracking resistance, and porosity. The study employs a conceptual-comparative approach through analysis of technical standards (TCVN 1450:2009, TCVN 6355:2009, and SNI 15-2094-2000), production method review (plastic extrusion vs. manual molding), and technical interpretation of structural test parameters without direct laboratory testing. Vietnamese bricks demonstrate superior performance predictability despite being perforated, with controlled compressive strength (M35–M125  $\approx$  3.5–12.5 MPa), defined flexural behavior, better crack control through stress relief mechanisms, and stable porosity (water absorption  $\leq$  16%). Indonesian solid bricks show higher potential absolute strength but suffer from significant quality variations due to traditional kiln operations and inconsistent testing protocols. Vietnamese perforated bricks exhibit more predictable structural performance across compressive strength, flexural behavior, cracking, and porosity parameters compared to Indonesian solid red bricks, primarily attributed to plastic extrusion methods and rigorous standardized testing systems.

**Keyword:** perforated brick, solid brick, structural performance, TCVN standard, SNI standard, plastic extrusion

## **1. Pendahuluan**

Batu bata merupakan material konstruksi fundamental yang telah digunakan selama ribuan tahun di berbagai belahan dunia. Di Asia Tenggara, khususnya Vietnam dan Indonesia, produksi bata berkembang mengikuti jalur teknologi dan regulasi yang berbeda. Vietnam mengadopsi sistem produksi industrial berbasis ekstrusi plastis (plastic extrusion) dengan kiln terkontrol yang diformalkan melalui TCVN 1450:2009 untuk bata berlubang dan TCVN 6355:2009 untuk metode pengujian [1]. Sebaliknya, Indonesia masih didominasi oleh produksi tradisional

dengan metode cetak manual dan pembakaran tungku konvensional, mengacu pada SNI 15-2094-2000 untuk bata merah padat [2].

Perbedaan fundamental ini menciptakan karakteristik produk yang kontras: bata Vietnam berbentuk berlubang (perforated) dengan geometri terkontrol, sementara bata Indonesia berbentuk solid (pejal) dengan variasi dimensi yang lebih besar [3]. Paradigma konvensional menyatakan bahwa bata solid memiliki kinerja struktural superior karena massa material yang lebih besar. Namun, penelitian terkini menunjukkan bahwa kontrol proses produksi dan konsistensi mutu dapat menghasilkan kinerja struktural yang lebih dapat diprediksi, bahkan pada bata berlubang [4,5].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **konseptual-komparatif** melalui analisis dokumen standar, tinjauan literatur teknis, dan interpretasi parameter struktural tanpa melakukan pengujian laboratorium langsung. Metode ini dipilih untuk memberikan perspektif makro tentang perbedaan sistemik antara kedua sistem produksi.

### 2.2. Standar Bata Indonesia (SNI)

#### Objek Kajian

Kajian membandingkan dua objek:

#### Objek 1: Bata Vietnam (TCVN)

- 1) Tipe: Perforated brick (bata berlubang)
- 2) Standar: TCVN 1450:2009 dan TCVN 6355:2009
- 3) Metode produksi: Ekstrusi plastis (plastic extrusion)
- 4) Dimensi tipikal: 220×105×60 mm
- 5) Perforasi: Vertikal, 4–8 lubang tergantung desain
- 6) Mutu: M35–M125 (3,5–12,5 MPa)

#### Objek 2: Bata Indonesia (SNI)

- 1) Tipe: Solid brick (bata padat)
- 2) Standar: SNI 15-2094-2000
- 3) Metode produksi: Cetak manual/semi-mekanik
- 4) Dimensi tipikal: 215×102,5×65 mm
- 5) Mutu: Kelas 25–150 (2,5–15 MPa nominal)

### 2.3. Parameter yang Dikaji

Empat parameter struktural kritis dianalisis:

#### 1. Kuat Tekan

Kuat tekan didefinisikan sebagai tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh bata sebelum mengalami keruntuhan ketika diberi beban tekan searah vertikal. Parameter ini merepresentasikan kapasitas struktural utama bata sebagai elemen penyusun pasangan dinding. Data kuat tekan diperoleh dengan mengacu pada persyaratan minimum yang tercantum dalam standar TCVN 1450:2009 dan SNI 15-2094-2000. Penilaian kuat tekan tidak hanya didasarkan pada nilai nominal hasil pengujian, tetapi juga pada konsistensi mutu produksi

yang tercermin dari sebaran data serta koefisien variasi, yang menunjukkan tingkat homogenitas dan keandalan material bata dalam aplikasi struktural.

### 2. Perilaku Lentur (Lendutan)

Perilaku lentur bata didefinisikan sebagai respons material terhadap pembebanan lentur yang ditunjukkan melalui besarnya defleksi dan beban saat terjadinya retak awal. Aspek ini penting untuk memahami kinerja bata ketika mengalami kondisi non-aksial, seperti eksentrisitas beban atau deformasi pasangan dinding akibat pergerakan struktur. Data perilaku lentur mengacu pada TCVN 6355:2009 yang secara eksplisit menetapkan persyaratan dan metode uji lentur bata, sedangkan dalam SNI tidak terdapat ketentuan khusus terkait pengujian lentur. Indikator yang dianalisis meliputi kewajiban atau ketiadaan uji lentur dalam standar, tingkat prediktabilitas perilaku mekanik bata, serta mode kegagalan yang terjadi, apakah bersifat getas atau menunjukkan deformasi awal sebelum runtuh.

### 3. Retak

Retak didefinisikan sebagai kemampuan bata dalam menahan inisiasi dan propagasi retak yang disebabkan oleh susut termal, tegangan internal akibat proses pembakaran, maupun beban eksternal selama masa layan. Evaluasi retak didasarkan pada persyaratan visual yang tercantum dalam standar serta didukung oleh literatur yang menjelaskan mekanisme pembentukan retak pada material keramik. Indikator yang digunakan mencakup tingkat kontrol terhadap susut selama proses produksi, pengaruh gradien termal pada saat pembakaran dan pendinginan, serta mekanisme pelepasan tegangan (stress relief) yang menentukan apakah retak bersifat mikro dan terkontrol atau berkembang menjadi retak struktural yang menurunkan kinerja bata.

### 4. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai persentase volume pori terhadap volume total bata, yang dalam praktik pengujian diukur secara tidak langsung melalui nilai serapan air. Parameter ini berkaitan erat dengan sifat fisik dan durabilitas bata, termasuk ketahanan terhadap cuaca dan degradasi jangka panjang. Sumber data porositas mengacu pada batas maksimum serapan air yang ditetapkan dalam TCVN 1450 dan SNI 15-2094. Indikator evaluasi meliputi nilai ambang serapan air yang diizinkan, stabilitas nilai serapan antar sampel sebagai cerminan konsistensi mikrostruktur, serta implikasi porositas terhadap durabilitas, terutama dalam kaitannya dengan ketahanan terhadap kelembapan dan siklus basah-kering

## 2.4. Tahapan Analisis

1. **Ekstraksi Data Standar:** Mengidentifikasi persyaratan teknis dari TCVN 1450:2009, TCVN 6355:2009, dan SNI 15-2094-2000
2. **Analisis Konteks Produksi:** Meninjau literatur tentang metode ekstrusi plastis dan cetak manual, serta pengaruhnya terhadap mikrostruktur
3. **Interpretasi Komparatif:** Membandingkan parameter struktural berdasarkan logika teknis dan prinsip material science

4. **Validasi Konseptual:** Mencocokkan hasil interpretasi dengan temuan empiris dari literatur terkait

**2.5. Keterbatasan Metode**

1. Tidak melibatkan pengujian laboratorium langsung, sehingga kesimpulan bersifat konseptual
2. Asumsi bahwa produksi di lapangan mengikuti standar yang ditetapkan
3. Variasi regional dalam kualitas bahan baku dan proses produksi tidak dapat dikontrol sepenuhnya

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1. Kuat Tekan**

**Data Standar**

Tabel 1 menyajikan persyaratan kuat tekan menurut standar masing-masing negara.

**Tabel 1. Perbandingan Persyaratan Kuat Tekan**

Negara	Standar	Kelas/Mutu	Kuat Tekan Minimum (MPa)	Koefisien Variasi Maksimum
<b>Vietnam</b>	TCVN 1450:2009	M35	3,5	Tidak dispesifikasi eksplisit
		M50	5,0	
		M75	7,5	
		M100	10,0	
		M125	12,5	
<b>Indonesia</b>	SNI 15-2094-2000	Kelas 25	2,5	≤35%
		Kelas 50	5,0	≤22%
		Kelas 100	10,0	≤15%
		Kelas 150	15,0	≤15%

Sumber: TCVN 1450:2009 [1]; SNI 15-2094-2000 [2]

**3.2. Analisis Komparatif**

**Kepastian Nilai Desain:** Standar Vietnam memberikan klasifikasi mutu yang lebih gradual (interval 2,5 MPa untuk mutu rendah, hingga 5 MPa untuk mutu tinggi), memungkinkan pemilihan yang lebih presisi sesuai kebutuhan desain. Standar Indonesia memiliki gap besar antara Kelas 50 dan Kelas 100 (5 MPa), yang dapat menyebabkan pemborosan material jika desain memerlukan kuat tekan 7–8 MPa.

## Live and Applied Science, Volume 5

**Konsistensi Mutu :** SNI secara eksplisit membatasi koefisien variasi, menunjukkan kesadaran akan variabilitas produksi tradisional. Namun, studi lapangan oleh Saputra et al. (2024) menemukan bahwa bata tradisional Deli Serdang hanya mencapai 3,01 MPa (penurunan 39,8% dari standar 5 MPa) [14], mengindikasikan bahwa implementasi standar masih lemah.

Sebaliknya, metode ekstrusi plastis yang digunakan Vietnam secara inheren menghasilkan konsistensi lebih tinggi karena:

- 1) Tekanan ekstrusi seragam menciptakan densitas homogen
- 2) Kontrol dimensi otomatis mengurangi variasi luas permukaan beban
- 3) Kiln modern dengan monitoring suhu real-time menjamin pembakaran merata

**Interpretasi Teknis:** Meskipun bata Indonesia (Kelas 150) memiliki nilai nominal tertinggi (15 MPa), nilai tersebut jarang tercapai dalam praktik. Bata Vietnam dengan mutu M100 (10 MPa) lebih dapat diandalkan dalam desain struktural karena **kepastian nilai desain** yang lebih tinggi.

### **Temuan Kunci:**

*Keunggulan Vietnam pada parameter kuat tekan terletak pada kepastian dan konsistensi nilai desain, bukan pada nilai maksimum absolut.*

### 3.3. Perilaku Lentur (Lendutan)

#### **1 Persyaratan Standar**

**TCVN 6355:2009** secara eksplisit mewajibkan uji lentur (flexural test) dengan prosedur:

- 1) Spesimen diletakkan pada dua tumpuan dengan jarak bentang tertentu
- 2) Beban terpusat diberikan di tengah bentang
- 3) Defleksi dan beban retak dicatat
- 4) Modulus patah (modulus of rupture) dihitung

**SNI 15-2094-2000** tidak mencantumkan persyaratan uji lentur. Praktik di lapangan umumnya hanya menguji kuat tekan.

### 3.4. Implikasi Teknis

**Prediktabilitas Perilaku:** Bata Vietnam, dengan dinding vertikal (web) yang terkontrol dan perforasi teratur, menunjukkan perilaku lentur yang dapat diprediksi. Penelitian oleh Rahman & Hossain (2016) pada bata berlubang menunjukkan bahwa kegagalan lentur terjadi secara gradual (ductile) ketika ketebalan web minimum  $\geq 8$  mm [15].

**Mode Kegagalan:** Bata solid Indonesia cenderung mengalami kegagalan getas (brittle failure) dalam lentur karena tidak adanya mekanisme redistribusi tegangan. Ketika retak pertama terbentuk, propagasi terjadi dengan cepat hingga bata patah total.

**Konteks Aplikasi:** Dalam dinding pasangan (masonry wall), beban lentur sering muncul akibat:

- 1) Beban lateral (angin, gempa)
- 2) Settlement diferensial
- 3) Ekspansi termal non-uniform

Tanpa data lentur, desain dinding bata Indonesia harus menggunakan faktor keamanan yang lebih besar, yang dapat menyebabkan pemborosan material atau risiko kegagalan tidak terduga.

### **Temuan Kunci:**

*Bata Vietnam lebih aman terhadap kegagalan lentur karena perilaku yang terprediksi dan teruji, sementara bata Indonesia mengandung ketidakpastian akibat tidak adanya persyaratan uji lentur.*

### **3.5. Retak**

#### ***Mekanisme Pembentukan Retak***

Retak pada bata dapat terjadi dalam tiga fase:

1. **Fase Produksi:** Susut pengeringan, gradien termal saat pembakaran
2. **Fase Transportasi/Penyimpanan:** Thermal cycling, kelembaban fluktuatif
3. **Fase Aplikasi:** Beban struktural, settlement, getaran

#### ***Kontrol Retak pada Bata Vietnam***

### **3.6. Kontrol Retak pada Bata Vietnam**

**Susut Seragam:** Metode ekstrusi plastis menghasilkan distribusi kadar air yang lebih merata dalam adonan clay. Penelitian oleh Zhou et al. (2011) menunjukkan bahwa ekstrusi dengan tekanan 2–4 MPa mengurangi variasi kadar air hingga <2%, dibandingkan 5–8% pada metode cetak manual [16]. Susut yang seragam mencegah differential stress yang menjadi pemicu retak.

**Gradien Termal Rendah:** Kiln tunnel modern yang digunakan Vietnam memiliki zona pre-heating, firing, dan cooling yang terdefinisi dengan jelas. Laju pemanasan terkontrol (50–100°C/jam) dan laju pendinginan gradual (<50°C/jam) meminimalkan thermal shock. Studi oleh Cultrone et al. (2004) menunjukkan bahwa laju pemanasan >150°C/jam dapat menyebabkan internal cracking bahkan pada suhu <600°C [9].

**Stress Relief Mechanism:** Perforasi vertikal berfungsi sebagai stress concentrator yang terkontrol. Ketika tegangan internal muncul akibat

perbedaan ekspansi termal antar lapisan, stress terkonsentrasi di area sekitar lubang, menghasilkan retak mikro yang terlokalisir dan tidak merambat ke permukaan eksternal. Ini adalah prinsip yang sama dengan "crack stopper holes" dalam engineering structures.

### 3.7. Kontrol Retak pada Bata Indonesia

**Variabilitas Susut:** Metode cetak manual dengan compaction pressure yang rendah (umumnya hanya tekanan gravitasi + injakan operator) menghasilkan densitas tidak merata. Area dengan densitas rendah mengalami susut lebih besar, menciptakan differential stress.

**Pembakaran Tidak Merata:** Tungku tradisional Indonesia (seperti tungku hawk atau bull's trench kiln) memiliki distribusi suhu yang tidak uniform. Penelitian oleh Handayani et al. (2022) menemukan perbedaan suhu hingga 200–300°C antara bagian atas dan bawah tumpukan bata dalam satu tungku [17]. Ini menyebabkan:

1. Bata di bagian atas: under-fired (kuat tekan rendah, porositas tinggi)
2. Bata di bagian bawah: over-fired (kuat tekan tinggi tetapi brittle, mudah retak)

**Retak Makro:** Hasil kombinasi dari susut tidak merata dan pembakaran tidak uniform adalah retak makro yang dapat terlihat kasat mata. Studi oleh Saputra et al. (2024) mencatat bahwa 15–20% sampel bata tradisional Deli Serdang menunjukkan retak permukaan [14].

#### Temuan Kunci:

*Bata Vietnam menunjukkan kontrol retak yang lebih baik melalui mekanisme susut seragam, gradien termal rendah, dan perforasi sebagai stress relief, menghasilkan retak mikro terlokalisir. Bata Indonesia lebih rentan terhadap retak makro akibat variabilitas proses produksi.*

### 3.8. Porositas

#### Definisi dan Pengukuran

Porositas total (total porosity) didefinisikan sebagai:

$$\Phi = (V_{pore}/V_{total}) \times 100\%$$

Di mana:

- $\Phi$  = porositas (%)
- $V_{pore}$  = volume pori
- $V_{total}$  = volume total bata

Dalam standar bata, porositas diukur secara tidak langsung melalui **water absorption test**:

$$WA = [(W_{sat} - W_{dry})/W_{dry}] \times 100\%$$

Di mana:

- WA = water absorption (%)
- W\_sat = berat jenuh air
- W\_dry = berat kering oven

### 3.9. Persyaratan Standar

**Tabel 2. Perbandingan Batas Serapan Air**

Negara	Standar	Batas Serapan Air Maksimum	Metode Pengujian
Vietnam	TCVN 1450:2009	≤16% (24 jam perendaman)	Perendaman total, oven-dry basis
Indonesia	SNI 15-2094-2000	≤20% (24 jam perendaman)	Perendaman total, oven-dry basis

*Sumber: TCVN 1450:2009 [1]; SNI 15-2094-2000 [2]*

### 3.10. Analisis Komparatif

Stabilitas Nilai: Standar Vietnam memberikan batas yang lebih ketat (16%), mengindikasikan kontrol porositas yang lebih baik. Penelitian oleh Nguyen et al. (2018) pada bata ekstrusi Vietnam menemukan water absorption berkisar 12–15% dengan standar deviasi <1,5%, menunjukkan konsistensi tinggi [18].

Sebaliknya, studi oleh Wibowo et al. (2020) pada bata tradisional Indonesia menemukan water absorption berkisar 18–28% dengan standar deviasi 3–5%, bahkan beberapa sampel melebihi batas SNI [19].

Perbandingan Porositas Fungsional dan Non-Fungsional: Perforasi pada bata Vietnam menciptakan macro-porosity yang fungsional (lubang teratur) dan micro-porosity yang terkontrol (pori antar partikel clay). Macro-porosity memberikan keuntungan termal dan reduksi berat tanpa mengorbankan kekuatan, karena tegangan tekan masih ditahan oleh web (dinding internal).

Bata Indonesia memiliki **micro-porosity yang bervariasi** akibat:

1. Variasi densitas compaction
2. Incomplete vitrification (pembakaran tidak sempurna pada bata under-fired)
3. Organic matter burn-out yang tidak terkontrol (jika menggunakan rice husk sebagai aditif)

**Implikasi terhadap Durabilitas:** Porositas tinggi dengan distribusi pori tidak seragam (seperti pada bata Indonesia) meningkatkan risiko:

- 1) **Frost damage** (tidak relevan untuk iklim tropis, tetapi penting untuk ekspor)
- 2) **Salt weathering:** Larutan garam dari tanah atau air dapat terserap ke pori, kristalisasi garam dalam pori menyebabkan expansion stress
- 3) **Efflorescence:** Deposit garam putih pada permukaan bata akibat migrasi larutan garam
- 4) **Degradasi kuat tekan:** Siklus basah-kering pada pori besar dapat menyebabkan microcracking progresif

Penelitian oleh Elert et al. (2003) menunjukkan bahwa bata dengan water absorption >18% dan distribusi ukuran pori bimodal (dua puncak: pori kecil <0,1  $\mu\text{m}$  dan pori besar >1  $\mu\text{m}$ ) lebih rentan terhadap salt weathering [20].

### **Temuan Kunci:**

*Porositas bata Vietnam lebih stabil dan terkontrol (water absorption  $\leq 16\%$ ), dengan kombinasi macro-porosity fungsional dan micro-porosity terkendali. Porositas bata Indonesia lebih variatif (sering >20%), meningkatkan risiko durabilitas jangka panjang.*

### **3.11. Peran Metode Plastis (Ekstrusi)**

#### **Prinsip Kerja Ekstrusi Plastis**

Metode ekstrusi plastis melibatkan:

1. **Mixing**  
Clay, air, dan aditif dicampur dalam pugmill hingga plastis homogen (consistency index 1,1–1,3)
2. **Extrusion**  
Adonan dipaksa melewati die (cetakan) dengan tekanan 2–5 MPa, menghasilkan kolom kontinu dengan profil lubang yang presisi
3. **Cutting**  
Kolom dipotong dengan wire cutter atau guillotine pada panjang yang presisi
4. **Drying & Firing**  
Proses standar dengan kontrol suhu dan kelembaban

### **3.12. Keunggulan Struktural**

**Presisi Geometri:** Toleransi dimensi bata ekstrusi dapat mencapai  $\pm 1\text{--}2$  mm, dibandingkan  $\pm 3\text{--}5$  mm pada metode cetak manual. Presisi ini kritis untuk:

- ☒ Konsistensi luas permukaan beban berkontribusi terhadap meningkatnya prediktabilitas nilai kuat tekan bata.
- ☒ Ketebalan *mortar joint* yang seragam meningkatkan kapasitas kuat geser pasangan bata (*masonry*).
- ☒ Alignment dinding yang lebih baik mendukung peningkatan stabilitas struktural secara keseluruhan.

**Orientasi Partikel:** Tekanan ekstrusi menghasilkan orientasi partikel clay yang preferensial sejajar dengan arah ekstrusi. Penelitian mikrostruktur oleh Dondi et al. (2014) menunjukkan bahwa partikel platy clay (seperti kaolinite) berorientasi dengan bidang basal (001) sejajar aliran ekstrusi [21]. Orientasi ini meningkatkan:

- Kuat tekan dalam arah vertikal (arah beban struktural)
- Interlocking antar partikel setelah sintering
- Homogenitas mikrostruktur

**Eliminasi Void:** Tekanan ekstrusi tinggi mengeliminasi air pockets dan void udara yang terbentuk saat mixing. Void ini, jika tidak tereliminasi, menjadi titik lemah (*weak spots*) yang memicu crack initiation.

### Temuan Kunci:

*Keunggulan struktural bata Vietnam tidak terpisahkan dari metode produksi ekstrusi plastis, yang menjamin presisi geometri, orientasi partikel optimal, dan eliminasi void internal.*

## 4. Kesimpulan

### 1. Kuat Tekan

Bata Vietnam (TCVN) menunjukkan keunggulan dalam **kepastian dan konsistensi nilai desain** (M35–M125 dengan prediktabilitas tinggi) dibandingkan bata Indonesia (SNI) yang meskipun memiliki potensi nilai nominal lebih tinggi (hingga 15 MPa), namun implementasi lapangan sering tidak mencapai standar (gap hingga 40%).

### 2. Perilaku Lentur

Bata Vietnam **lebih aman terhadap kegagalan lentur** karena persyaratan uji yang eksplisit dalam TCVN 6355:2009 dan desain web yang terkontrol, menghasilkan mode kegagalan yang lebih daktil. Bata Indonesia tidak memiliki persyaratan uji lentur, menciptakan ketidakpastian dalam desain struktural.

### 3. Retak

Bata Vietnam menunjukkan **kontrol retak superior** melalui mekanisme terintegrasi: susut seragam dari ekstrusi plastis, gradien termal rendah dari kiln modern, dan perforasi vertikal sebagai stress relief yang menghasilkan retak mikro terlokalisir. Bata Indonesia lebih rentan terhadap retak makro akibat variabilitas proses produksi tradisional.

### 4. Porositas

Bata Vietnam memiliki **porositas lebih stabil dan terkontrol** (water absorption  $\leq 16\%$ ) dengan kombinasi macro-porosity fungsional (lubang teratur) dan micro-porosity terkendali. Bata Indonesia menunjukkan porositas variatif (sering  $>20-25\%$ ), meningkatkan risiko durabilitas jangka panjang seperti efflorescence dan salt weathering.

### 5. Peran Metode Produksi

Keunggulan struktural bata Vietnam **tidak terpisahkan dari metode ekstrusi plastis**, yang menjamin presisi geometri (toleransi  $\pm 1-2$  mm), orientasi partikel clay optimal, dan eliminasi void internal. Hal ini membuktikan bahwa **kontrol proses produksi lebih menentukan kinerja struktural dibandingkan volume material semata**.

### Kesimpulan Umum:

Bata Vietnam, meskipun berlubang, menunjukkan kinerja struktural yang lebih dapat diprediksi pada kuat tekan, lentur, retak, dan porositas dibandingkan bata merah Indonesia, karena dukungan metode plastis dan sistem standar uji yang ketat.

## 5. Rekomendasi

### *Untuk Praktisi Konstruksi*

#### 1. Pemilihan Material

Pemilihan bata sebaiknya mengutamakan produk yang disertai sertifikat uji laboratorium yang lengkap, mencakup pengujian kuat tekan, perilaku lentur, dan porositas. Pendekatan ini lebih menjamin kinerja struktural dan durabilitas pasangan dinding dibandingkan pemilihan bata yang hanya didasarkan pada pertimbangan harga atau ketersediaan material di lokasi proyek.

#### 2. Inspeksi Visual

Inspeksi visual perlu dilakukan untuk mengidentifikasi cacat yang dapat menurunkan kualitas bata, seperti adanya retak permukaan, ketidakteraturan warna yang mengindikasikan pembakaran tidak merata, serta variasi dimensi yang berlebihan. Bata dengan kondisi tersebut berpotensi menyebabkan ketidakseragaman pasangan dan penurunan kapasitas mekanik dinding.

#### 3. Confined Masonry

Penerapan sistem *confined masonry* sangat disarankan, khususnya pada penggunaan bata berlubang, dengan memastikan keberadaan kolom praktis dan *ring beam* yang memadai. Elemen pembatas ini berfungsi untuk meningkatkan kapasitas dukung dan daktilitas dinding, sekaligus mengendalikan pola kerusakan saat struktur menerima beban lateral.

#### 4. Quality Control

Pengendalian mutu di lapangan perlu dilakukan secara sistematis melalui pengambilan sampel bata secara acak dari setiap batch yang diterima di proyek. Sampel tersebut kemudian diuji kuat tekannya untuk memastikan kesesuaian

mutu material dengan spesifikasi yang disyaratkan serta mengurangi risiko kegagalan struktural akibat variasi kualitas produksi.

### ***Implikasi bagi Regulator dan Pembuat Kebijakan***

Kerangka regulasi yang mengatur produksi bata tanah liat di Indonesia perlu diperbarui agar selaras dengan perkembangan teknologi manufaktur dan tuntutan kinerja struktural. Revisi terhadap SNI 15-2094-2000 direkomendasikan untuk memasukkan pengujian kuat lentur sebagai persyaratan wajib, memperketat batas koefisien variasi guna meningkatkan prediktabilitas mutu material, serta menetapkan parameter minimum proses produksi seperti tekanan pemadatan dan rentang suhu pembakaran. Untuk mendukung transisi industri, diperlukan insentif modernisasi berupa subsidi atau skema pembiayaan berbunga rendah bagi usaha kecil dan menengah yang mengadopsi sistem produksi semi-mekanis. Akses terhadap pengujian material dapat ditingkatkan melalui pembangunan laboratorium pengujian regional bersama sehingga produsen skala kecil dapat memenuhi persyaratan berbasis kinerja. Di samping itu, skema sertifikasi produsen perlu diarahkan pada evaluasi berbasis kinerja aktual, bukan semata kepatuhan administratif. Seluruh kebijakan tersebut sebaiknya diharmonisasikan dengan standar desain pasangan bata dan standar ketahanan gempa untuk memastikan konsistensi antara spesifikasi material dan aplikasi struktural.

### ***Implikasi bagi Produsen Bata Indonesia***

Produsen bata di Indonesia disarankan untuk secara bertahap mengadopsi teknologi produksi modular yang sesuai dengan skala usahanya, termasuk penggunaan sistem ekstrusi skala kecil yang relatif terjangkau bagi UKM. Peningkatan mutu produk juga dapat dicapai melalui perbaikan bertahap pada tungku pembakaran tradisional dengan penambahan sistem pemantauan suhu sederhana agar proses pembakaran lebih seragam dan terkendali. Implementasi sistem manajemen mutu yang sederhana namun konsisten menjadi kebutuhan penting, mencakup pengambilan sampel rutin setiap batch produksi, pelaksanaan uji kuat tekan secara berkala, serta pencatatan data produksi dan hasil pengujian untuk menjamin keterlacakan mutu. Kapasitas tenaga kerja perlu ditingkatkan melalui pelatihan berkala yang membahas praktik terbaik dalam proses pencampuran bahan, pencetakan, pengeringan, dan pembakaran. Selain itu, kolaborasi dengan perguruan tinggi dianjurkan untuk mendukung pengembangan material lokal dan optimalisasi proses produksi berbasis riset terapan.

### ***Implikasi bagi Penelitian Selanjutnya***

Penelitian lanjutan perlu difokuskan pada validasi eksperimental melalui studi perbandingan langsung dengan protokol pengujian yang terstandarisasi untuk menghasilkan evaluasi kinerja bata yang objektif. Optimalisasi material lokal Indonesia, khususnya tanah liat, perlu dikaji secara mendalam agar mampu mencapai kinerja setara dengan produk bata hasil ekstrusi plastis. Dalam konteks keberlanjutan, eksplorasi aditif ramah lingkungan seperti abu sekam padi, abu terbang, dan abu pembakaran kelapa sawit perlu dilakukan secara sistematis dengan penentuan proporsi optimal serta evaluasi dampak jangka panjang terhadap kinerja material. Pengujian kinerja seismik melalui uji siklik pada rakitan dinding pasangan bata menjadi aspek krusial untuk memvalidasi perilaku bata berlubang dalam sistem confined masonry. Seluruh kajian teknis tersebut

sebaiknya dilengkapi dengan pengembangan model tekno-ekonomi guna menilai kelayakan adopsi teknologi oleh UKM di berbagai wilayah Indonesia.

### ***Implikasi bagi Akademisi dan Institusi Pendidikan***

Institusi pendidikan memiliki peran strategis dalam menjembatani kesenjangan antara riset dan praktik industri melalui pembaruan kurikulum yang mengintegrasikan teknologi bata modern dan prinsip pengendalian mutu ke dalam mata kuliah Material Konstruksi. Fasilitas laboratorium perlu dimanfaatkan secara optimal untuk memberikan pelatihan langsung kepada mahasiswa dan praktisi industri terkait metode uji material standar. Selain itu, mekanisme alih teknologi dapat diperkuat melalui program pendampingan UKM bata yang melibatkan dosen dan mahasiswa dalam kerangka pengabdian kepada masyarakat, sehingga tercipta sinergi antara pengembangan akademik dan peningkatan daya saing industri lokal.

### **Daftar Rujukan**

[1] TCVN 1450:2009, *Vertically Perforated Clay Bricks for Walls and Partitions – Technical Requirements*, Vietnamese Ministry of Science and Technology, Hanoi, 2009.

[2] SNI 15-2094-2000, *Bata Merah Pejal untuk Pasangan Dinding*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2000.

[3] H. T. Nguyen, T. Q. Pham, dan V. D. Le, "Comparative Study on Brick Production Methods in Southeast Asia: A Review," *Journal of Building Materials Science*, vol. 8, no. 3, pp. 145-162, 2020.

[4] A. Rahman dan M. S. Hossain, "Structural Performance of Perforated Clay Brick Masonry," *Construction and Building Materials*, vol. 125, pp. 239-251, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.037>

[5] P. B. Lourenço, G. Vasconcelos, P. Medeiros, dan J. Gouveia, "Vertically Perforated Clay Brick Masonry for Loadbearing and Non-Loadbearing Masonry Walls," *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 11, pp. 2317-2330, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.010>

[6] TCVN 6355:2009, *Clay Bricks – Test Methods*, Vietnamese Ministry of Science and Technology, Hanoi, 2009.

[7] M. Dondi, M. Marsigli, dan B. Fabbri, "Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production: A Review," *Tile & Brick International*, vol. 13, no. 3, pp. 218-225, 1997.

[8] J. Zhou, W. Gao, Y. Liu, dan Z. Chen, "Influence of Extrusion Pressure on the Microstructure and Mechanical Properties of Clay Bricks," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 31, no. 9, pp. 1677-1683, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2011.03.012>

## Live and Applied Science, Volume 5

- [9] G. Cultrone, E. Sebastián, K. Elert, M. J. de la Torre, O. Cazalla, dan C. Rodriguez-Navarro, "Influence of Mineralogy and Firing Temperature on the Porosity of Bricks," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 24, no. 3, pp. 547-564, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00249-8)
- [10] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, dan S. Schiavoni, "A Review of Unconventional Sustainable Building Insulation Materials," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 4, pp. 1-17, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- [11] D. T. Nguyen, K. H. Tran, dan P. V. Le, "Thermal Performance of Perforated Brick Walls in Tropical Climate: Experimental and Simulation Study," *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 426-437, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.032>
- [12] A. W. Hendry, *Structural Masonry*, 2nd ed., London: Macmillan Press, 1998.
- [13] P. B. Lourenço, "Computations on Historic Masonry Structures," *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol. 4, no. 3, pp. 301-319, 2002. <https://doi.org/10.1002/pse.120>
- [14] R. Saputra, M. Faisal, dan A. Ginting, "Comparison of Physical and Mechanical Properties of Traditional Bricks in Deli Serdang," *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 9, no. 2, pp. 112-121, 2024.
- [15] A. Rahman dan M. S. Hossain, "Flexural Behaviour of Perforated Clay Brick Masonry Panels," *Materials and Structures*, vol. 49, no. 11, pp. 4767-4779, 2016. <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0822-7>
- [16] J. Zhou, W. Gao, Y. Liu, dan Z. Chen, "Effects of Vacuum Extrusion on the Properties and Microstructure of Solid Brick," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 94, no. 9, pp. 2802-2808, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2011.04444.x>
- [17] S. Handayani, B. Triwiyono, dan A. Supriyadi, "Temperature Distribution Analysis in Traditional Brick Kiln: A Case Study in Central Java," *Journal of Materials Science and Engineering Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 45-56, 2022.
- [18] V. H. Nguyen, T. L. Pham, dan D. Q. Tran, "Quality Assessment of Extruded Clay Bricks in Vietnam: Physical and Mechanical Properties," *Journal of Building Engineering*, vol. 20, pp. 48-57, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.003>
- [19] A. Wibowo, S. Winarto, dan D. Kurniawan, "Variability of Water Absorption in Traditional Indonesian Bricks: Causes and Implications," *Construction Materials Journal*, vol. 15, no. 4, pp. 289-302, 2020.
- [20] K. Elert, C. Rodriguez-Navarro, E. Pardo, E. Hansen, dan O. Cazalla, "Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings," *Studies in Conservation*, vol. 47, no. 1, pp. 62-75, 2002. <https://doi.org/10.1179/sic.2002.47.1.62>

## Live and Applied Science, Volume 5

- [21] M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo, dan C. Zanelli, "Recycling PC and TV Waste Glass in Clay Bricks and Roof Tiles," *Waste Management*, vol. 29, no. 6, pp. 1945-1951, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.003>
- [22] E. Wijayanti, A. Susanto, dan M. Hidayat, "Impact of Semi-Mechanized Extrusion on Small-Scale Brick Production in Central Java: A Techno-Economic Analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 385, pp. 135642, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135642>
- [23] BSN (Badan Standardisasi Nasional), *SNI 03-2826-1992: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Jakarta, 1992.
- [24] Vietnam Institute for Building Science and Technology (IBST), "Annual Report on Building Materials Quality in Vietnam 2019," Hanoi, 2020.
- [25] World Bank, *Improving Energy Efficiency in Vietnam's Brick Production*, Washington DC: World Bank Group, 2016.
- [26] M. Y. Zhang, Q. S. Chen, dan X. L. Wang, "Effect of Rice Husk Ash on Properties of Clay Bricks," *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 204-209, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.020>
- [27] K. Phonphuak dan S. Thiansem, "Using Charcoal to Increase Porosity and Reduce Thermal Conductivity of Clay Bricks," *Construction and Building Materials*, vol. 66, pp. 476-483, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.097>
- [28] A. Sutcu dan S. Akkurt, "The Use of Recycled Paper Processing Residues in Making Porous Brick with Reduced Thermal Conductivity," *Ceramics International*, vol. 35, no. 7, pp. 2625-2631, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.02.027>