

Sistem Teknologi Ramah Lingkungan Batako Komposit Tahan Api Sebagai Material Dinding Bangunan

Environmentally Friendly Fire-Resistant Composite Concrete Bricks as Building Wall Material

Dessy Triana^{1*}, Meassa Monika Sari²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil-Fakultas Teknik-Universitas Serang Raya, Banten, Indonesia
Alamat korespondensi : Jl. Raya Cilegon Drangong Serang, Banten
email: trianadessy08@gmail.com

Abstract

Utilization of environmentally friendly technology is utilization as a substitute for natural resources. One of them can be achieved by replacing the aggregate of making bricks with waste materials. In this study, the use of fine aggregate in the form of sand utilizes fly ash waste from PLTU Banten 3 Lontar Omu for the manufacture of refractory composite bricks. The specimens used were 40 bricks with a normal ratio of 1PC: 6PS, while composite bricks were 1PC:5.5PS:0.5FA, 1PC:5PS:1FA, 1PC:4.5PS:1.5FA. 1 PC: 4PS: 2FA. After the concrete bricks reached 28 days of age, they were subjected to burning for 60 minutes, with temperature measurements taken every 10 minutes. The results showed that for normal concrete bricks mixtures, a color change occurred at the 60-minute mark for the part exposed to fire, while the part not exposed to fire began to emit smoke. Meanwhile, the fly ash composite concrete bricks demonstrated better resistance, with the fire-exposed part showing minimal color change and the part not exposed to fire not emitting smoke. Thus, the fly ash composite concrete bricks, after 60 minutes of burning, can still be categorized as refractory bricks.

Keywords: Brick; Composite; Fly Ash; Material; Fire-resistant

Abstrak

Teknologi ramah lingkungan adalah pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti sumber daya alam. Salah satunya dapat dicapai dengan mengganti agregat penyusun batako dengan material limbah. Pada penelitian ini, penggunaan agregat halus berupa pasir digantikan dengan limbah fly ash yang berasal dari PLTU Banten 3 Lontar Omu untuk pembuatan batako komposit tahan api. Benda uji yang digunakan berupa batako sebanyak 40 buah dengan perbandingan normal 1PC:6PS, sedangkan batako komposit 1PC:5.5PS:0.5FA, 1PC:5PS:1FA, 1PC:4.5PS:1.5FA. 1PC:4PS:2FA. Setelah batako berumur 28 hari, dilakukan pembakaran selama 60 menit dengan pengukuran suhu setiap 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada batako campuran normal, terjadi perubahan warna pada menit ke-60 untuk bagian yang terpapar api, sedangkan bagian yang tidak terpapar api mulai mengeluarkan asap. Sementara itu, batako komposit fly ash menunjukkan ketahanan yang lebih baik, dengan bagian yang terpapar api mengalami sedikit perubahan warna dan bagian yang tidak terpapar api tidak mengeluarkan asap. Dengan demikian, batako komposit fly ash dengan pembakaran selama 60 menit masih dapat dikategorikan sebagai batako tahan api.

Kata Kunci: Batako, Komposit, Fly Ash, Material, Tahan Api

PENDAHULUAN

Saat ini, ada kecenderungan peningkatan penggunaan bahan yang berkelanjutan. Keberlanjutan membantu lingkungan dengan mengurangi pemakaian sumber daya alam yang tidak terbarukan (Arezoumandi & Volz, 2013; Rastogi & Paul, 2020; Xu & Shi, 2018).

Teknologi ramah lingkungan dalam industri bangunan terbukti semakin signifikan dalam mengatasi masalah pencemaran dan kelestarian lingkungan (Naganathan et al., 2012).

Listrik dapat dihasilkan melalui sumber energi terbarukan (tenaga air, angin, panas matahari, dan sebagainya) serta sumber energi

Please cite this article as:

Triana, D., & Sari, M. M. (2023). Sistem Teknologi Ramah Lingkungan Batako Komposit Tahan Api Sebagai Material Dinding Bangunan. *Media Teknik Sipil*, 21(1), 26-31.

<https://doi.org/10.22219/jmts.v21i1.28901>

tak terbarukan (nuklir, batu bara, bahan bakar/gas, dan limbah) (Eliche-Quesada et al., 2018). Sektor pembangkit listrik berbahan bakar batu bara menjadi andalan bagi setiap industri dan negara berkembang. Peningkatan ketergantungan pada sektor ini menghasilkan peningkatan jumlah *Fly Ash*. *Fly ash* merupakan produk sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik termal. Dampak lingkungan akibat produksi *Fly Ash* dalam jumlah besar telah menarik perhatian di seluruh dunia. Pembuangan abu terbang di tempat pembuangan sampah berkontribusi terhadap kontaminasi tanah dan air, dengan sekitar satu miliar ton dihasilkan setiap tahunnya di seluruh dunia (Nguyen et al., 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan *Fly Ash* di berbagai bidang menjadi sangat penting. Penelitian saat ini mengarah pada keberlanjutan dan masa depan (Alterary & Marei, 2021; Pati & Sahu, 2020). Dalam industri konstruksi, *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dan agregat halus. Sehingga, penggunaan *fly ash* berkontribusi pada praktik konstruksi yang lebih berkelanjutan, karena dapat mengurangi emisi karbon, menghemat sumber daya alam, dan mengurangi limbah industri (Nayak et al., 2022).

Fly Ash (FA) adalah bahan pozzolan dan memiliki jumlah alumina dan silika yang tinggi (Amran et al., 2021). *Fly Ash* terdiri dari dua kelas yaitu kelas C dan kelas F. Kelas C dengan kadar kalsium oksida yang lebih tinggi (Bhatt et al., 2019). Pemanfaatan *fly ash* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: (1) sebagai bahan produksi *Pozzolana Portland Cement*, dan (2) sebagai bahan campuran beton bersama dengan semen, air, dan agregat.

Industri konstruksi merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap penipisan sumber daya alam dan pemanasan global. Oleh karena itu, pengembangan dan pencarian bahan bangunan alternatif memiliki persyaratan pembangunan berkelanjutan (Ahmad et al., 2020). Penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa *fly ash* dapat menggantikan penggunaan agregat halus dalam produksi beton hingga volume tertentu tanpa adanya penurunan properti mekanis beton (Kowsalya et al., 2022; Varadharajan et al., 2023). Karenanya, *fly ash* memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan alternatif pembuatan batako ramah lingkungan.

Dalam pembuatan batako, sangat diperlukan inovasi akan bahan konstruksi yang mampu menahan suhu tinggi selama kebakaran (Aldefae et al., 2020). Penelitian oleh Zhang et al. (2023) menunjukkan peningkatan ketahanan mortar saat terpapar suhu tinggi saat *fly ash* digunakan sebagai pengganti pasir alami, membuktikan potensi *fly ash* sebagai material alternatif produksi batako tahan api.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, dalam penelitian ini akan diterapkan pemanfaatan limbah *fly ash* dari PLTU Banten 3 Lontar Omu menjadi material alternatif dalam pembuatan batako. Penelitian ini ditujukan untuk memanfaatkan *fly ash* sebagai material pengganti agregat halus dalam produksi batako. Penelitian dirancang untuk menguji bentuk fisik serta ketahanan terhadap api dari batako dengan *fly ash*.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Sampel limbah *fly ash* disediakan oleh PLTU PT. Indonesia Power yang berlokasi di Banten 3 Lontar Omu. Proses pembuatan batako dan pengujian pembakaran dilakukan di Universitas Serang Raya.

Alat dan Bahan Penelitian

Cetakan batako terbuat dari besi dengan ukuran 40cm x 12 cm x 22cm (p x l x t). Peralatan lain yang dibutuhkan antara lain: mesin press, timbangan digital, mixer, dan termoter infrared. Bahan yang digunakan dalam campuran batako adalah semen Portland, pasir, *fly ash* dan air. Rasio air terhadap semen ditetapkan berdasarkan nilai faktor air semen (f.a.s) 0,6. Penggunaan semen per meter kubik bahan campuran batako terhadap agregat adalah 1 : 6. *Fly ash* menggantikan sebagian pasir dengan proporsi campuran uji disajikan dalam Tabel 1. Pengujian ketahanan api dilakukan setelah batako berumur 28 hari sesuai SNI 03 - 0349 -1989.

Tabel 1. Proporsi Campuran Batako

Kode	Campuran	Jumlah Benda Uji
A	1 Semen : 6 Pasir	8
B	1 Semen : 5.5 Pasir : 0.5 FA	8
C	1 Semen : 5 Pasir : 1FA	8
D	1 Semen : 4.5 Pasir : 1.5 FA	8
E	1 Semen : 4 Pasir : 2 FA	8

Uji Kandungan Senyawa

Pengujian karakteristik dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur mineral berupa silika (Si) dan kalsium (Ca) pada bahan yang digunakan sebagai bahan pengganti dalam pembuatan bata beton atau batako komposit. Hasil uji kandungan silika dan kalsium dari *fly ash* PLTU Banten 3 Lontar Omu tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kandungan Silika dan Kalsium pada *Fly Ash*

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode
Silika (SiO ₂)	%	50.115	ASTM D 3682-13
Kalsium(CaO)	%	8.45	ASTM D 3682-13

Uji Ketahanan Api

Pengujian ketahanan api berdasarkan SNI 1741-2008, dengan menggunakan tungku gas yang dirancang untuk mendapatkan pembakaran yang luas ke seluruh benda uji. Jumlah benda uji minimal satu buah. Untuk elemen pemisah asimetris yang disyaratkan untuk menahan api dari sisi manapun, diperlukan 2 (dua) benda uji yang diperlakukan untuk ekspose api dari masing-masing sisi. Pada penelitian ini digunakan benda uji sebanyak 8 batako dari masing-masing variasi campuran. Pembakaran dilakukan selama kurang lebih 60 menit, dan dilakukan pengukuran suhu pada 15 titik pengukuran tiap 10 menit, baik pada sisi batako yang terkena api (terpapar api) maupun pada sisi sebaliknya (tidak terpapar api).

Analisis Perilaku Umum Uji Ketahanan Api

Analisis visual batako dilakukan dengan mengamati bentuk fisik dari batako yang dapat dilihat dengan kasat mata. Berdasarkan SNI 1741:2008, pengamatan dilakukan dengan mengamati perilaku umum benda uji sepanjang pengujian dan mencatat gejala yang terkait seperti deformasi, terjadinya retakan, peristiwa pelelehan atau pelembehan material, dan peristiwa letupan permukaan akibat desakan uap air (*spalling*) dari bahan konstruksi benda uji yang dibuat. Jika terdapat asap di permukaan yang tidak terpapar, maka kejadian ini dicatat dalam laporan.

Menurut SNI 03 – 0349 -1989, syarat mutu untuk bata beton pasangan dinding adalah bidang permukaan harus tidak cacat dan ukuran harus sesuai.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan persiapan pengadaan bahan batako yaitu semen, pasir dan bahan komposit batako yaitu *fly ash*. Penelitian ini dilakukan dengan lima variasi campuran batako, dengan jumlah benda uji tiap campuran 8 batako.

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap, dimulai dengan perumusan masalah, kajian sumber referensi yang relevan, pengadaan bahan penyusun benda uji dan rancangan proporsi sesuai SNI 03 – 0349 – 1989, pengujian Tahan Api sesuai SNI 1741 : 2008, dan diakhiri dengan analisa data hasil pengujian.

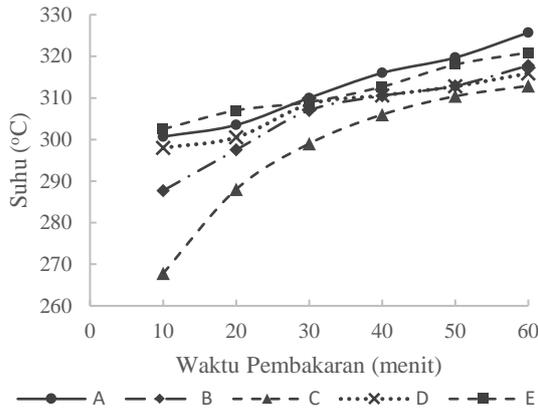
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan membuat batako menggunakan cetakan berukuran 40 cm x 12 cm x 22 cm (p x l x t) yang akan digunakan sebagai sampel pengujian. Dalam penelitian ini, pasir digantikan sebagian oleh *fly ash* untuk membuat batako ramah lingkungan.

Pengujian dilakukan untuk mengukur ketahanan batako *fly ash* saat terpapar api. Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran suhu spesimen batako pada sisi yang terpapar api selama 60 menit pembakaran, dengan pengukuran suhu dilakukan setiap 10 menit. Grafik perbandingan hasil pengukuran suhu dengan lamanya waktu pembakaran terlihat pada Gambar 1.

Tabel 3. Hasil pengukuran suhu rata-rata sisi batako yang terpapar api

Kode	Suhu rata - rata pengukuran (°C)						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
A	27.0	300.7	303.5	310.0	316.0	319.7	325.7
B	26.0	287.7	297.5	307.0	310.5	312.9	317.8
C	28.5	267.8	288.0	299.0	306.0	310.4	312.9
D	27.0	298.0	300.5	308.5	310.6	312.8	315.9
E	28.3	302.5	307.0	309.0	312.7	318.0	320.9

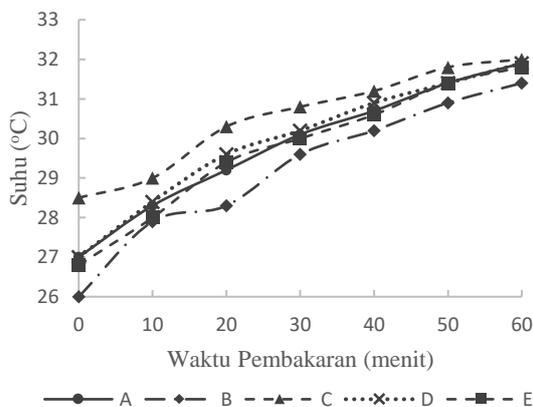


Gambar 1. Perbandingan hasil pengukuran suhu dengan waktu pembakaran pada sisi batako terpapar api

Pengukuran suhu dilakukan pula pada sisi spesimen batako yang tidak terpapar api setelah dilakukan pembakaran selaman 60 menit. Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran suhu yang dilakukan di tiap 10 menit waktu pembakaran. Grafik perbandingan hasil pengukuran suhu dengan lamanya waktu pembakaran terlihat pada Gambar 2.

Tabel 4. Hasil pengukuran suhu rata-rata sisi batako yang tidak terpapar api

Kode	Suhu rata - rata pengukuran (°C)						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
A	27.0	28.3	29.2	30.1	30.7	31.4	31.9
B	26.0	27.9	28.3	29.6	30.2	30.9	31.4
C	28.5	29.0	30.3	30.8	31.2	31.8	32.0
D	27.0	28.4	29.6	30.2	30.9	31.4	31.9
E	26.8	28.0	29.4	30.0	30.6	31.4	31.8



Gambar 2. Perbandingan hasil pengukuran suhu dengan waktu pembakaran pada sisi batako yang tidak terpapar api

Perilaku perubahan suhu yang terjadi adalah berdasarkan data pengukuran suhu, yaitu meningkat tajam pada selang waktu 0 menit hingga 10 menit, kemudian peningkatan suhu naik secara perlahan pada selang waktu 10 menit hingga 60 menit. Berdasarkan data pengujian, lamanya durasi pembakaran meningkatkan suhu batako campuran kontrol (1 Semen : 6 Pasir), baik pada sisi yang terpapar api maupun sisi yang tidak terpapar api. Selain itu, hasil pengamatan menunjukkan perubahan warna pada sisi batako yang terpapar api.

Batako dengan penggantian agregat pasir dengan *fly ash* mengalami kenaikan suhu lebih rendah dibandingkan spesimen kontrol. Berdasarkan perilaku umum dan syarat mutu uji ketahanan api, batako dengan campuran normal mengalami perubahan warna pada sisi yang terpapar api di menit ke 50, sedangkan untuk batako komposit *fly ash* terjadi sedikit perubahan warna di menit ke 60, yang terjadi pada campuran batako kode B. Pada batako campuran normal, timbul asap pada menit ke 60 pada sisi batako yang tidak terpapar api. Namun, tidak timbul asap pada sisi batako yang tidak terpapar api untuk batako komposit *fly ash*.

KESIMPULAN

Studi ini menginvestigasi pemanfaatan *fly ash* sebagai material pengganti agregat halus dalam produksi batako ramah lingkungan. Pengujian dilakukan untuk mengukur ketahanan terhadap api dari batako komposit *fly ash*. Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian adalah sebagai berikut:

1. Suhu pada sisi batako yang terpapar api meningkat seiring bertambahnya durasi pembakaran. Namun, peningkatan suhu pada batako komposit *fly ash* cenderung lebih rendah dengan bertambahnya durasi pembakaran, dibandingkan dengan campuran batako konvensional. Selain itu, hanya terjadi sedikit perubahan warna di akhir 60 menit waktu pembakaran batako komposit *fly ash*.
2. *Fly Ash* dapat mengurangi panas hidrasi pada batako, sehingga pada batako komposit *fly ash* tidak terjadi deformasi untuk sisi-sisi yang terpapar api, dan tidak timbul asap pada sisi-sisi yang tidak terpapar api. Dengan demikian, batako komposit *fly ash* berpotensi tinggi sebagai batako tahan api.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pembiayaan yang diberikan untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada PLTU yang berada di PT. Indonesia Power, Banten 3 Lontar Omu, atas kerjasama dan dukungan fasilitas yang memungkinkan penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. R., Chen, B., Haque, M. A. & Shah, S. F. A. (2020). Utilization of industrial and hazardous waste materials to formulate energy-efficient hygrothermal bio-composites. *Journal of Cleaner Production*, 250(xxxx), 119469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119469>
- Aldefae, A. H. H., Essa, A. F. & Edan, A. S. (2020). Fire resistance of selected construction materials. *AIP Conference Proceedings*, 2213(March). <https://doi.org/10.1063/5.0000053>
- Alterary, S. S. & Marei, N. H. (2021). Fly ash properties, characterization, and applications: A review. *Journal of King Saud University - Science*, 33(6), 101536. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101536>
- Amran, M., Fediuk, R., Murali, G., Avudaiappan, S. & Ozbakkaloglu, T. (2021). *Fly Ash-Based Eco-Efficient Concretes : A Comprehensive Review of the Short-Term Properties*. 1–41.
- Arezoumandi, M. & Volz, J. S. (2013). Effect of fly ash replacement level on the shear strength of high-volume fly ash concrete beams. *Journal of Cleaner Production*, 59, 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.043>
- Bhatt, A., Priyadarshini, S., Acharath Mohanakrishnan, A., Abri, A., Sattler, M. & Techapaphawit, S. (2019). Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00263. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00263>
- Eliche-Quesada, D., Sandalio-Pérez, J. A., Martínez-Martínez, S., Pérez-Villarejo, L. & Sánchez-Soto, P. J. (2018). Investigation of use of coal fly ash in eco-friendly construction materials: fired clay bricks and silica-calcareous non fired bricks. *Ceramics International*, 44(4), 4400–4412. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.12.039>
- Kowsalya, M., Sindhu Nachiar, S., Sekar, A. & Ravichandran, P. T. (2022). Study on Mechanical and Microstructural Properties of Concrete with Fly Ash Cenosphere as Fine Aggregate—A Sustainable Approach. *Buildings*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/buildings1210679>
- Naganathan, S., Subramaniam, N. & Nasharuddin Bin Mustapha, K. (2012). Development of brick using thermal power plant bottomash and fly ash. *Asian Journal of Civil Engineering*, 13(2).
- Nayak, D. K., Abhilash, P. P., Singh, R., Kumar, R. & Kumar, V. (2022). Fly ash for sustainable construction: A review of fly ash concrete and its beneficial use case studies. In *Cleaner Materials* (Vol. 6). <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.10.0143>
- Nguyen, H. H. T., Nguyen, H. T., Ahmed, S. F., Rajamohan, N., Yusuf, M., Sharma, A., Arunkumar, P., Deepanraj, B., Tran, H. T., Al-Gheethi, A. & Vo, D. V. N. (2023). Emerging waste-to-wealth applications of fly ash for environmental remediation: A review. *Environmental Research*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115800>
- Pati, P. K. & Sahu, S. K. (2020). Innovative utilization of fly ash in concrete tiles for sustainable construction. *Materials Today: Proceedings*, 33(xxxx), 5301–5305. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.971>
- Rastogi, A. & Paul, V. K. (2020). A critical

- review of the potential for fly ash utilisation in construction-specific applications in India. *Environmental Research, Engineering and Management*, 76(2), 65–75. <https://doi.org/10.5755/J01.EREM.76.2.25166>
- Varadharajan, S., Kirthanashri, S. V, Maurya, N., Bishetti, P., Shukla, B. K. & Bharti, G. (2023). Utilization of Fly Ash in Concrete: A State-of-the-Art Review. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 281. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4731-5_17
- Xu, G. & Shi, X. (2018). Characteristics and applications of fly ash as a sustainable construction material: A state-of-the-art review. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 136, pp. 95–109). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.010>
- Zhang, D., Zhang, S. & Yang, Q. (2023). Effect of Replacing Fine Aggregate with Fly Ash on the Performance of Mortar. In *Materials* (Vol. 16, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/ma16124292>