

# Dampak Variasi *Skim coat* dan *Foam Agent 1/60* Terhadap Produksi Bata Ringan

Nur Okviyani<sup>1\*</sup>, Rahmat J<sup>1</sup>, Irma Ridhayani<sup>1</sup>, Amalia Nurdin<sup>1</sup>, Sainuddin<sup>1</sup>, Ali Fauzi Mahmuda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Jalan Prof. Dr. Baharuddin Lopa, SH, Talumung, Majene, Indonesia

\*e-mail: nur.okviyani@unsulbar.ac.id

(Received: 24 Oktober 2024; Reviewed: 03 Februari 2025; Accepted: 07 Mei 2025)

## Abstract

**The Impact of *Skim coat* and *Foam Agent 1/60* Variations on Lightweight Brick Production.** Lightweight concrete blocks are an alternative building material that is lightweight, economical, and efficient for modern construction. This study aims to investigate the effect of *Skim coat* variation as a partial replacement for PCC cement and the use of a 1:60 foaming agent on the compressive strength and electrical resistivity of lightweight blocks made with Mapilli river sand. The research method involved producing cube specimens measuring  $5 \times 5 \times 5$  cm with PCC replacement variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. Compressive strength tests were conducted at 28 and 91 days, while electrical resistivity tests were also carried out at the same ages to evaluate corrosion resistance. The results showed that increasing the proportion of *skim coat* significantly reduced compressive strength but had minimal impact on electrical resistivity, which remained in the "very low corrosion risk" category. 25%–50% *Skim coat* substitution is recommended to produce lightweight concrete blocks that are strong, durable, resistant to moisture environment and risk of corrosion.

**Keywords:** Lightweight Brick, Mapilli Sand, Foam Agent

## Abstrak

Bata ringan merupakan material alternatif yang ringan, ekonomis, dan efisien untuk konstruksi modern. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *Skim coat* sebagai pengganti sebagian semen PCC dan penggunaan *foaming agent* 1:60 terhadap kuat tekan dan resistivitas listrik bata ringan berbasis pasir sungai Mapilli. Metode penelitian ini melibatkan pembuatan benda uji berbentuk kubus berukuran  $5 \times 5 \times 5$  cm dengan variasi substitusi PCC sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 dan 91 hari, sedangkan resistivitas listrik diuji pada umur yang sama untuk menilai ketahanan terhadap korosi. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan proporsi *Skim coat* menurunkan kuat tekan secara signifikan, namun tidak berpengaruh besar terhadap resistivitas listrik yang tetap berada dalam kategori risiko korosi sangat rendah. Substitusi *skim coat* sebesar 25%–50% direkomendasikan untuk menghasilkan bata ringan yang kuat, tahan lama, dan memiliki daya tahan yang baik terhadap lingkungan lembap maupun rentan korosi.

**Kata Kunci:** Bata Ringan, Pasir Mapilli, Foam Agent

## PENDAHULUAN

Bahan bangunan adalah semua material mentah yang diolah hingga memiliki ukuran dan bentuk beraturan untuk digunakan dalam konstruksi. Elemen seperti pondasi, atap, dan dinding berfungsi membatasi area serta menyokong struktur di atasnya. Dinding bangunan dapat dibuat dari batako, batu bata merah, atau bata ringan. Secara umum, masyarakat Indonesia memilih batu bata, batako, atau bata ringan karena harganya terjangkau dan mudah didapat di toko bahan bangunan (Kafrain, 2018).

Bata ringan merupakan material dinding modern yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan batako atau batu bata merah. Penggunaan bata konvensional cenderung menambah beban mati pada struktur, membutuhkan waktu pengerjaan lebih lama, dan meningkatkan biaya konstruksi. Bata ringan dirancang untuk mengurangi berat bangunan, mempercepat waktu pengerjaan, serta meningkatkan efisiensi struktur (Lukito, 2019).

Menurut Tata dkk. (2018), susunan bata konvensional membutuhkan mortar dalam jumlah besar sebagai perekat, sehingga pengerjaan menjadi lebih lambat dan berat struktur meningkat. Sebaliknya, penggunaan bata ringan memungkinkan pengerjaan dinding yang lebih cepat dan mengurangi beban total bangunan, terutama pada proyek bangunan tinggi (Hidayat, 2010). *Foam agent*, menurut Husin dan Setiaji (2008), adalah larutan surfaktan yang harus dilarutkan dengan air sebelum digunakan. *Foam agent* berfungsi membentuk gelembung udara dalam adukan semen, menciptakan pori-pori yang membuat bata ringan menjadi lebih ringan dan berinsulasi baik. Dalam penelitian ini, digunakan bahan pembusa seperti *Spectafoam*, HDM, dan Polimer.

Selain *foam agent*, *Skim coat* juga berperan penting. *Skim coat* adalah mortar halus berbahan semen, pasir halus, dan aditif, digunakan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan dinding sebelum finishing. *Skim coat* dapat pula dicampurkan dalam pembuatan bata ringan untuk meningkatkan fleksibilitas dan memberikan warna lebih cerah. Keunggulannya meliputi mencegah retak rambut, daya rekat tinggi, dan kemudahan aplikasi (DIN 18550). Secara teknis, berat bata ringan jauh lebih kecil dibanding bata merah. Bata merah memiliki berat sekitar 250 kg/m<sup>2</sup>, sedangkan bata ringan hanya 57,5 kg/m<sup>2</sup>—lebih ringan sekitar 4,34 kali lipat. Perbedaan ini menyebabkan penghematan beban struktur dan biaya proyek, terutama untuk *high-rise building* (Hidayat, 2010; Patah & Dasar, 2020).

Kabupaten Polewali, khususnya Kecamatan Mapilli, memiliki potensi material lokal berupa pasir sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus dalam pembuatan bata ringan. Pemanfaatan pasir Mapilli diharapkan menghasilkan bata ringan yang ekonomis, ramah lingkungan, dan berdaya saing (Tata dkk., 2018; Patah, dkk, 2021; Patah & Dasar, 2022). Penelitian mengenai *Dampak Variasi Skim coat dan Foam Agent 1/60 terhadap Produksi Bata Ringan* merupakan upaya terbaru untuk mengoptimalkan kombinasi bahan aditif modern dalam pembuatan bata ringan berbobot rendah dengan kekuatan struktural yang kompetitif. Studi sebelumnya lebih banyak membahas penggunaan pasir lokal dan karakteristik *foam agent* secara terpisah. Namun, integrasi *Skim coat* sebagai substitusi semen dalam kombinasi foam agent 1/60 masih sangat terbatas dalam literatur. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi kekuatan tekan, resistivitas listrik, serta efisiensi penggunaan pasir Mapilli sebagai agregat lokal, untuk menghasilkan bata ringan yang ekonomis, cepat pemasangannya, dan berdaya tahan terhadap korosi.

## METODE

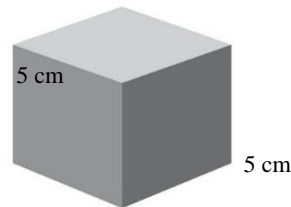
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat. Pasir pantai yang digunakan sebagai agregat halus berasal dari Kecamatan Mappili, Kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat. Bahan utama dalam pembuatan bata ringan meliputi pasir sungai, semen Portland (PCC), air tawar, *foaming agent* dengan perbandingan 1:60, serta aditif *skim coat* berbasis Aplus. Campuran tersebut dibuat dengan variasi berdasarkan proporsi penambahan *skim coat*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat. Agregat halus bersumber dari Kabupaten Polewali Kecamatan Mapilli, Provinsi Sulawesi Barat. Kemudian diuji kuat tekan, dan Uji *Electrical Resistivity* untuk mengetahui pengaruh penambahan *foam agent* dan *skim coat* terhadap bata ringan.

### *Benda Uji*

Benda uji yang dibuat berbentuk kubus dengan pembuatannya memakai cetakan kubus yang berukuran 5 cm x 5 cm sesuai standar untuk ukuran pengujian Kuat Tekan dan *Electrical Resistivity* di Laboratorium Universitas Sulawesi Barat. Untuk mengetahui kebutuhan material dan banyaknya sampel yang akan digunakan, maka cetakan dihitung terlebih dahulu volumenya. Variasi campuran ditentukan berdasarkan persentase substitusi semen PCC dengan bahan Aplus, yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Tabel 1 menyajikan jumlah spesimen yang digunakan pada setiap variasi campuran untuk masing-masing jenis pengujian. Berdasarkan rincian tabel 1, benda uji dalam penelitian menggunakan pencampuran *Foam Agent* (**FO**), dengan material Penyusun Aplus (**AP**), air tawar (**TW**), dan pasir Mapilli (**PM**). Dimensi dari benda uji yang digunakan ditampilkan pada Gambar 1.

**Tabel 1. Jumlah Benda Uji**

Kode	Uji Kuat Tekan		Uji Electrical Resistivity
	28 Hari	91 Hari	91 Hari
FO60-PM-TW-AP0	3	3	1
FO60-PM-TW-AP25	3	3	1
FO60-PM-TW-AP50	3	3	1
FO60-PM-TW-AP75	3	3	1
FO60-PM-TW-AP100	3	3	1
Total Benda Uji	15	15	5

**Gambar 1. Bentuk dan ukuran Bata ringan**

Komposisi campuran ditetapkan berdasarkan volume cetakan serta proporsi bahan yang telah dirancang sebelumnya. Seluruh variasi campuran menggunakan rasio *foaming agent* yang konstan, yaitu 1:60. Tabel 2 menyajikan detail kebutuhan material per cetakan untuk tiap variasi, dengan keterangan sebagai berikut: FAS adalah Faktor Air-Semen; W menunjukkan jumlah air (kg); PCC merujuk pada Semen Portland Komposit (kg); APLUS adalah material *skim coat* Aplus (kg); dan Pasir Sungai Mappili (Kg).

**Tabel 2 Kebutuhan Material per-cetakan**

Kode Sampel	FAS	W	Berat, Kg					Pasir Sungai	Foam 60 liter
			PCC 100%	25%	APLUS		100%		
					50%	75%			
FO60-PM-TW-AP0	40	1.160	2.900	-	-	-	-	6.157	0.019
FO60-PM-TW-AP25	40	1.160	2.175	0.725	-	-	-	6.333	0.019
FO60-PM-TW-AP50	40	1.160	1.450	-	1.450	-	-	6.110	0.019
FO60-PM-TW-AP75	40	1.160	0.725	-	-	2.175	-	6.086	0.019
FO60-PM-TW-AP100	40	1.160	0.000	-	-	-	2.900	6.063	0.019

Tabel tersebut menunjukkan kebutuhan material untuk setiap sampel, dengan komponen FAS yang digunakan secara konsisten sebanyak 40 % pada semua sampel. Bahan W bervariasi, dengan jumlah tertinggi pada sampel **FO60-PM-TW-AP0** (2.900 kg) dan tidak ada pada **FO60-PM-TW-AP100**. Variasi material pada setiap sampel menggambarkan pengaruh dari perubahan persentase penggunaan bahan utama pada setiap formulasi. Tahapan pembuatan benda uji mencakup proses pencampuran bahan, pengecoran ke dalam cetakan, pemadatan, perawatan (*curing*), serta pengujian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Proses Pembuatan pencetakan dan perawatan benda uji: Mixing, pencetakan, pematatan, proses pengujian**

**Tahap Pengujian**

*Uji Kuat Tekan*

Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan pada usia 28 hari dan 91 hari untuk menilai performa kekuatan struktural material. Uji ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana material mampu menahan beban tekan hingga mengalami kegagalan. Berdasarkan ASTM C39 dan juga SNI 1974:2011, 28 hari dijadikan acuan karena Pada umur ini, beton umumnya telah mencapai 90–95% kekuatan maksimumnya, Proses hidrasi semen dianggap cukup stabil dan representatif untuk kinerja jangka panjang beton. Sementara untuk usia 91 hari 1 hari sering digunakan untuk beton mutu tinggi atau khusus dan beton dengan reaksi lambat (*slow hydration*) yang mengandung bahan tambahan, hal ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti yaitu Wibowo & Handayani, 2021; Yusuf & Siregar, 2022; Golewski, 2022).

Nilai kuat tekan ( $\sigma$ ) dihitung sebagai rasio antara beban maksimum (P) dengan luas penampang benda uji (A), mengacu pada standar ASTM C869-91 (1999), dan dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa). Menurut ketentuan dalam SNI 2094-2000, kuat tekan bata dikelompokkan ke dalam tiga kelas mutu, yaitu Kelas 50, Kelas 100, dan Kelas 150, yang diklasifikasikan berdasarkan besarnya tegangan tekan yang dapat ditahan oleh material tersebut. Persamaan kuat tekan berdasarkan ASTM C 869-91 (1999)

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

$\sigma$  : Tekanan (Mpa)

P : Beban Maksimum (k/N)

A : Luas Bidang Permukaan (mm<sup>2</sup>)

*Electrical Resistivity*

Prinsip dan teori dasar metode survei resistivitas tanah, variasi resistivitas listrik dalam fungsi dari properti tanah, piranti-piranti listrik untuk survei satu, dua, dan tiga dimensi, interpretasi data serta kelebihan dan keterbatasan metode survei resistivitas tanah. Pada salah satu penelitiannya yang membahas tentang variasi resistivitas listrik dalam fungsi dari properti-properti tanah menyatakan bahwa nilai resistivitas turun seiring dengan naiknya kandungan air, konduktivitas air dan naiknya temperatur (Samouëlian et al., 2005). Pengujian pada umur 91 hari dilakukan untuk menilai kemampuan material dalam menahan penetrasi ion serta memprediksi potensi daya tahan (durabilitas) jangka panjang. Uji resistivitas listrik bertujuan untuk mengetahui sejauh mana material mampu menahan aliran arus listrik, yang berkaitan erat dengan

tingkat porositas, konsentrasi ion, dan potensi ketahanannya terhadap korosi. Besarnya resistivitas dipengaruhi oleh kadar kelembaban, tingkat konduktivitas elektrolit, suhu, serta proporsi bahan pengikat dalam campuran.

$$\rho = \frac{R.A}{L} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- ρ = Resistivitas bahan (Ω/m)
- R = Resistansi (Ω)
- A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)
- L = Panjang (m)

Hubungan antara nilai resistivitas dengan resiko korosi dapat dilihat pada tabel 3.

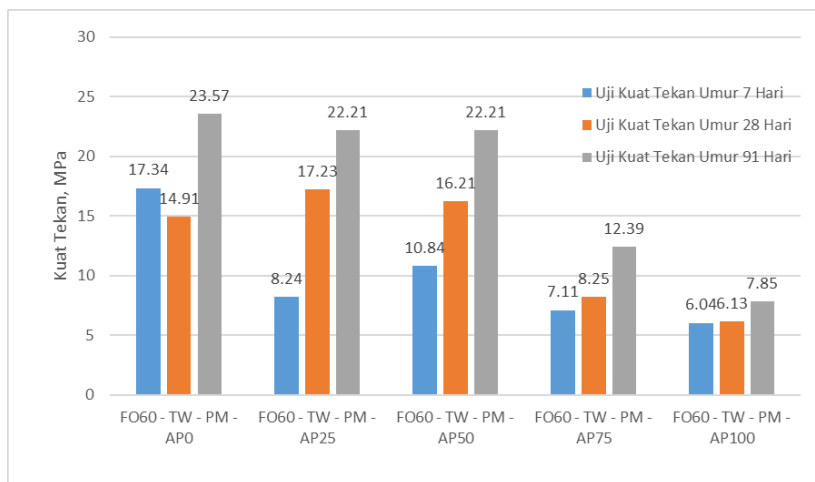
**Tabel 3. Hubungan antara Resistivity dan Resiko korosi**

Resistivitas (KΩ-cm)	Tingkat Resiko Korosi
>100 – 200	<i>Very Low</i> (Sangat rendah, bahkan jika terkontaminasi klorida)
50 – 100	<i>Low</i> (Rendah)
10 – 50	<i>Moderate</i> (Sedang hingga tinggi)
< 10	<i>High</i> (Tinggi, Resistivitas tidak lagi menjadi parameter pengontrol utama)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kuat Tekan**

Berikut adalah uji kuat tekan Umur 7, 28 dan 91 Hari. Dapat dilihat lebih jelas perbandingan kuat tekan bata ringan Umur 7, 28 dan 91 hari pada gambar 3.



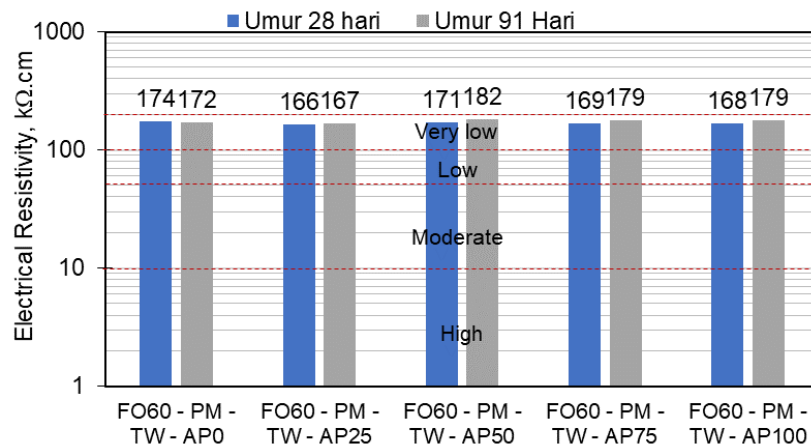
**Gambar 3. Perbandingan hasil kuat tekan bata ringan umur 7, 28 dan 91 hari**

Secara keseluruhan, semua variasi menunjukkan peningkatan kuat tekan seiring pertambahan umur beton, mencerminkan proses hidrasi semen yang terus berlangsung hingga mencapai usia 91 hari. Meski demikian, terdapat penurunan kuat tekan yang cukup signifikan seiring bertambahnya proporsi penggantian semen PCC dengan material Aplus. Sebagai contoh, pada variasi AP100 (penggantian penuh), kuat tekan hanya mencapai 7,85 MPa di usia 91 hari, jauh lebih rendah dibandingkan 23,57 MPa pada variasi AP0. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh sifat Aplus yang tidak mengandung bahan semen aktif setara PCC, sehingga jumlah produk hidrasi yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Meskipun demikian, penggunaan Aplus dalam jumlah sedang (AP25–AP50) masih mampu menghasilkan kuat tekan di atas 13 MPa pada umur 91 hari, yang memenuhi syarat kelas mutu bata ringan sesuai SNI 2094-2000 (kelas 100).

Hasil ini konsisten dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan aditif seperti Aplus dapat berdampak terhadap penurunan kuat tekan beton ringan. Penggunaan material alternatif sebagai pengganti agregat kasar juga diketahui dapat mengurangi kekuatan tekan beton ringan (Wang et al., 2021).

### Uji *Electrical Resistivity*

Adapun untuk Rekapitulasi *Electrical Resistivity* bata ringan dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4** Gabungan Uji *Electrical Resistivity* Umur 28 dan 91 hari

Gambar 4 menampilkan hasil uji resistivitas listrik pada usia 28 dan 91 hari untuk berbagai tingkat penambahan Aplus dalam campuran bata ringan. Seluruh sampel menunjukkan nilai resistivitas dalam kisaran 169 kΩ·cm hingga 179 kΩ·cm, yang umumnya dikategorikan sebagai risiko korosi sangat rendah berdasarkan klasifikasi tabel 3. Nilai resistivitas kategori sangat rendah diperoleh pada variasi FO60-PM-TW-AP0 dengan 172 kΩ·cm pada usia 91 hari, sementara nilai terendah tercatat pada variasi AP100, yakni sebesar 179 kΩ·cm. Walaupun terdapat sedikit variasi antar komposisi, secara umum nilai resistivitas tetap stabil, bahkan pada campuran dengan tingkat penggantian semen yang tinggi seperti AP100 (179 kΩ·cm). Hal ini mengindikasikan bahwa substitusi sebagian semen PCC dengan Aplus tidak memberikan dampak signifikan terhadap penurunan resistivitas listrik pada bata ringan yang diuji.

### *Analisis antara Kuat Tekan dan Electrical Resistivity*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan tidak langsung antara kuat tekan dan resistivitas listrik pada bata ringan dengan variasi substitusi semen PCC oleh material Aplus. Variasi tanpa Aplus (AP0) mencatat kuat tekan tertinggi sebesar 23,57 MPa pada umur 91 hari, dengan resistivitas sebesar 172 kΩ·cm. Sebaliknya, pada variasi penggantian penuh (AP100), kuat tekan menurun signifikan menjadi 7,85 MPa, namun resistivitas justru sedikit meningkat menjadi 179 kΩ·cm. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun kekuatan mekanik menurun karena berkurangnya produk hidrasi akibat minimnya kandungan semen aktif, struktur mikro pori tetap terjaga sehingga resistivitas tetap tinggi.

Secara umum, nilai resistivitas seluruh sampel berada dalam kategori “*very low corrosion risk*” (>100–200 kΩ·cm), menunjukkan bahwa penggunaan Aplus tidak memperburuk ketahanan terhadap korosi. Stabilitas resistivitas ini kemungkinan didukung oleh *foaming agent* yang membentuk struktur pori homogen dan sifat kimia Aplus yang inert, sehingga tidak menambah kadar ion bebas secara signifikan. Dengan demikian, meskipun tidak terdapat korelasi linier antara kuat tekan dan resistivitas, kombinasi Aplus dalam jumlah sedang (AP25–AP50) mampu menjaga keseimbangan antara performa struktural dan ketahanan terhadap korosi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi Aplus sebagai substitusi semen PCC memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan bata ringan, namun tidak secara langsung menurunkan nilai resistivitas listrik. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran tanpa Aplus (AP0), yaitu sebesar 23,57 MPa pada umur 91 hari. Sebaliknya, kuat tekan terendah tercatat pada variasi AP100 sebesar 7,85 MPa. Penurunan

kekuatan ini disebabkan oleh minimnya kandungan semen aktif dalam Aplus yang berdampak pada terbatasnya produk hidrasi yang terbentuk. Sementara itu, seluruh variasi campuran menunjukkan nilai resistivitas listrik yang berada dalam kategori “*very low corrosion risk*” ( $>100 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ ), bahkan pada variasi dengan penggantian penuh Aplus. Hal ini menunjukkan bahwa resistivitas listrik lebih dipengaruhi oleh kestabilan struktur pori, kadar ion bebas, serta distribusi kelembapan, yang tidak terganggu secara signifikan oleh keberadaan Aplus. Oleh karena itu, campuran dengan substitusi Aplus sedang (AP25–AP50) direkomendasikan karena mampu mempertahankan kekuatan tekan di atas 13 MPa sekaligus menjaga resistivitas listrik dalam batas aman terhadap risiko korosi.

## REFERENSI

- ASTM C150/C150M. (2019). *Astm C 150. ASTM C 150/ C150M-15 Standard Specification for Portland Cement, i*, 1–9. <https://doi.org/10.1520/C0150>.
- ASTM C33/C33M – 13. (2010). *Concrete Aggregates 1. i(C)*, 1–11.
- ASTM C20 (2000). *Metode Uji Standar Untuk Porositas Nyata, Penyerapan Air, Spesifik Nyata Gravitasi, dan Kepadatan Massal Bata Tahan Api Yang Terbakar Dan Terbentuk Dengan Air Mendidih.*
- DIN 18550. (n.d.). *Plastering work—Part 1: Requirements, testing*. Deutsches Institut für Normung.
- Golewski, G. L. (2022). *Prediction of Mechanical and Durability Characteristics of Concrete Incorporating Slag and Silica Fume*. *Construction and Building Materials*, 327, 127038. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127038>.
- Hidayat, A. (2010). *Pengaruh Penggunaan Bata Ringan Terhadap Efisiensi Struktur Bangunan*. Jakarta: Penerbit Teknik Sipil Nusantara.
- Husin, H., & Setiaji, H. (2008). *Studi Karakteristik Foam Agent terhadap Sifat Fisik Bata Ringan*. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 123–130.
- Kafrain, M. (2018). *Perbandingan Kinerja Bata Merah, Batako, dan Bata Ringan sebagai Material Dinding*. *Jurnal Riset Konstruksi*, 6(1), 33–41.
- Lukito, A. (2019). *Bata Ringan sebagai Solusi Material Bangunan Modern*. Surabaya: Penerbit Teknik Arsitektur.
- Patah, A., & Dasar, M. (2020). *Analisis Efisiensi Biaya Konstruksi Menggunakan Bata Ringan pada Bangunan Bertingkat*. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(3), 77–85.
- Patah, A., Dasar, M., & Rauf, M. (2021). *Pemanfaatan Pasir Sungai Mapilli sebagai Agregat Halus dalam Produksi Bata Ringan*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 4(1), 45–50.
- Patah, A., & Dasar, M. (2022). *Kinerja Bata Ringan Berbasis Material Lokal untuk Aplikasi Bangunan Ekonomis dan Ramah Lingkungan*. *Jurnal Teknologi Konstruksi*, 10(2), 56–62.
- Robles, R., Medina, C., & Frías, M. (2020). *Effect of Recycled Materials on Electrical Resistivity and Durability of Lightweight Concrete*. *Construction and Building Materials*, 250, 118843. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118843>.
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., & Richard, G. (2005). *Electrical resistivity survey in soil science: A review*. *Soil and Tillage Research*, 83(2), 173–193. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>.
- SNI 2094:2000. (2000). *Spesifikasi Bata Beton Ringan (Lightweight Concrete Block)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Tata, H., Nugroho, A., & Sahar, A. (2018). *Pengaruh Substitusi Agregat Halus Lokal terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis Bata Ringan*. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 15–21.

- Wang, H., Li, Y., & Zhang, M. (2021). *Influence of Lightweight Aggregate Substitution on Compressive Strength of Concrete*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(4), 04021012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003681](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003681).
- Wibowo, H., & Handayani, R. (2021). *Pengaruh Pemakaian Fly Ash sebagai Cementitious pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kuat Tekan Beton Umur 28–91 Hari*. Institut Teknologi Nasional Malang. <https://eprints.itn.ac.id/5270/2>.
- Yusuf, A., & Siregar, R. (2022). *Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Kombinasi Abu Batu dan Fly Ash*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Borobudur*, 8(2), 45–53. <https://ejournal.borobudur.ac.id/index.php/teknik/article/view/1193>.