

KINERJA AKUSTIK DAN TERMAL DINDING BATA GEOPOLYMER CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (GCLC)

*Abito Bamban Yuuwono¹, Febrione Putri Rakhmanty², Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta (UTP), Surakarta

*) Email: bamban.yuwono@gmail.com

ABSTRACT

The rapid growth of the construction industry in Indonesia has led to a surge in cement production, a process that is energy-intensive and releases significant amounts of CO₂. To mitigate the environmental impact of cement, geopolymer materials have emerged as a sustainable alternative. Given their role as spatial dividers, walls play a crucial role in a building's thermal and acoustic performance. Effective thermal performance can reduce the energy consumption required for air conditioning, while good acoustic performance enhances occupant comfort. This study compared the thermal and acoustic performance of lightweight concrete bricks (using cement as the primary material) with geopolymer bricks (utilizing fly ash). Two simulated rooms with distinct wall materials were constructed, and their temperature and acoustic properties were simultaneously measured. The thermal testing revealed that geopolymer bricks exhibited superior acoustic performance compared to lightweight bricks. Acoustic testing indicated that both brick types performed well acoustically. However, the acoustic performance of lightweight bricks peaked in hot weather, while geopolymer bricks demonstrated better acoustic performance at lower temperatures.

Keyword: Geopolymer; CLC; Thermal; Acoustic.

ABSTRAK

Pembangunan konstruksi di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat, hal ini berpengaruh pada meningkatnya produksi semen yang memerlukan banyak energi dan melepaskan CO₂ dalam jumlah besar. Dalam upaya mengurangi dampak semen terhadap lingkungan, material geopolimer menjadi alternatif ramah lingkungan. Dinding yang memiliki fungsi sebagai pembatas antar ruang pada bangunan juga memiliki peran yang penting pada kinerja termal dan akustik bangunan. Kinerja termal yang baik pada bangunan dapat mengurangi konsumsi listrik yang digunakan untuk penghawaan buatan, sementara kinerja akustik yang baik dapat meningkatkan kenyamanan penghuni. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan kinerja termal dan akustik antara bata ringan berbahan utama semen dengan bata geopolimer yang memanfaatkan abu sisa pembakaran sebagai bahan penyusunnya. Penelitian dilakukan dengan membuat dua ruang simulasi dengan material dinding yang berbeda kemudian diukur temperatur dan kinerja akustiknya secara simultan. Dari hasil pengujian termal disimpulkan bahwa bata geopolimer memiliki kinerja akustik yang lebih baik dibandingkan dengan bata ringan, sedangkan hasil pengujian akustik menunjukkan bahwa kedua jenis bata memiliki kinerja akustik yang baik. Kinerja akustik bata ringan akan maksimal pada cuaca panas, sedangkan kinerja akustik bata geopolimer justru lebih baik pada suhu lebih rendah.

Kata kunci: Geopolimer; CLC; Termal; Akustik.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan konstruksi di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat, dan pertumbuhan penduduk menjadi salah satu pendorong pembangunan. Pertumbuhan penduduk diiringi dengan kebutuhan ketersediaan tempat tinggal yang layak dan memenuhi aspek teknis. Hal ini berpengaruh pada meningkatnya kebutuhan material konstruksi bangunan dan mendorong pemenuhan bahan-bahan lainnya. Salah satu bahan bangunan yang memiliki porsi besar dalam konstruksi adalah semen. Produksi semen memerlukan banyak energi dan melepaskan CO₂ dalam jumlah besar, sehingga berdampak buruk terhadap lingkungan [9] [15].

Dalam upaya mengurangi dampak semen terhadap lingkungan, material geopolimer menjadi alternatif ramah lingkungan dibandingkan semen Portland Biasa (OPC). Beton geopolimer (GPC) dikategorikan sebagai pengikat yang diaktifkan alkali, dan produksinya memerlukan dua kelompok bahan penting yang kaya akan alumina dan silika, dan alkali pengaktif untuk bahan tersebut.

Reaksi polimerisasi, sumber umum untuk sintesis geopolimer meliputi kaolinit, abu terbang, abu sekam padi, terak, dan asap silika [3]. Geopolimer membutuhkan energi sekitar 60% lebih sedikit untuk pembuatannya jika dibandingkan dengan OPC dan menunjukkan perilaku mekanik, fisik, kimia dan termal yang sangat baik [15] [12]. Pembuatan beton geopolimer berbasis fly ash tipe C (tinggi kalsium) dapat dilakukan pada temperature ruangan dan menghasilkan kuat tekan sebanding beton dari proses hidrasi semen [4].

Dinding yang memiliki fungsi sebagai pembatas antar ruang pada bangunan juga memiliki peran yang penting pada kinerja termal dan akustik bangunan. Kinerja termal pada suatu bangunan yang tinggi diharapkan dapat mengurangi konsumsi energi (listrik) untuk pendinginan ruangan [11] [7] [8]. Begitu juga pada kinerja akustik yang tinggi pada ruangan mampu meningkatkan kualitas ruangan bagi penghuni untuk tidak terganggu akibat

polusi suara. Sifat termal bangunan dipengaruhi oleh material yang digunakan pada dinding. Konduktivitas termal setiap material dinding diukur berdasarkan kemampuan material dalam menyerap dan mengalirkan panas [14]. Sebagai contoh bata beton, panel, bata tanah liat dan lain-lain, yang digunakan sebagai bahan dinding memiliki sifat termal berbeda sesuai dengan kepadatan dari material. Studi kenyamanan termal melalui simulasi model computer pada material batako, bata dan bata ringan menunjukkan karakteristik termal yang tidak berbeda jauh, dibandingkan dinding menggunakan kayu yang mudah menyerap panas [2].

Pemanfaatan bata ringan sebagai material dinding, memiliki beberapa keuntungan dari segi biaya, efektifitas pekerjaan dan pengaruh pada struktur utama bangunan [6]. Dengan dimensi yang lebih besar dan ringan, dinding bata ringan memiliki kemudahan pada pemasangan sehingga pembuatan dinding dilakukan dengan cepat serta menurunkan biaya pekerjaan pasangan dinding. Karena memiliki berat yang ringan dan kekuatan yang sama dengan batu bata tanah liat, maka elemen struktur bangunan yang menggunakan bata ringan lebih memiliki ukuran atau dimensi yang lebih optimal [13].

Penelitian ini memiliki urgensi pada penggunaan material konstruksi khususnya bata ringan untuk dinding yang ramah lingkungan dan memiliki sifat termal lebih unggul. Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC) mampu mendukung pembangunan gedung bertingkat dan perumahan pada proyek Ibu Kota Negara di pulau Kalimantan yang memiliki suhu udara yang cukup panas dan diharapkan penggunaan GCLC mampu mengurangi penggunaan energi untuk pendingin ruangan.

Berdasarkan hal diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah (1)Bagaimana kinerja termal dinding Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC); (2)Bagaimana kinerja akustik Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC); (3)Bagaimana teknik pembuatan Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC).

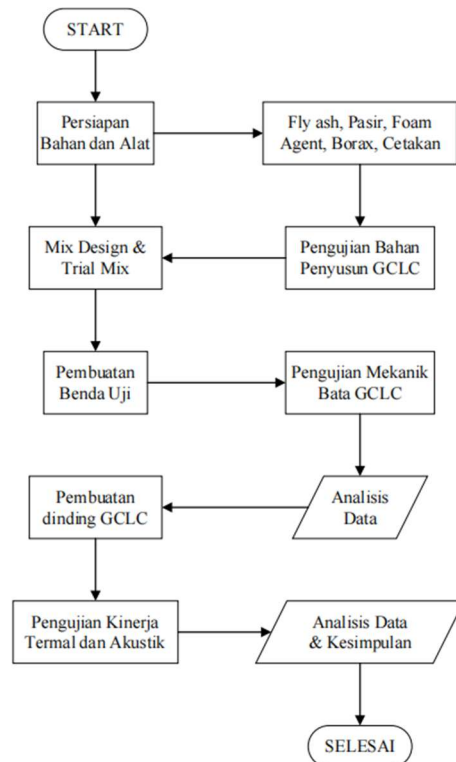
2. METODE

Eksperimen dilakukan dengan tahapan berikut:

- Tahap 1: pengujian sifat bahan penyusun Geopolymer Cellular Lightweight Concrete (GCLC). Pengujian sifat bahan penyusun geopolymer yaitu fly ash, pasir dan foam. Sifat bahan penyusun ini nantinya digunakan dalam penentuan rancangan campuran GCLC.
- Tahap 2: pengujian fisis dan mekanik GCLC dilakukan dengan pengujian kuat tekan. Pembuatan benda uji dinding dilakukan dengan menggunakan variabel GCLC yang memiliki kuat tekan tertinggi dan ringan. Pembuatan benda uji dinding dilakukan dengan menggunakan variabel GCLC yang memiliki kuat tekan tertinggi dan ringan.

Penelitian ini meninjau beberapa aspek, yaitu kuat tekan, kinerja termal dan akustik. Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka dibuat beberapa variasi sebagai berikut:

- Variasi bebas, yaitu prosentase foam agent.
- Variasi terikat, yaitu pengujian kuat tekan, kinerja termal dan kinerja akustik.



Gambar 1. Bagan Alir Rencana Penelitian

Tahapan pembuatan, perawatan dan pengujian

a. Pembuatan

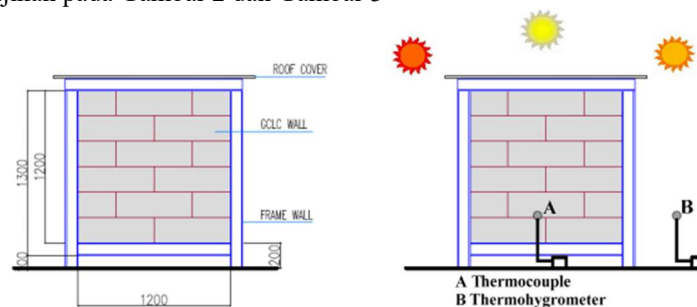
- 1) Pasir disiapkan dengan cara menyaring lolos saringan no.4,8.
- 2) Menimbang bahan-bahan yang diperlukan.
- 3) Mencampurkan larutan alkali (sodium hidroksida dan sodium silikat) dengan borax.
- 4) Mencampurkan pasir dan fly ash, lalu di aduk.
- 5) Menambahkan larutan alkali kedalam campuran.
- 6) Menambahkan foam agent yang telah diproses menjadi busa.
- 7) Aduk sampai homogen.
- 8) Cetak adukan kedalam kubus beton dan cetakan bata.

b. Perawatan

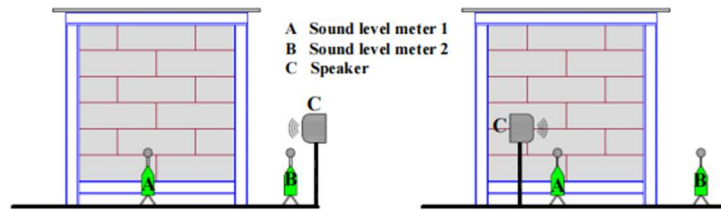
Perawatan benda uji GCLC dilakukan dengan cara disimpan dalam ruangan dan ditutup dengan plastik.

c. Pembuatan dan pengujian benda uji dinding GCLC.

- 1) Siapkan frame support dinding.
- 2) Pasang bata GCLC sesuai setting pengujian kinerja akustik dan termal. Setting benda uji dinding disajikan pada Gambar 2.
- 3) Pengujian kinerja termal dan akustik dilakukan dengan interval waktu setiap 2 jam (07.00 – 17.00).
- 4) Pengujian kinerja termal dan akustik dicatat pada semua kondisi cuaca (hujan dan panas). Pengujian termal dan akustik disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3



Gambar 2. Setting Pengujian Termal



Gambar 3. Setting Pengujian Akustik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kinerja Termal

Kinerja termal diukur melalui pembacaan grafik hasil komparasi pengukuran benda uji melalui 3 instrumen sebagai berikut:

1) *Time Laga* (Laju perambatan panas)

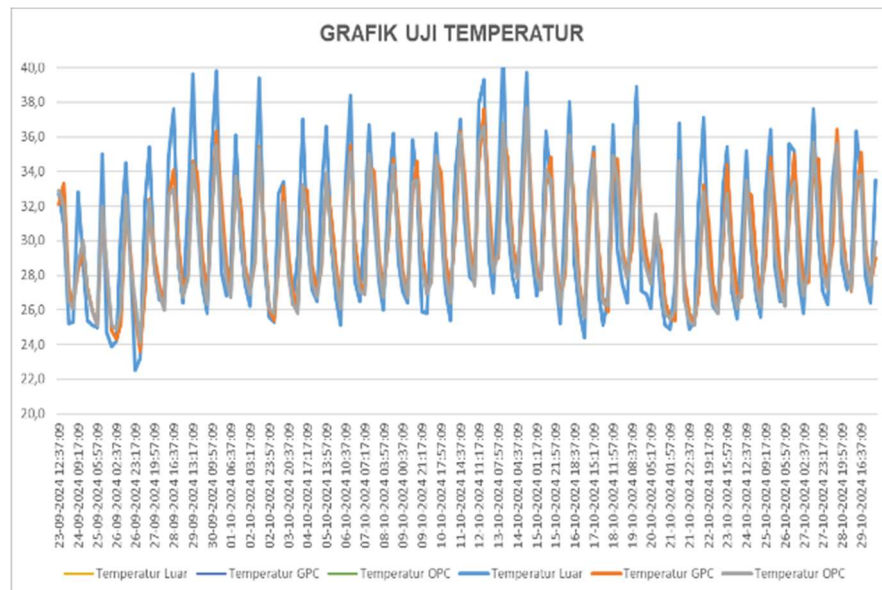
Diukur berdasarkan lama waktu yang dibutuhkan untuk proses perambatan panas dari sisi luar dinding hingga sisi dalam dinding benda uji. Berdasarkan Grafik Uji Temperatur terlihat bahwa baik dinding bata geopolimer maupun dinding bata ringan secara konsisten memiliki time lage dan karakteristik perambatan panas yang hampir sama dimana pola pemanasan yang hamper mirip dimana mulai pukul 06.00 – 14.00 temperatur sisi luar dinding benda uji dan temperatur sisi dalam dinding benda uji mengalami peningkatan temperatur secara bertahap sesuai peningkatan paparan pemanasan dari sinar matahari sehingga tercapai temperatur sisi dalam dan sisi luar dinding benda uji dengan tingkat suhu yang sama yang rata-rata dicapai antara pukul 13:00 – 14:00 (setelah paparan pemanasan sinar matahari selama 6 - 7 jam)

2) Kemampuan menahan panas

Adalah seberapa besar kemampuan dinding untuk menahan panas dari luar bangunan ke dalam bangunan. Berdasarkan Grafik Uji Temperatur terlihat pada tahap dimulainya pemanasan dari sinar matahari mulai jam 06:00 – 14:00 temperatur lingkungan luar benda uji berangsur naik sementara temperatur dalam ruang benda uji dinding geopolimer maupun benda uji dinding bata ringan biasa secara konsisten sama-sama mengalami kenaikan temperature, namun jika dicermati lebih detail maka kenaikan temperatur pada benda uji dinding bata geopolimer terjadi lebih lambat jika dibandingkan pada kenaikan temperature ruang pada benda uji dinding bata ringan biasa, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan menahan panas dinding bata geopolimer lebih baik jika dibandingkan dinding bata ringan biasa.

3) Kemampuan melepas panas

Adalah kemampuan dinding dalam menahan pelepasan panas dari dalam bangunan ke luar bangunan. Berdasarkan Grafik Uji Temperatur terlihat mulai pukul 16.00 – 06.00 terjadi penurunan temperature ruang luar secara berangsur hingga malam & pagi hari hal ini diikuti dengan penurunan temperature dalam benda uji dinding bata geopolimer maupun benda uji dinding bata ringan biasa namun terdapat inkonsistensi dimana pada hari-hari awal pengujian temperature ruang pada benda uji dinding bata geopolimer sedikit lebih rendah dibanding temperatur ruang pada benda uji dinding bata ringan biasa, namun memasuki minggu ke 2-4 temperature ruang pada benda uji dinding bata geopolimer cenderung sedikit lebih tinggi dibanding temperature ruang pada benda uji dinding bata ringan biasa, hal ini menunjukkan bahwa dinding bata ringan biasa memiliki kinerja dalam melepas panas secara lebih baik dibanding dinding bata geopolimer meskipun selisihnya sangat kecil, dengan adanya perubahan kinerja pelepasan panas dari minggu 1 ke minggu ke 2 - 4 ini maka diperlukan pengujian lebih lanjut terkait kinerja pelepasan panas dinding bata geopolimer berdasarkan durasi waktu pengujian yang lebih lama.



Gambar 4. Grafik Uji Temperatur

b. Kinerja Akustik

Kinerja akustik diukur berdasarkan kemampuan dinding dalam menurunkan intensitas suara (mengisolasi suara). Berdasarkan data pengukuran di Tabel Pengukuran Akustik dan Grafik Pengukuran Akustik didapatkan bahwa baik bata geopolimer maupun bata ringan sama-sama mampu menurunkan intensitas suara dengan baik, dengan tingkat penurunan dari sumber suara rata-rata sekitar 100 DB menjadi rata-rata sebesar 78 DB, dengan rata-rata penurunan intensitas suara dari sumber adalah 22 DB. Hal ini berarti baik dinding bata geopolimer maupun dinding bata ringan memiliki tingkat penyerapan suara yang baik.

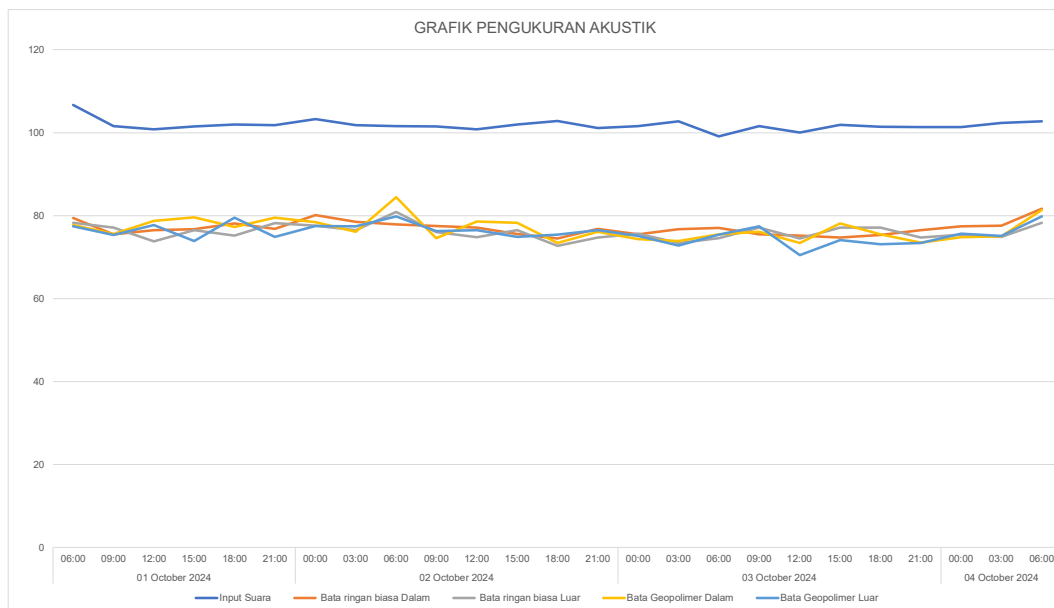
Tabel 1. Hasil Uji Akustik

Tanggal	Jam	Input Suara	Bata Ringan Biasa		Bata Geopolimer	
			Dalam	Luar	Dalam	Luar
01 Oktober 2024	06:00	106,7	79,4	78,3	77,7	77,4
	09:00	101,6	75,5	77,1	75,6	75,3
	12:00	100,8	76,5	73,8	78,7	77,7
	15:00	101,5	76,7	76,5	79,6	73,9
	18:00	102	78,1	75,2	77,3	79,5
	21:00	101,8	76,8	78,2	79,5	74,9
02 Oktober 2024	00:00	103,3	80,1	77,6	78,4	77,5
	03:00	101,8	78,5	76,5	76,1	77,4
	06:00	101,6	77,9	80,9	84,4	79,8
	09:00	101,5	77,5	76	74,6	76,3
	12:00	100,8	77,1	74,8	78,6	76,5
	15:00	102	75,6	76,5	78,3	74,9
	18:00	102,8	74,5	72,7	73,4	75,4
03 Oktober 2024	21:00	101,1	76,8	74,7	76,1	76,5
	00:00	101,6	75,5	75,7	74,3	75,1
	03:00	102,7	76,7	73,4	73,9	72,8
	06:00	99,1	77	74,6	75,5	75,4
	09:00	101,6	75,5	77,1	76,1	77,4
	12:00	100	75,2	74,5	73,4	70,5
	15:00	101,9	74,7	77,1	78,1	74,1
04 Oktober 2024	18:00	101,4	75,3	77,1	75,5	73,1
	21:00	101,3	76,5	74,7	73,5	73,4
	00:00	101,3	77,4	75,4	74,8	75,7
	03:00	102,3	77,6	74,9	75	75,1
	06:00	102,7	81,7	78,3	81,4	79,8

(Sumber: Analisa Peneliti, 2024)

Apabila dicermati lebih dalam hasil pengukuran pada kedua benda uji dan komparasikan secara langsung maka kinerja akustik geopolimer cenderung bekerja lebih baik pada waktu sore, malam, hingga pagi hari dimana mampu menurunkan intensitas suara dari dalam ruangan dan luar ruangan terbesar 5.5 DB dan penurunan terendah 0.1 DB, sementara kinerja dinding bata ringan biasa memiliki kecenderungan kinerja akustik yang lebih baik pada saat siang hari, dimana penurunan intensitas suara tertinggi sebesar 3.4 DB dan penurunan intensitas suara terendah sebesar 0.2 DB.

Berdasarkan Grafik Pengukuran Akustik terlihat bahwa pada saat cuaca dingin, dinding geopolimer memiliki kecenderungan kinerja akustik yang lebih baik di bandingkan dinding bata ringan biasa, namun pada saat cuaca panas dinding bata ringan biasa memiliki kecenderungan kinerja akustik yang lebih baik dibandingkan dinding bata geopolimer, sehingga perlu diteliti lebih lanjut pengaruh temperatur terhadap kinerja akustik bata geopolimer.



Gambar 5. Grafik Uji Temperatur

4. KESIMPULAN

a. Kinerja Termal

- *Time Lag*/ proses perambatan panas pada dinding bata geopolimer sedikit lebih lambat (lebih baik) jika dibandingkan dengan time lag dinding bata ringan biasa meskipun perbedaannya tidak signifikan, hal ini terlihat secara konsisten pada grafik hasil uji pengukuran dimana mulai pukul 06:00 – 14:00 sisi dalam dinding bata geopolimer memiliki rata-rata temperatur yang lebih rendah dibandingkan sisi dalam dinding bata ringan biasa.
- Kemampuan menahan panas dinding bata geopolimer lebih baik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik Pengukuran Temperatur, dimana penurunan temperatur dalam benda uji yang menunjukkan konsistensi selalu lebih rendah daripada temperatur luar ruangan dimana selisih temperature terbesar adalah 5.2°C lebih rendah daripada temperatur luar ruangan, sedangkan penurunan temperatur pada dinding bata ringan terbesar adalah 4.4°C.
- Kemampuan penurunan temperatur dinding geopolimer secara konsisten lebih baik dibandingkan dinding bata ringan biasa hal ini terlihat pada Gambar 4. Grafik Pengukuran Temperatur. Diperoleh hasil pada saat temperatur luar ruangan mencapai titik tertinggi maka penurunan temperatur pada benda uji dinding geopolimer 0.8 derajat lebih rendah (lebih baik) jika dibandingkan penurunan temperatur pada dinding bata ringan biasa.
- Kemampuan pelepasan panas dinding bata Geopolimer pada minggu pertama pengujian sedikit lebih baik dibandingkan dinding bata ringan biasa hal ini terlihat pada grafik dimana Pada saat terjadinya puncak akumulasi pemanasan antara pukul 13:00-15:00 kemudian berangsur menurun mulai pukul 16:00-06:00

maka tingkat temperatur pada kedua benda uji berubah menjadi proses pelepasan panas hal ini ditandai dengan proses penurunan temperatur luar ruangan yang terus menurun secara berangsur, dimana pada temperatur ruang luar terendah 22.5°C maka temperatur terendah pada benda uji dinding bata geopolimer mencapai 23.6°C sementara tempertur terendah pada benda uji dinding bata ringan sebesar 24.1°C, namun setelah proses pengujian memasuki minggu ke-2 hingga minggu ke-4 kemampuan pelepasan panas menjadi berubah ubah dimana dinding bata ringan biasa kadang-kadang memiliki kinerja pelepasan panas yang lebih baik dibandingkan dinding bata geopolimer dimana kondisi ini sering berubah-ubah saling bergantian, sehingga perlu diteliti lebih lanjut terkait durasi waktu pengujian dan kelembaban lingkungan terhadap kinerja pelepasan panas dinding bata geopolimer.

- Pada minggu 1 pengujian kemampuan pelepasan panas dinding geopolimer rata-rata sekitar 0.5° lebih baik daripada dinding bata ringan biasa. Hal ini terlihat pada Gambar 4. Grafik Pengukuran Temperatur, saat kondisi temperatur luar ruangan mencapai titik terendah, namun pada minggu ke-2 hingga minggu ke-4 terjadi inkonsistensi kemampuan pelepasan panas dimana antara ke dua benda uji saling bergantian memiliki kinerja yang lebih baik.

b. Kinerja Akustik

Melihat hasil penurunan intensitas suara antara bata ringan dengan geopolimer dapat disimpulkan bahwa keduanya memiliki tingkat penyerapan suara yang sama baiknya. Kinerja akustik bata ringan cenderung lebih baik pada saat cuaca panas, sedangkan kinerja akustik bata geopolimer justru lebih baik pada saat cuaca dingin. Variabel baru ini dapat menjadi pembahasan baru dalam penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kemendikbudristek melalui LPPM Universitas Tunas Pembangunan Surakarta sebagai penyandang dana penelitian berdasarkan surat kontrak penelitian nomor 005/PK-P/E.1/LPPM-UTP/VI/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production, 1928–2017. *Earth System Science Data*, 10(4), 2213–2239. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2213-2018>
- [2] Ayuningtyas, N. V., & Suryabrata, J. A. (2019). Analisis material dinding yang berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan termal bangunan; studi kasus bangunan rumah tinggal desain dari Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum. *JURNAL ARSITEKTUR PENDAPA*, 2(1), 11–19. <https://doi.org/10.37631/pendapa.v2i1.64>
- [3] Chithambar Ganesh, A., & M. Muthukannan, Dr. (2018). A review of recent developments in geopolymers concrete. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.5), 696. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.5.25061>
- [4] Cornelis, R., Priyosulistyo, H., Satyarno, I., & Rochmadi. (2018). The Investigation on Setting Time and Strength of High Calcium Fly Ash Based Geopolymer. *Applied Mechanics and Materials*, 881, 158–164. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.881.158>
- [5] Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications* (Vol. 171).
- [6] Eppendie, A., & Kushartomo, W. (2023). ANALISIS EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BATA RINGAN SEBAGAI PENGANTI BATA MERAH PADA KONSTRUKSI GEDUNG BERTINGKAT. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 595–600. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23033>
- [7] Ismaiel, M., Chen, Y., Cruz-Noguez, C., & Hagel, M. (2021). Thermal resistance of masonry walls: a literature review on influence factors, evaluation, and improvement. *Journal of Building Physics*, 45(4), 528–567. <https://doi.org/10.1177/17442591211009549>
- [8] Karsono, D., Bambi Yuwono, A., & Kurniawan, K. D. (n.d.). *International journal of sustainable building, infrastructure and environment Thermal Conductivity of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB) Different Rate Percentage of Binder Use*.
- [9] Manzoor, T., Bhat, J. A., & Shah, A. H. (2024). Performance of geopolymer concrete at elevated temperature – A critical review. *Construction and Building Materials*, 420, 135578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135578>

- [10] Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. *Construction and Building Materials*, 66, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080>
- [11] Rathore, P. K. S., Gupta, N. K., Yadav, D., Shukla, S. K., & Kaul, S. (2022). Thermal performance of the building envelope integrated with phase change material for thermal energy storage: an updated review. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103690>
- [12] Sungkono, K. K. D., Satyarno, I., Priyosulistyo, H., & Perdana, I. (2023). Corrosion Resistance of High Calcium Fly Ash Based Reinforced Geopolymer Concrete in Marine Environment. *Civil Engineering and Architecture*, 11(5A), 3175–3189. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110827>
- [13] Utama, A., & Irawan, T. (2024). PENGARUH PENGGUNAAN BATA RINGAN DAN BATA MERAH TERHADAP BANGUNAN BERTINGKAT 2 LANTAI. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 95–99. <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v13i2.1077>
- [14] Vijayan, D. S., Mohan, A., Revathy, J., Parthiban, D., & Varatharajan, R. (2021). Evaluation of the impact of thermal performance on various building bricks and blocks: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101577. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101577>
- [15] Yuuwono, A. B., & Sungkono, K. K. D. (2024). KARAKTERISTIK MORTAR GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH KELAS C DENGAN PENAMBAHAN BORAKS. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 29(1), 17–23. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i1.2895>