

KARAKTERISTIK SUHU PERMUKAAN DINDING BANGUNAN FABA TERHADAP PANCARAN SINAR MATAHARI

SURFACE TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF FLY ASH BOTTOM ASH BRICK AGAINST SUN LIGHTS

Vira Ansari¹, Eddy Prianto^{*}, Agung Dwiyanto²

¹Program Studi Magister Arsitektur, Universitas Diponegoro Semarang

²Laboratorium Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik,
Universitas Diponegoro Semarang

*eddyprianto@arsitektur.undip.ac.id

Abstrak : Fly Ash dan Bottom Ash merupakan produk samping yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sesuai dengan PP101 Tahun 2014, Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) masuk dalam kategori Limbah B3 yang memerlukan perlakuan khusus sesuai dengan aturan yang berlaku. Pada saat ini, telah terbit Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dimana FABA termasuk kedalam Limbah Non B3 Terdaftar. Dengan perubahan tersebut, harapannya FABA dapat dimanfaatkan secara luas (massive) dan kontinyu. Berdasarkan perkembangan tersebut maka perlu adanya pengujian material FABA sebagai dinding bangunan untuk mengetahui suhu yang diperoleh pada saat terpapar panas sinar matahari agar kedepannya material FABA dapat menjadi acuan sebagai bahan untuk pembuatan bahan bangunan. Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif, dimana penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dinding bangunan dengan menggunakan model sebagai objek penelitian, terhadap reduksi matahari dengan pengaruh sinar matahari, kelembaban, dan suhu udara. Hasil penelitian ini untuk mengetahui temperatur dinding FABA yang meliputi: tinggi temperatur puncak dan temperatur terendah. Temuan yang diperoleh adalah bahwa orientasi sinar matahari mempengaruhi terhadap temperatur atau suhu yang dihasilkan pada model dinding FABA dan untuk penelitian selanjutnya lebih baik menggunakan penutup/atap agar mendapatkan suhu yang ideal selayaknya dinding bangunan asli yang tertutup dengan atap.

Kata kunci : Bottom ash, Fly ash, Kondisi Cuaca, Dinding FABA.

Abstract : Fly Ash and Bottom Ash are by-products produced from the coal combustion process in Steam Power Plants (PLTU). In accordance with PP101 of 2014, Fly Ash and Bottom Ash (FABA) are included in the B3 Waste category that requires special treatment in accordance with applicable regulations. At this time, the Republic of Indonesia Government Regulation No. 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management, where FABA is included in Registered Non-B3 Waste. With these changes, it is hoped that FABA can be used extensively (massively) and continuously. Based on these developments, it is necessary to test the FABA material as a building wall to determine the temperature obtained when exposed to hot sunlight so that in the future the FABA material can be used as a reference as a material for the manufacture of building materials. This research method uses qualitative research methods, where this study aims to analyze the walls of the building using the model as the object of research, on the reduction of the sun with the influence of sunlight, humidity, and air temperature. The results of this study are to determine the wall temperature of FABA which includes: high peak temperature and lowest temperature. The findings obtained are that the orientation of sunlight affects the temperature or the resulting temperature in the FABA wall model and for further research it is better to use a cover/roof in order to get the ideal temperature like the original building wall covered with a roof.

Keywords : Bottom ash, Fly ash, Weather Conditions, FABA Wall.

1. PENDAHULUAN

Limbah dari hasil pembakaran setiap satu ton menghasilkan sekitar 15% - 17% dimana produksi limbah batubara perhari diperkirakan antara 1,80 ton – 2,04 ton, hal tersebut disampaikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK). *Fly Ash* merupakan limbah B3 hasil dari sisa pembakaran batubara yang dilakukan oleh PLTU. *Fly Ash* memiliki bentuk seperti bubuk halus dengan sifat pozzolan, sifat pozzolan adalah bahan yang mempunyai kadar CaO rendah, sehingga tidak mempunyai kemampuan pengikat (Kevin Klarens, 2018). Sedangkan untuk *Bottom Ash* memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan *Fly Ash* yang menyebabkan *Bottom Ash* lebih mudah terjatuh ke dasar tungku pembakaran. *Bottom Ash* berbentuk seperti pasir sungai namun dengan tekstur yang lebih kasar (Hendro, 2012).

Fly Ash dan *Bottom Ash* (FABA) merupakan limbah B3, dimana limbah ini memerlukan penanganan khusus sesuai dengan peraturan yang berlaku, akan tetapi pada tahun 2021 Pemerintah membuat peraturan No. 22 tahun tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dimana FABA termasuk kedalam Limbah Non B3 Terdaftar dimana unsur kimia yang berada di dalam *Fly Ash* dan *Bottom Ash* berikatan secara kuat dengan semen, sehingga unsur kimia tersebut sulit tercucikan atau terunturkan (*leached*) jika digunakan untuk dinding luar atau terkena pengaruh cuaca tidak menjadi masalah karena bila bata beton tersebut tidak akan terluruhkan unsur B3 ke lingkungan (Nurul, 2013). Limbah nonB3 adalah suatu usaha atau kegiatan yang berupa sisa skrap, atau reja yang tidak termasuk dalam klasifikasi atau kategori limbah bahan berbahaya dan beracun. Limbah nonB3 digunakan sebagai bahan baku untuk kebutuhan proses produksi industri, limbah nonB3 dihasilkan dari batubara berkalori tinggi dengan cara melakukan pembakaran menggunakan PC, CFB, dan *Chain Grat Shocker* digunakan untuk menghasilkan listrik dengan temperatur tinggi (diatas 800°C) agar efisiensi pembakaran tetap terjaga, pembakaran sempurna tidak menunjukkan karakteristik limbah B3 dengan kode limbah nonB3 *fly ash* (N106) dan *bottom ash* (N107) (Tengku Syahilla & Malik, 2019). Kualitas *fly ash* tergantung dari sumber pembangkit listrik. Untuk sumber abu baru lebih bagus dibandingkan dengan sumber abu yang sudah lama atau menumpuk (Antoni, 2021).

Fenomena yang terjadi mengenai jumlah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) terbilang cukup besar, tentu perlu pengelolaan agar tidak menimbulkan permasalahan lingkungan seperti penurunan kualitas ekosistem. *Fly Ash dan Bottom Ash* (FABA) dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama ataupun bahan campuran bahan – bahan bangunan (Norhaiza, 2019). Pemanfaatan FABA cocok dalam produksi bahan konstruksi, dan sebagai perekat untuk bahan bangunan. Bahan yang dihasilkan aman untuk digunakan (Maja, 2001). Hal ini berbeda dengan kondisi di beberapa negara lain yang menerapkan regulasi berbeda dalam pengelolaan FABA, sehingga negaranya dapat menggunakan FABA mencapai 97%. *Fly Ash* telah berhasil digunakan dalam industri konstruksi sejak lebih dari 50 tahun tetapi penerapannya masih terbatas karena kurangnya pemahaman tentang karakteristik *Fly Ash* itu sendiri dan sifat-sifat beton yang mengandung *Fly Ash* (Ageng & Nugroho, 2017). Hal ini juga dikatakan oleh Nath dkk : “ *With right process you can turn it into a useful product Waste is a resource, but in the wrong place The Changing Mindset* “. (S. K. Nath, 2015). *Fly Ash* juga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan batu bata, pembuatan keramik,

konstruksi jalan, produksi beton dan kegiatan lainnya (Norhariza, 2019), salah satunya telah dikembangkan oleh PLTU Paiton.

Fly Ash dalam industri konstruksi bukan merupakan teknologi baru tetapi merupakan teknologi yang berkembang dalam meningkatkan kualitas konstruksi dan kualitas lingkungan. Penambahan *Fly Ash* pada beton memberikan manfaat dari segi ekonomis, ekologis dan teknis (Norhariza, 2019). Beton yang telah di campurkan dengan *Fly Ash* yang diuji di cuaca dingin yang ekstrim memiliki daya elastisitas atau ketahanan 78 – 91 dari skala 100, karena memiliki daya elastisitas dinamik relatif yang lebih sedikit rendah sehingga memiliki daya tahan lebih baik (Dinil Puspall, 2021). Bata dengan bahan campuran FABA memiliki daya serap air lebih baik sebesar 0,3 – 6,1 % dibandingkan dengan bata tanpa campuran FABA serta tahan depan panas api hingga 30 % (Sivakumar, 2015).

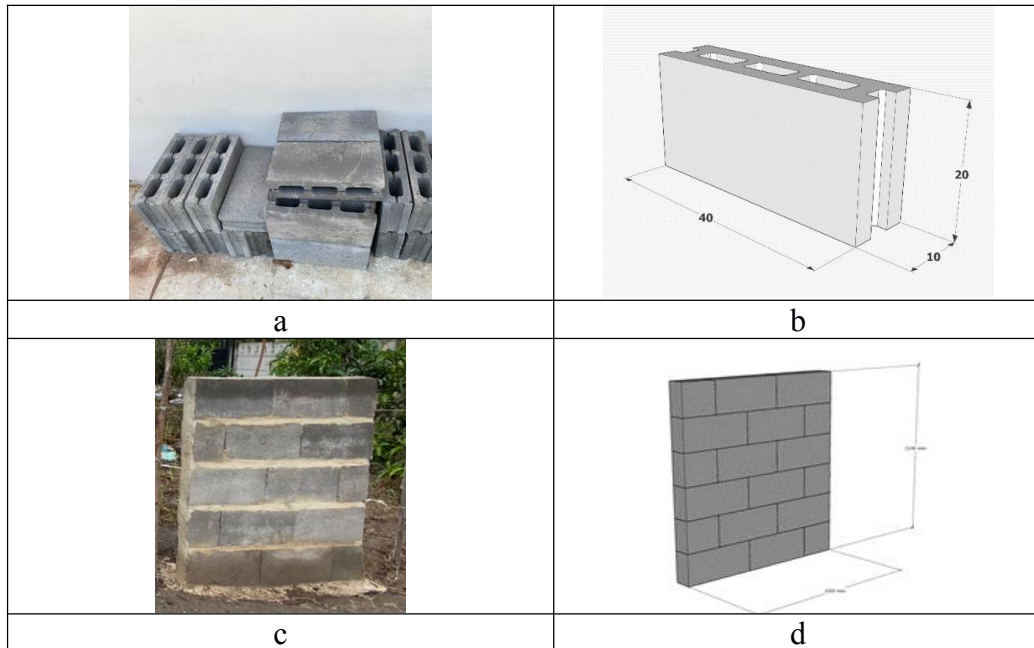
Sinar matahari dapat muncul dari berbagai arah, akan tetapi timur ke barat merupakan arah yang lebih dominan karena itu merupakan pergerakan matahari dari terbit hingga tenggelam. Model dinding ini ditentukan berdasarkan arah datangnya matahari dan tenggelamnya matahari, setiap selubung bangunan memiliki karakteristik dengan sifat dan panas yang akan dihasilkan tentunya berbeda - beda. Dalam penelitian ini penulis membuat objek ruang berupa dinding yang terbentuk dari batako FABA dan dibuat menghadap ke arah timur dan barat dengan memanfaatkan panas dari matahari. Maka pertanyaan dalam penelitian yang akan kami kaji adalah “Sejauh mana karakter termal material bahan dinding berupa batako FABA ini pada kondisi iklim mikro lapangan secara langsung ? serta seberapa jauh perbedaan orientasi penempatan material dinding tersebut terhadap nilai termalnya?”. Dan dalam penelitian ini, kami telah dapatkan material batako yang dibuat dari limbah batu bara ini, yang sejauh ini telah dikembangkan oleh PLTU Paiton.

2. KASUS STUDI DAN METODE PENELITIAN

2.1 Objek Penelitian

Berikut adalah penjelasan mengenai objek penelitian :

- Penelitian ini menggunakan model bentuk dinding batako FABA yang telah diolah/dicetak dengan dimensi (40x20x10cm) di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pembangunan JawaBali (PLTU PJB) Paiton, Probolinggo, Jawa Timur (lihat gambar 1).
- Kedua, unit – unit batako FABA tersebut disusun menjadi sebuah dinding ukuran 1.00m x 1.00m x 0.1m. Dikarenakan penelitian lanjut ini terkendala proses dan di era pandemic COVID-19, maka pelaksanaannya dilakukan di area terdekat dari peneliti di Jalan Akper, Kecamatan Bangkinang Kota, Kabupaten Kampar, Riau kota Riau (0°17'11.3" Lintang Utara 101°01'44.0" Bujur Timur) .
- Objek yang telah dibentuk menjadi bidang dinding diletakan di area/lapangan yang bebas dari halangan, agar obyek dapat tertepa sinar matahari dari pagi hingga sore hari secara optimal (lihat gambar 2).



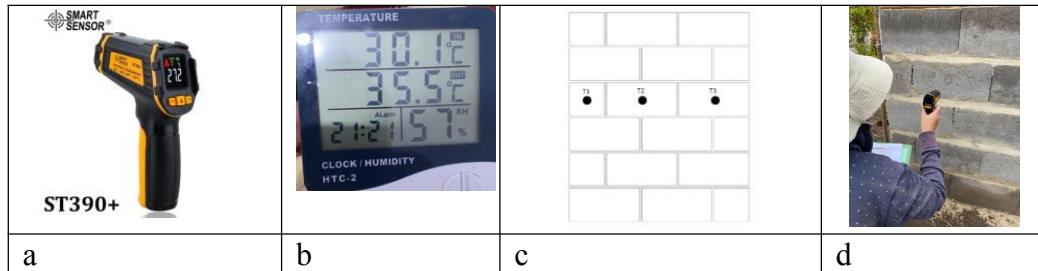
Gambar 1. (a,b) Obyek dan Sketsa Dimensi Unit Batako FABA dan (c,d) Ilustrasi Konstruksi Dinding Batako FABA



Gambar 2. (a) Visualisasi Obyek Menghadap Timur, (b) Visualisasi Obyek Menghadap Barat dan (c) Situasi Lokasi Penelitian di Kota Riau

2.2 Metode Penelitian

Ada dua alat ukur prinsipal yang digunakan pada pengamatan ini, yaitu alat ukur Infrared Thermometer S7391 digunakan untuk mengukur suhu permukaan dinding. Alat ukur Thermometer Digital digunakan untuk mengetahui suhu udara dan kelembaban lingkungan sekitar obyek uji coba.



Gambar 3. (a,b) Alat Ukur yang Digunakan ; (c,d) Posisi Titik Ukur

Secara runtut, tahapan dalam melakukan pengukuran dilapangan adalah sebagai berikut :

- Setelah unit batako tersebut disusun menjadi bidang dinding berukuran 1.00m x 1.00m, dimana tersusun atas 5 lapis denan 2,5 batako tiap lapisnya, dan posisinya telah dihadapkan kearah tepat orientasi Timur – Barat (sisi depan dan sisi belakang dinding), lalu ditentukan sampel 3 (tiga) posisi titik ukur baik yang berada dibagian depan dinding dan 3 (tiga) posisi titik ukur dibagian belakang.
- Yang kedua, pengukuran dilakukan pada 3 (tiga) titik yang sudah di tandai pada bidang model dinding FABA dengan menembakkan infrared secara manual sebanyak 3 kali dengan durasi rentang 10 – 15 detik/tembakan dan dilakukan dengan interval 60 menit dari pukul 06.00 WIB hingga pukul 18.00 WIB.
- Ketika selesai melakukan pengukuran (suhu permukaan dinding, suhu udara sekitar dan kelembaban) diperoleh pada kondisi cuaca panas dimana cuaca panas dipresentasikan pada pengukuran tanggal 13 Oktober 2021.
- Pada analisis data, setelah ditabulasikan, maka data ini untuk kemudian dilakukan analisis secara parsial (tiap periode waktu) dan memperbandingkan dari kedua waktu.
- Untuk detail pengukuran dapat dilihat pada gambar dibawah ini

a. Pengukuran Bagian Depan Obyek

NO	Waktu	Suhu Udara (°C)	Suhu pada Titik Permukaan			Suhu Rata-rata
			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	
1	06.00	23,4	20,3	20,5	20,3	20,4
2	07.00	24,7	31,1	31,4	32,7	31,7
3	08.00	27,5	40,6	39,6	42,5	40,9
4	09.00	30,0	45,6	44,6	47,6	45,9
5	10.00	32,9	47,4	46,7	49,0	47,7
6	11.00	33,0	45,6	45,4	46,6	45,9
7	12.00	34,7	43,3	43,9	44,8	44,0
8	13.00	34,6	44,3	44,8	45,2	44,8
9	14.00	34,5	41,8	42,8	43,0	42,5
10	15.00	35,0	42,6	44,8	43,4	43,6
11	16.00	33,4	41,4	43,0	42,9	42,4
12	17.00	30,5	37,1	39,5	38,9	38,5
13	18.00	28,1	32,9	35,2	34,5	34,2

b. Pengukuran Bagian Belakang Obyek

NO	Waktu	Suhu Udara (°C)	Suhu pada Titik Permukaan			Suhu Rata-rata
			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	
1	06.00	23,4	19,9	20,3	20,0	20,1
2	07.00	24,7	22,2	22,4	22,5	22,4
3	08.00	27,5	24,7	25,0	24,6	24,8
4	09.00	30,0	31,3	31,5	31,4	31,4
5	10.00	32,9	36,9	37,5	37,0	37,1
6	11.00	33,0	39,5	40,2	49,8	43,2
7	12.00	34,7	42,5	43,3	43,2	43,0
8	13.00	34,6	47,0	47,6	48,4	47,7
9	14.00	34,5	49,6	50,2	51,1	50,3
10	15.00	35,0	52,5	52,9	49,3	51,6
11	16.00	33,4	47,3	48,4	40,4	45,4
12	17.00	30,5	38,9	41,2	34,3	38,1
13	18.00	28,1	33,2	35,3	34,3	34,3

Gambar 4. (a) Pengukuran Bagian Depan Obyek ; (b) Pengukuran Bagian Belakang Obyek

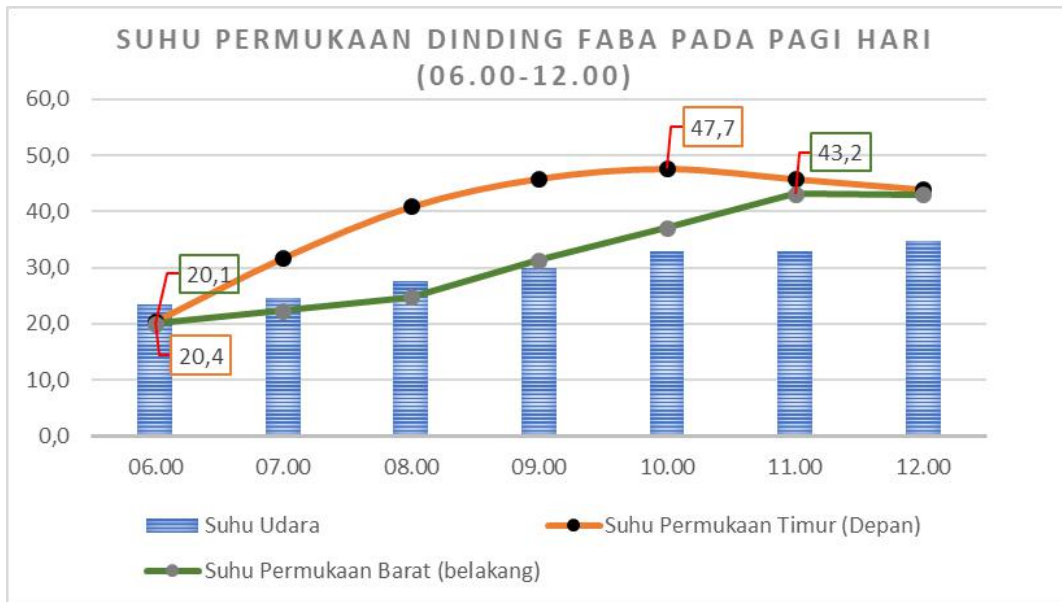
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lingkup dari pemahaman cuaca adalah sebatas iklim mikro dari suatu lokasi, karena sebagaimana kita ketahui bersama bahwa parameter ini sangat signifikan pengaruhnya dengan besaran nilai hasil pengukuran lapangan (in-situ). Begitupula dengan perbedaan karakter lokasi (penempatan obyek berdasarkan orientasi mata angin) dan pilihan metode pengukuran yang dilakukan langsung terjun kelapangan, dari berbagai penelitian terkait sejauh ini akan didapatkan keragaman dan kedinamisan hasil ukur, hingga pilihan metode ini sangat terbuka lebar pengembangannya. Metode itulah yang dipilih dalam memperkaya khasanah pengetahuan secara umum dan khususnya terkait dengan eksplorasi material dari FABA secara umum atau khususnya Batako FABA dari produksi PLTU Paiton.

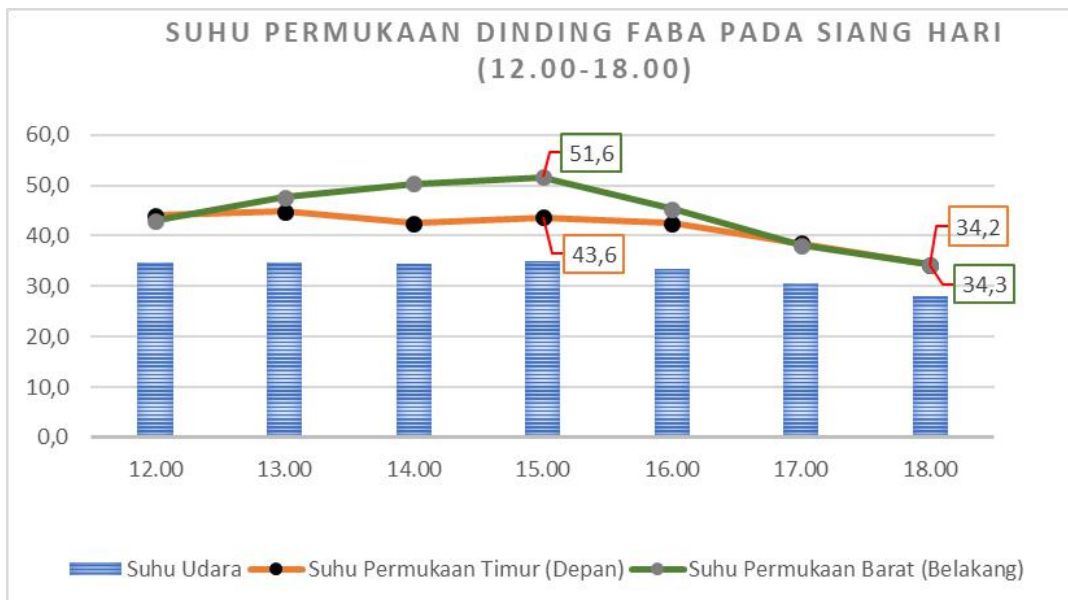
Kondisi cuaca panas di kota Riau dalam hal ini diwakili dengan pengukuran in-situ (lapangan) di bulan Oktober 2021. Berikut adalah hasil uji coba pada sampel batako FABA dengan memakai kondisi cuaca yaitu cerah yang telah dibuat dalam visualisasi data sebagai berikut:

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan dengan kondisi cuaca di lokasi cerah dan matahari terik terhadap suhu permukaan dinding FABA yang menghadap ke Timur memiliki suhu minimum 20,4 °C yang terjadi pada pukul 06.00, sementara pada suhu permukaan dinding FABA yang menghadap ke Barat mempunyai suhu minimum 20,1 °C. Hal ini menunjukkan selisih suhu dari permukaan dinding FABA yang menghadap Timur dan Barat memiliki selisih perbedaan suhu sedikit yaitu sekitar 0,3 °C. Untuk suhu permukaan dinding FABA yang menghadap ke Timur, memiliki suhu maksimum 47,7 °C tepatnya pada pukul 10.00, sedangkan untuk suhu permukaan dinding maksimum pada

Barat terjadi pada pukul 11.00 yaitu 43,2 °C. Berdasarkan suhu maksimum pada orientasi Timur dan Barat selisi suhu yang di hasil kan 4,5 °C. Hal ini dapat dilihat dari Grafik 1.



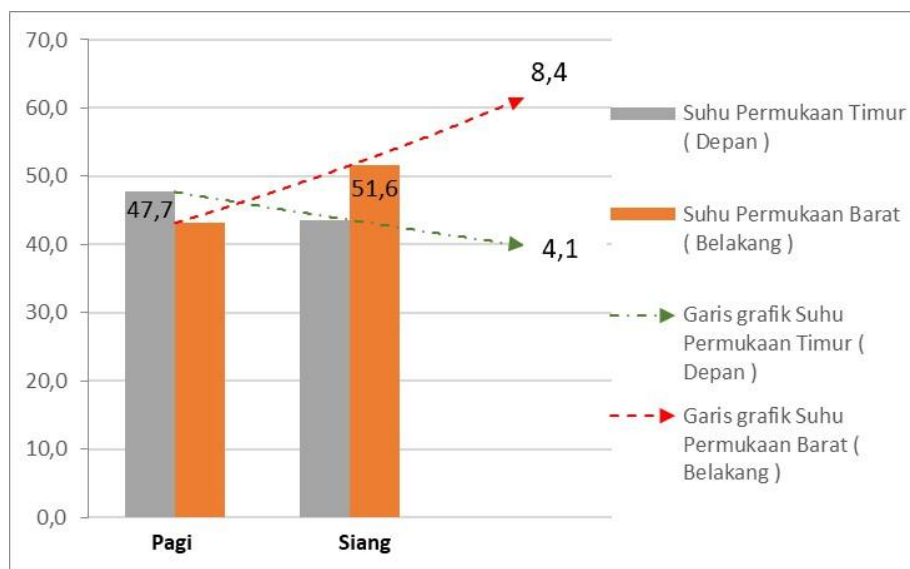
Grafik 1. Suhu Permukaan Dinding Pada Faba Pagi Hari Dengan Pengukuran Kondisi Cuaca Cerah & Matahari Terik



Grafik 2. Suhu Permukaan Dinding Pada Faba Siang Hari Dengan Pengukuran Kondisi Cuaca Cerah & Matahari Terik

Berdasarkan hasil pengukuran di siang pada pukul 12.00 – 18.00 dengan kondisi cuaca di lapangan cerah dan matahari terik terhadap suhu permukaan dinding FABA yang menghadap ke Timur memiliki suhu minimum sebesar 34,2 °C pada pukul 18.00,

sementara pada suhu permukaan dinding FABA yang menghadap Barat memiliki suhu minimum 34,3 °C selisih yang di dihasilkan suhu permukaan tersebut yaitu 0,1 °C, selisih ini tidak terlalu jauh dan hampir mendekati. Untuk suhu permukaan maksimum pada siang hari pada dinding Timur 43,6 °C ini terjadi pada pukul 15.00 dan sama pada suhu permukaan Barat suhu maksimum 51,6 °C. selisih antar suhu maksimum yang di hasikan pada permukaan dinding Timur dan Barat 8,0 °C. Dapat dilihat pada grafik 1 dan 2, selisih yang dihasilkan pada suhu permukaan maksimum pagi dan siang hari memiliki selisih 3,4 atau 3%.



Grafik 3. Perbandingan Suhu Permukaan Dinding Pada Faba Pagi Hari Dengan Siang Hari

Grafik 3 menunjukkan profil suhu permukaan dinding berdasarkan dua waktu pengamatan yang berbeda, yaitu pengamatan pada rentang waktu pagi hari (pk.06.00-12.00) dan rentang waktu siang (pk.12.00-18.00) sebagaimana yang dilakukan pada kajian data di bulan Oktober. Pengukuran dilakukan terhadap dinding batako FABA ini pada kondisi panas, hasil ukur suhu permukaan batako yang menghadap timur/depan ataupun barat/belakang tetap diukur, dimana didapatkan hasil suhu tertinggi permukaan pada bagian Timur dipagi hari sebesar 47,7°C yang terjadi pada pukul 10.00 WIB, namun mengalami penurunan di siang hari sebesar 4,1°C yang terjadi pada pukul 15.00 WIB. Sedangkan profil suhu permukaan dinding batako yang menghadap ke Barat, mengalami kenaikan sebesar 8,4°C dari suhu 43,2°C di pagi hari pada pukul 11.00 WIB menjadi 51,6°C pada siang hari yang terjadi pada pukul 15.00 WIB dan ini merupakan suhu tertinggi untuk bidang Barat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pengukuran yang dilakukan pada model dinding batako FABA pada orientasi timur dan barat pada cuaca cerah dapat disimpulkan bahwa :

- Profil rata – rata suhu permukaan dinding yang berorientasi ke Barat lebih panas 4% daripada dinding berorientasi ke Timur.
- Pergerakan matahari mempengaruhi nilai suhu rata – rata yang dihasilkan pada model dinding batako FABA.

- Terjadi kenaikan suhu pada jam tertentu berdasarkan arah sinar matahari.
- Dari hasil pengukuran bahan material FABA cenderung mudah menyerap panas matahari, hal ini ditunjukkan pada grafik pembandingan pada saat kondisi cuaca cerah.
- Berdasarkan hasil penelitian bahwa suhu obyek mencapai 51,6°C dikarenakan tidak menggunakan peneduh/atap, alangkah baiknya di penelitian selanjutnya melakukan pengujian menggunakan peneduh/atap.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ageng, R. M., & Nugroho, D. (2017). PEMANFAATAN LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA (BOTTOM ASH) PADA PLTU SURALAYA SEBAGAI MEDIA TANAM DALAM UPAYA MENGURANGI PENCEMARAN LINGKUNGAN. *Jurnal Kajian Ilmu dan Teknologi*, 81-162.
- Antoni, Hartono, F., Tanuwijaya, S., Wijaya, K., Vianthi, A., dan Hardjito, D., Comprehensive Investigation on the Potential of Fly Ash from New Source as Construction Material, *Civil Engineering Dimension*, 2021, pp. 78-90.
- Antoni, & Nugraha. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: C.V.Andi Offset.
- C. Tsakalou, P. T. (2017). CHARACTERIZATION AND LEACHABILITY EVALUATION OF FLY AND BOTTOM ASHES GENERATED DURING INCINERATION OF MEDICAL WASTES. *Conference: 5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, -.
- Dinil, P., Sunjidmaa, D., Narantogtokh, B., Tomoya, N., dan Kazuya, Y., Compressive Strength Development and Durability Properties of High-Calcium Fly Ash Incorporated Concrete in Extremely Cold Weather, *Journal Construction and Building Materials*. 2021, pp. 1-11.
- Hendro Suseno, P. (2012). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Sebagai Pengganti Tanah Liat Pada Campuran Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Bata. *JURNAL REKAYASA SIPIL*, 272-281.
- Kevin Klarens, M. I. (2018). PEMANFAATAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH TIPE C SEBAGAI BAHAN PENGGANTI DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-8.
- LELEMUKU. (2021, maret 16). *Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola*. Diambil kembali dari lelemuku.com: <https://www.lelemuku.com/2021/03/fly-ash-dan-bottom-ash-faba-hasil.html>
- Maja, D., Milica, K., Dragana, R., Ana, U., Ana, K., Zlate, V., Aleksandar, M., dan Zeljko, K., Closing The Loop: As(V) Adsorption Onto Goethite Impregnated Coal-Combustion Fly Ash as Integral Building Materials, *Journal of Cleaner Production*, 2021, pp. 1-12.
- Niagareadimix. (2004, Januari 1). *Fly ash*. Diambil kembali dari Pengertian Material Fly Ash dan Non Fly Ash Pada Beton: <http://www.flyashonline.com>
- Nonie. (2019, Juli 12). *Fly Ash Bottom Ash Jadi Produk Industri*. Diambil kembali dari Teknologi: <https://petrominer.com/fly-ash-bottom-ash-jadi-produk-industri/>
- Norhaliza, G., Utilization of Fly Ash in Construction, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Orlando, Florida, October 10-14, 2021, pp. 1-8.
- Nurul, A., Bata Beton Berlubang Dari Abu Batubara (Fly Ash dan Bottom Ash) Yang Ramah Lingkungan, *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 2013, pp. 87-96.

- Patria, A. A. (2019-2021, Juli 22). *Kerjasama Penelitian untuk Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash di UPTE, PT. Bukit Asam*. Diambil kembali dari Topik Penelitian FT Pusat Kajian Sumber Daya Bumi Non-Komersial: <https://ugrg.ft.ugm.ac.id/topik-penelitian/kerjasama-penelitian-untuk-pemanfaatan-fly-ash-dan-bottom-ash-di-upte-pt-bukit-asam/>
- S. K. Nath, T. C. (2015, - -). *CSIR-National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur*. Diambil kembali dari Fly ash: Looking beyond the conventional use: <https://slideplayer.com/slide/4897721/16/images/1/Fly+ash%3A+Looking+beyond+the+conventional+use.jpg>
- Singh, M., & Siddique, R. (2016). Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on workability and strength properties of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 620-630.
- Sivakumar, & Kameshwari. (2015). Influence of Fly Ash, Bottom Ash, and Light Expanded Clay Aggregate on Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-9.
- Spadoni, M., Voltaggio, M., Sacchi, E., Sanam, R., Pujari, PR, Padmakar, C, Labhasetwar, PK, Wate, SR, (2014). Impact of The Disposal and Re-Use of Fly Ash on Water Quality : The Case of The Koradi and Khaperkheda Thermal Power Plants (maharashtra, India).*Sci. Total Environ*, 479-480 159-170.
- Tengku Syahilla, Y. A., & Malik, A. (2019). KAJIAN PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH FABA(FLY ASH DAN BOTTOM ASH) PADA KONSTRUKSI LAPISAN BASE PERKERASAN JALAN. *Jurnal Teknik*, 112-119.
- Wardani, S. P. (2008). PEMANFAATAN LIMBAH BATUBARA (FLY ASH) UNTUK STABILISASI TANAH MAUPUN KEPERLUAN TEKNIK SIPIL LAINNYA DALAM MENGURANGI PENCEMARAN LINGKUNGAN. 1-22.