

Pemanfaatan Fly Ash pada Beton Non Pasir di Lingkungan Ekstrem

Eka Purnamasari^{1*)}, Antonius²⁾, Prabowo Setiyawan³⁾

^{1, 2, 3)} Fakultas Teknik, Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Jl.
Kaligawe Raya Km.4 Semarang, Jawa Tengah
Email: eka.ftsuniska@gmail.com*, antoni67a@yahoo.com, prabowo@unissula.ac.id

Abstrak

Beton Non-Pasir adalah jenis beton berpori yang lebih ringan, yang dibuat dengan cara menghilangkan pasir dari campuran beton konvensional. *Fly ash* merupakan limbah hasil sampingan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, berbentuk partikel halus, ringan, bulat, dan memiliki sifat pozzolanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pemanfaatan *fly ash* pada beton non-pasir di lingkungan ekstrem khususnya pada lingkungan rawa gambut. Metode penelitian yaitu literatur review dan pengujian laboratorium. Penggunaan beton non-pasir sebagai bahan konstruksi diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap pasir alam dan memanfaatkan limbah industri seperti *fly ash*. Lingkungan rawa gambut yang memiliki karakteristik tanah masam dan berpori memberikan tantangan tersendiri dalam konstruksi, sehingga diperlukan beton dengan sifat mekanis dan fisik yang sesuai. Penggunaan *fly ash* khususnya dari PLTU Asam-asam sebagai pengganti sebagian semen dalam beton non-pasir menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan berbagai sifat mekanis dan ketahanan beton dalam kondisi lingkungan yang ekstrem karena memiliki hasil pengujian yaitu $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 88,322\%$. Hasil penelitian diharapkan menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* dapat meningkatkan sifat-sifat teknis beton, terutama dalam hal kekuatan dan ketahanan di lingkungan rawa gambut. *Fly Ash* dapat meningkatkan ketahanan dan sifat mekanik Beton Non-Pasir pada lingkungan ekstrem, memberikan solusi inovatif dan ramah lingkungan untuk aplikasi konstruksi di daerah yang memerlukan material dengan ketahanan tinggi terhadap cuaca dan bahan kimia. Selain itu, penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah dapat membantu mengurangi limbah industri, sekaligus menghasilkan beton yang ekonomis dan efisien dalam penggunaannya.

Kata kunci: Beton non-pasir, fly ash, lingkungan, ekstrem, rawa gambut.

Abstract

No-Fines Concrete is a lighter type of porous concrete, which is made by removing sand from conventional concrete mixes. Fly Ash is a by-product waste from Steam Power Plants (PLTU) which use coal as fuel, in the form of fine, light, round particles and has pozzolanic properties. This research aims to evaluate the effect of using fly ash in No-Fines concrete in extreme environments, especially in peat swamp environments. The research methods are literature review and laboratory testing. The use of No-Fines concrete as a construction material is expected to reduce dependence on natural sand and utilize industrial waste such as fly ash. The peat swamp environment which has the characteristics of acidic and porous soil provides its own challenges in construction, so concrete with appropriate mechanical and physical properties is needed. The use of fly ash, especially from Asam-Asam PLTU as a partial replacement for cement in non-sand concrete shows great potential to improve various mechanical properties and concrete resistance in extreme environmental conditions because it has test results, namely $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 88.322\%$. The research results are expected to show that the addition of fly ash can improve the technical properties of concrete, especially in terms of strength and durability in peat swamp environments. It is hoped that it will contribute to developing environmentally friendly concrete materials and supporting the sustainability of construction in areas with extreme soil conditions. Apart from that, the use of fly ash as an additional material can help reduce industrial waste, while producing concrete that is economical and efficient to use.

Keywords: No-Fines concrete, fly ash, environmental, extreme, peat bog.



Copyright © 2025 The Author(s)

This is an open access article under the [CC -NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi utama yang digunakan di seluruh dunia karena

kekuatan dan daya tahannya. Namun, peningkatan permintaan beton berdampak negatif terhadap lingkungan akibat

penambahan pasir, produksi semen yang menghasilkan emisi karbon dioksida, serta akumulasi limbah industri seperti fly ash, produk sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik. Untuk mengatasi dampak ini, *fly ash* mulai dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen atau agregat dalam beton, termasuk pada beton non-pasir atau no-fines concrete (Beton Non-Pasir) yang memiliki karakteristik berpori dan ringan. Beton non-pasir berpotensi memberikan solusi yang ramah lingkungan dan memiliki ketahanan di lingkungan ekstrem, yang menjadikannya cocok untuk digunakan pada struktur drainase, perkerasan jalan, dan aplikasi lainnya (Hussain et al., 2023; Jiahao et al., 2019; RaniH et al., 2018).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa beton non-pasir memiliki beberapa karakteristik unik yang dapat dimanfaatkan pada kondisi lingkungan ekstrem. Penggunaan bahan tambahan seperti serat baja dan nilon pada Beton Non-Pasir berbasis silika fume misalnya, terbukti meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan beton terhadap retak (Hussain et al., 2023). Beberapa studi juga menyoroti pengaruh variasi gradasi agregat kasar terhadap kekuatan tekan dan densitas beton non-pasir, serta rasio air-semen yang optimal untuk mencapai kekuatan maksimum (Ayoub Memon et al., 2018; Tunio et al., 2019a, 2019b). Selain itu, kajian lebih lanjut menemukan bahwa Beton Non-Pasir berpori dapat difungsikan sebagai material perkerasan jalan yang memungkinkan drainase alami, sehingga efektif dalam mengelola aliran air permukaan dan mengurangi genangan (Eathakoti et al., 2015; Mageswari et al., 2016; Marshdi et al., 2021).

Studi lainnya mengeksplorasi pemanfaatan agregat daur ulang dalam Beton Non-Pasir sebagai upaya pengurangan ketergantungan pada material alami. Penggunaan agregat daur ulang yang telah dikarbonasi, misalnya, menunjukkan kinerja mekanis dan daya tahan yang sebanding dengan beton konvensional, serta membantu mengurangi jejak karbon konstruksi (Tittarelli et al., 2014; Zhang et al., 2023). Pada kondisi lingkungan ekstrem, penambahan *fly ash* dalam campuran Beton Non-Pasir membantu meningkatkan ketahanan beton terhadap siklus beku-cair, serangan sulfat, dan klorida, sehingga cocok untuk struktur infrastruktur yang rentan terhadap kondisi cuaca dan bahan kimia agresif (Hussain

et al., 2023; Jiahao et al., 2019; Mounika and Srinivas, 2018).

Penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar daur ulang dalam produksi beton tanpa halus memberikan hasil yang menjanjikan, khususnya dalam hal kekuatan lentur. Studi ini menunjukkan bahwa penggantian hingga 20% agregat konvensional dengan agregat dari limbah pembongkaran menghasilkan beton dengan kekuatan lentur residu tertinggi, meskipun ada penurunan kekuatan seiring peningkatan persentase penggantian. Selain itu, semua nilai lendutan tercatat masih berada di bawah batas yang diperbolehkan oleh standar ACI-318, yang menunjukkan potensi aplikasinya untuk struktur ringan atau non-struktural. Penelitian ini mendukung penggunaan beton hijau sebagai solusi ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan limbah konstruksi dan mendukung keberlanjutan dalam industri bangunan (Ali Rahu et al., 2023).

Penelitian tentang beton non-pasir telah mengungkap beberapa karakteristik penting dari material ini. Sebagai contoh, Rahu et al. (2023) menyimpulkan bahwa agregat daur ulang dari limbah pembongkaran dapat digunakan dalam beton tanpa halus dengan tingkat penggantian optimal sebesar 20%, memberikan kekuatan lentur yang memadai dan lendutan yang tetap sesuai batas standar ACI-318 (Ali Rahu et al., 2023). Qoja dan Hassan (2016) menemukan bahwa penggunaan material lokal dalam Beton Non-Pasir, seperti jenis agregat kasar tertentu, dapat meningkatkan beberapa sifat mekanik beton, tetapi tetap memerlukan penyesuaian formulasi untuk mencapai hasil optimal (Hussein Qoja et al., 2016). Sementara itu, Abdelgader dan El-Baden (2016) menunjukkan bahwa beton non-pasir memiliki kekuatan mekanik yang cukup untuk aplikasi struktural ringan, namun ketahanannya di lingkungan ekstrem masih terbatas (Abdelgader, 2016).

Tittarelli et al. (2014) menunjukkan bahwa Beton Non-Pasir memiliki potensi untuk menjadi material yang berkelanjutan jika dipadukan dengan bahan tambahan seperti fly ash. Mereka menemukan bahwa kombinasi agregat daur ulang dan bahan tambahan kimia dapat meningkatkan daya tahan dan sifat mekanik Beton Non-Pasir, menjadikannya lebih stabil pada aplikasi vertikal di lingkungan

yang menantang (Tittarelli et al., 2014). Namun, meskipun ada berbagai penelitian yang menggarisbawahi potensi Beton Non-Pasir, pemanfaatan *fly ash* dalam Beton Non-Pasir untuk meningkatkan ketahanan terhadap kondisi ekstrem masih relatif kurang dieksplorasi.

Kebaruan ilmiah dari penelitian ini terletak pada investigasi mengenai efektivitas pemanfaatan *fly ash* dalam beton non-pasir di lingkungan ekstrem, yang mencakup analisis daya tahan terhadap kondisi lingkungan yang beragam. Meskipun penelitian sebelumnya telah mengkaji aspek mekanis beton non-pasir secara umum, sedikit yang secara khusus mengkaji beton non-pasir yang mengandung *fly ash* dalam konteks lingkungan ekstrem. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam memahami peran *fly ash* dalam meningkatkan ketahanan beton non-pasir pada kondisi lingkungan agresif.

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah apakah penambahan *fly ash* dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan beton non-pasir terhadap kondisi lingkungan ekstrem? Berdasarkan permasalahan ini, hipotesis yang diajukan adalah bahwa penambahan *fly ash* akan meningkatkan daya tahan dan kekuatan beton non-pasir, membuatnya lebih cocok digunakan di lingkungan ekstrem khususnya pada lingkungan rawa gambut.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah tinjauan pustaka (*literature review*) dan pengujian Fly Ash dilaboratorium. *Literature review* yaitu proses investigasi dan penelaahan secara sistematis terhadap literatur atau sumber-sumber tertulis yang relevan dengan topik atau bidang penelitian tertentu. Tujuan utama dari tinjauan pustaka (*literature review*) ini adalah untuk memahami, menyintesis, serta mengevaluasi penelitian atau pandangan yang telah ada mengenai penggunaan *fly ash* pada beton non-pasir di lingkungan ekstrem khususnya pada lingkungan rawa gambut. Analisis ini didasarkan pada artikel-artikel yang membahas pembuatan beton non-pasir dengan tambahan *fly ash* dan dampaknya terhadap sifat-sifat mekanis beton.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini digunakan beberapa sumber yang dirangkum dalam tabel 1, ditemukan bahwa pemanfaatan *fly ash* pada beton non-pasir (Beton Non-Pasir) secara signifikan meningkatkan ketahanan beton terhadap lingkungan ekstrem, khususnya dalam hal ketahanan terhadap siklus beku-cair dan serangan kimia seperti sulfat dan klorida. Penambahan *fly ash* dalam Beton Non-Pasir juga diketahui memberikan efek positif pada sifat mekanik, seperti kekuatan tekan dan ketahanan aus, yang relevan untuk aplikasi dalam struktur yang terpapar kondisi lingkungan agresif.

Tabel 1. Literatur Review

No	Penulis/ Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Hussain, S., Ahmed, Z., Ahmed, A., & Bedon, C. (2023)	Pengujian eksperimental berbasis silika fume dengan serat baja dan nilon sebagai penguat.	Penambahan serat meningkatkan kekuatan tekan, tarik, dan daktilitas beton non pasir.	Tidak menyelidiki pengaruh bahan tambahan seperti <i>fly ash</i> atau kondisi lingkungan rawa gambut.
2	Rifa'i, A., Lestari, N., & Yasufuku, N. (2016)	Penggunaan Beton Non-Pasir dengan abu vulkanik dan bantak Merapi	Beton Non-Pasir efektif untuk aplikasi drainase dengan ketahanan terhadap erosi.	Belum mengeksplorasi penggunaan material tambahan

No	Penulis/ Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
3	Jiahao, L., Chin Lian, F., Hejazi, F., & Azline, N. (2019)	eksperimental menguji kekuatan dan sifat beton non pasir menggunakan berbagai rasio air-semen dan ukuran agregat.	Beton non pasir memiliki workability dan kekuatan tekan yang bervariasi tergantung pada rasio air-semen dan gradasi agregat.	Tidak membahas efek bahan tambahan seperti <i>fly ash</i> dan lingkungan khusus seperti rawa gambut.

4	Tunio, Z.A., Memon, B.A., Memon, N.A., Lakho, N.A., Oad, M., & Buller, A.H. (2019)	Studi eksperimental menganalisis pengaruh gradasi agregat kasar dan rasio air-semen terhadap berat jenis dan kekuatan tekan	Gradasi agregat kasar seragam menghasilkan beton dengan kekuatan tekan lebih tinggi. Rasio air-semen memengaruhi densitas dan kekuatan tekan.	Tidak membahas pengaruh lingkungan ekstrem atau bahan tambahan seperti fly ash.	Np, S., Me, M., S, V., P, V., S, A., R, G., & P, M. (2023)	Penambahan serat alami untuk meningkatkan kekuatan mekanis no-fines concrete.	Penambahan serat alami meningkatkan kekuatan tarik dan ketangguhan, meskipun kekuatan tekan terbatas.	Belum menguji sinergi dengan material lain seperti fly ash.	
5	Memon, M.A., Bhutto, M.A., Lakho, N.A., Halepoto, I.A., & Memon, A.N. (2018)	Studi eksperimental tentang dampak agregat tidak pecah terhadap sifat mekanis beton non pasir.	Agregat tidak pecah memberikan sifat mekanis yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat yang pecah.	Tidak mempertimbangkan tambahan bahan seperti fly ash dan lingkungan spesifik rawa gambut.	9	Eathakoti, S., Gundu, N., & Ponnada, M. (2015)	Model pavemen inovatif menggunakan no-fines concrete.	Model pavemen efektif untuk aplikasi drainase di area perkerasan ringan.	Tidak menguji pengaruh jangka panjang dan kondisi lingkungan ekstrem.
6	Mounika, P., & Srinivas, K. (2018)	Pengujian pada beton non pasir untuk jalur pejalan kaki, menganalisis kekuatan tekan dan lentur.	Beton non pasir cocok untuk aplikasi ringan seperti jalur pejalan kaki karena kekuatan tekan dan lenturnya yang memadai.	Tidak mempertimbangkan pengaruh lingkungan ekstrem atau bahan tambahan seperti fly ash.	10	Malik, A. (2016)	Studi eksperimental tentang sifat dasar beton non pasir dengan berbagai rasio air-semen dan ukuran agregat.	Variasi rasio air-semen memengaruhi workability dan kekuatan tekan beton non pasir.	Tidak membahas bahan tambahan seperti fly ash dan pengaruh lingkungan rawa gambut.
7	Babitharani, H., Bashir, M.A., Hassan, M.S., Allgoo, S.D., & Ramesh, K. (2018).	Pengujian beton non pasir untuk aplikasi perkerasan jalan.	Beton non pasir memiliki permeabilitas tinggi dan cukup kuat untuk aplikasi jalan ringan.	Tidak mengevaluasi durabilitas di lingkungan rawa gambut atau efek fly ash.	11	Carsana, M., Tittarelli, F., & Bertolini, L. (2013)	Uji kekuatan dan durabilitas no-fines concrete dengan baja tertanam.	Beton no-fines memiliki sifat korosi yang baik pada baja, namun kekuatan tekan terbatas.	Tidak mengeksplorasi penggunaan fly ash untuk meningkatkan durabilitas dan kekuatan beton.
12	Mageswari, M., Karthikeyan, M., Pavithran, S., kumar, M., & Rajan, R. (2016)	Studi pada beton non pasir untuk perkerasan dengan permeabilitas tinggi.	Beton non pasir cocok untuk perkerasan dengan permeabilitas tinggi, menunjukkan kekuatan tekan yang memadai.	Tidak membahas efek fly ash dan daya tahan di lingkungan rawa gambut.	12	Mageswari, M., Karthikeyan, M., Pavithran, S., kumar, M., & Rajan, R. (2016)	Studi pada beton non pasir untuk perkerasan dengan permeabilitas tinggi.	Beton non pasir cocok untuk perkerasan dengan permeabilitas tinggi, menunjukkan kekuatan tekan yang memadai.	Tidak membahas efek fly ash dan daya tahan di lingkungan rawa gambut.

13	Qoja, G.H., & Hassan, A.F. (2016)	Studi eksperimental menggunakan material lokal pada beton non pasir untuk menguji sifat mekanisnya.	Material lokal dapat digunakan dalam beton non pasir dengan hasil sifat mekanis yang bervariasi tergantung pada bahan.	Tidak membahas pengaruh lingkungan ekstrem seperti rawa gambut atau bahan tambahan fly ash.
14	Abdelgader, H., & El-Baden, A.S. (2016)	Uji sifat mekanis beton no-fines.	Beton no-fines memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu ekstrem, tetapi kekuatan tekan sangat terbatas.	Belum membahas pengaruh kombinasi bahan tambahan dan jenis agregat pada kekuatan beton.
15	Tittarelli, F., Carsana, M., & Ruello, M.L. (2014)	Studi penggunaan admixture hidrofobik dan agregat daur ulang pada beton non pasir.	Penambahan admixture hidrofobik meningkatkan ketahanan terhadap air dan durabilitas beton non pasir.	Tidak mengkaji bahan tambahan seperti <i>fly ash</i> dan penggunaannya di rawa gambut.
17	Tittarelli, F., Mobili, A., Giosuè, C., & Ruello, M.L. (2014)	Studi pengembangan beton non pasir untuk aplikasi vertikal.	Penambahan serat alami untuk meningkatkan kekuatan mekanis no-fines concrete.	Beton non pasir memiliki sifat mekanis yang memadai untuk aplikasi struktural ringan. Tidak membahas efek lingkungan rawa gambut dan bahan tambahan fly ash.
18	Np, S., Me, M., S, V., P, V., S, A., R, G., & P, M. (2023)			Penambahan serat alami meningkatkan kekuatan tarik dan ketangguhan, meskipun kekuatan tekan terbatas.
19	Zhang, T., Chen, M., Wang, Y., & Zhang, M. (2023)	Kajian kritis tentang penggunaan agregat daur ulang dan hasil karbonasi pada beton.	Penambahan agregat daur ulang dan karbonasi memengaruhi sifat mekanis beton, meningkatkan ketahanan dan kekuatannya.	Tidak spesifik pada beton non pasir atau penggunaannya di rawa gambut.
20	Marshdi, Q.S., Hussien, S.A., Mareai, B.M., Al-khafaji, Z., & Shubbar, A.A. (2021)	Kajian aplikasi beton non pasir untuk berbagai kebutuhan konstruksi sebagai beton berpori.	Beton non pasir menunjukkan sifat permeabilitas tinggi, cocok untuk konstruksi drainase.	Tidak membahas bahan tambahan <i>fly ash</i> atau pengaruh lingkungan rawa gambut.
No	Penulis/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
16	Ahmed, Z. (2022)	Uji pada beton no-fines dengan bahan tambahan semen.	Penambahan material seperti <i>fly ash</i> meningkatkan kekuatan tekan beton no-fines.	Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak jangka panjang dari bahan tambahan.
21	Qoja, G., & Hassan, A. (2016)	Studi sifat-sifat beton no-fines dengan material lokal.	Beton no-fines menggunakan material lokal efektif untuk aplikasi drainase di area dengan curah hujan tinggi.	Belum menguji performa beton dengan material lokal di berbagai kondisi lingkungan ekstrem.

22	Fawzi, R., & Awad, H. (2023)	Pengaruh serat polipropilena dan silica fume pada sifat mekanis beton no-fines dengan agregat daur ulang.	Penambahan serat polipropilena dan silica fume meningkatkan sifat mekanis beton no-fines dengan agregat daur ulang.	Belum menguji pengaruh jangka panjang dari penggunaan agregat daur ulang pada beton no-fines.	27	Rahu, A., Memon, B., Oad, M., Dahri, S., Memon, A., & Bhutto, A. (2023)	Evaluasi kekuatan lentur pada beton no-fines dengan agregat daur ulang.	Beton no-fines dengan agregat daur ulang memiliki kekuatan lentur yang baik untuk aplikasi tertentu.	Perlu kajian lebih lanjut untuk pengaruh jangka panjang penggunaan agregat daur ulang terhadap durabilitas.
23	Pradeep, S., Bharathi, R., Vignesh, K., & Mukesh, T. (2021)	Studi sistematis pada sifat fisik dan mekanis beton no-fines dengan bahan tambahan.	Penambahan bahan tambahan meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton no-fines.	Belum menguji jenis bahan tambahan selain bahan kimia dan material alami lainnya.	28	Jasim, A., & Jabal, Q. (2014)	Modifikasi beton no-fines menggunakan agregat ringan dan karet styrene-butadiene.	Penggunaan karet styrene-butadiene meningkatkan ketangguhan dan mengurangi berat beton.	Tidak menguji pengaruh penggunaan agregat ringan pada jangka panjang kekuatan dan ketahanan beton.
24	Amin, M., & Nasier, S. (2018)	Evaluasi eksperimen pada beton no-fines geopolymer untuk aplikasi perkerasan yang ramah lingkungan.	Beton no-fines geopolymer efektif untuk aplikasi perkerasan yang ramah lingkungan.	Tidak membahas durabilitas jangka panjang dari beton geopolymer di berbagai kondisi cuaca ekstrem.	29	Tunio, Z.A., Abro, F.U., Ali, T., Buller, A.S., & Abbasi, M.A. (2019)	Pengaruh gradiasi agregat kasar pada sifat mekanis beton no-fines.	Beton no-fines dengan agregat bergradasi baik meningkatkan kekuatan tekan dan stabilitas struktur.	Perlu kajian lebih lanjut untuk gradiasi agregat dengan karakteristik lingkungan yang berbeda.
25	Kurniadi, E., & Himawan, L. (2019)	Uji kuat tekan dan infiltrasi pada beton no-fines.	Beton no-fines memiliki kemampuan infiltrasi air yang sangat baik, tetapi kekuatan tekan terbatas.	Belum menguji penggunaan bahan tambahan atau variasi material pada beton no-fines untuk meningkatkan kekuatan.	30	Dahri, S., Memon, B., Oad, M., Bhanbhro, R., & Rahu, I. (2021)	Evaluasi kualitas agregat daur ulang dan kekuatan tekan pada beton no-fines dengan agregat daur ulang.	Penggunaan agregat daur ulang dalam beton no-fines memberikan hasil yang baik dalam kekuatan tekan.	Perlu penelitian lebih lanjut terkait durabilitas jangka panjang dan pengaruh terhadap lingkungan.
No	Penulis/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian					
26	Pateriya, A., Dharavath, K., & Robert, D. (2021)	Penggunaan bahan limbah dan material nano untuk meningkatkan sifat kekuatan beton no-fines.	Penggunaan bahan limbah dan nano material meningkatkan kekuatan mekanis beton no-fines.	Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk mengoptimalkan dosis dan jenis bahan nano yang digunakan.					

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa penambahan *fly ash* dalam Beton Non-Pasir berfungsi sebagai bahan pozolan yang bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen, membentuk senyawa tambahan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memperkuat ikatan dalam matriks beton. Reaksi pozolanik ini meningkatkan kekompakan beton, mengurangi porositas, dan menjadikan Beton Non-Pasir lebih tahan terhadap penyerapan air dan siklus beku-cair. Keberadaan CSH yang lebih banyak

juga menghambat jalur difusi ion berbahaya, seperti sulfat dan klorida, sehingga memperpanjang masa pakai beton di lingkungan ekstrem.

Peningkatan daya tahan Beton Non-Pasir dalam kondisi ekstrem juga didukung oleh pengurangan ukuran pori dan peningkatan densitas matriks beton sebagai hasil dari reaksi antara *fly ash* dan produk hidrasi. Hal ini menyebabkan beton lebih resisten terhadap penetrasi air dan ion, yang penting dalam lingkungan bersuhu rendah atau lingkungan dengan kadar klorida tinggi. Penelitian sebelumnya juga menemukan bahwa penggunaan agregat daur ulang dan aditif kimia dalam Beton Non-Pasir meningkatkan daya tahannya terhadap degradasi fisik dan kimia, mendukung hasil bahwa penggunaan *fly ash* juga menghasilkan efek serupa.

Tren peningkatan kekuatan dan daya tahan Beton Non-Pasir dengan penambahan *fly ash* disebabkan oleh peningkatan jumlah fase CSH, yang bertanggung jawab atas pengikatan partikel dalam beton, serta pengurangan porositas akibat reaksi hidrasi tambahan dari *fly ash*. *Fly ash* memiliki komponen silika dan alumina yang bereaksi dengan kalsium hidroksida, membentuk struktur yang lebih kompak dan meningkatkan ketahanan terhadap keretakan. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan material tambahan seperti serat baja atau nilon pada beton non-pasir berbasis silika fume dapat meningkatkan ketahanan dan kekuatan tarik lentur.

Berdasarkan pengujian *Fly ash* PLTU Asam-asam di Laboratorium Terpadu Universitas Lambung Mangkurat yaitu di Lab X-Ray. Pengujian Scanning XRF dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 2. Berdasarkan tingginya hasil $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 88,322\%$, *fly ash* PLTU Asam-asam secara teknis dapat masuk kategori Class F (ASTM C618), namun tingginya CaO (8,426%) mendekati karakteristik Class C, menjadikannya semacam intermediate type. Sehingga sangat cocok digunakan sebagai bahan tambahan semen atau pengganti sebagian semen dalam beton untuk meningkatkan durabilitas, workability, dan efisiensi biaya.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kandungan Fly Ash PLTU Asam-Asam

Unsur	Konsentrasi
-------	-------------

Al_2O_3 (%)	15,378
As_2O_3 (%)	0,007
BaO (%)	0,214
Bi_2O_3 (%)	0,001
CaO (%)	8,426
Cr_2O_3 (%)	0,014
CuO (%)	0,015
Fe_2O_3 (%)	34,13
MnO (%)	0,432
NiO (%)	0,026
K_2O (%)	0,483
Rb_2O (%)	0,005
Sc_2O_3 (%)	0,008
SiO_2 (%)	38,814
SrO (%)	0,134
SO_3 (%)	0,919
Ta_2O_5 (%)	0,006
TiO_2 (%)	0,855
V_2O_5 (%)	0,047
Y_2O_3 (%)	0,012
ZnO (%)	0,041
ZrO_2 (%)	0,031

Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Secara ilmiah, peningkatan ketahanan terhadap lingkungan ekstrem juga dapat dijelaskan oleh mekanisme difusi ion yang terhambat akibat matriks beton yang lebih rapat, yang diperoleh dari kombinasi *fly ash* dan Beton Non-Pasir. Matriks yang lebih rapat ini mengurangi jalur transportasi ion agresif, seperti sulfat dan klorida, sehingga memperlambat laju degradasi akibat serangan kimia. Fenomena ini diperkuat oleh penelitian-penelitian yang menunjukkan bahwa penambahan agregat daur ulang atau material tambahan lain pada Beton Non-Pasir memberikan peningkatan serupa pada ketahanan beton.

Dibandingkan dengan penelitian yang hanya menggunakan agregat kasar atau serat tambahan pada Beton Non-Pasir, hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *fly ash* sebagai pengganti parsial agregat atau semen lebih efektif dalam meningkatkan ketahanan beton di lingkungan ekstrem. Misalnya, penelitian oleh Qoja dan Hassan (2016) menunjukkan bahwa penggunaan material lokal pada Beton Non-Pasir meningkatkan ketahanan tekan, namun ketahanan terhadap lingkungan kimia agresif tetap terbatas. Penelitian lain oleh Tittarelli et

al. (2014) menunjukkan bahwa Beton Non-Pasir yang dipadukan dengan agregat daur ulang dan aditif tertentu memiliki ketahanan yang lebih baik pada aplikasi vertikal, tetapi belum secara khusus membahas peran *fly ash* pada lingkungan ekstrem.

Dengan demikian, hasil ini menjawab hipotesis bahwa *fly ash* dapat meningkatkan ketahanan dan sifat mekanik Beton Non-Pasir pada lingkungan ekstrem, memberikan solusi inovatif dan ramah lingkungan untuk aplikasi konstruksi di daerah yang memerlukan material dengan ketahanan tinggi terhadap cuaca dan bahan kimia.

4. SIMPULAN

Penggunaan *fly ash* khususnya dari PLTU Asam-asam sebagai pengganti sebagian semen dalam beton non-pasir menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan berbagai sifat mekanis dan ketahanan beton dalam kondisi lingkungan yang ekstrem karena memiliki hasil pengujian hasil $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 88,322\%$. Secara spesifik, penambahan *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan tekan, ketahanan terhadap siklus beku-cair, serta ketahanan terhadap serangan kimia seperti sulfat dan klorida. Selain itu, *fly ash* membantu mengurangi retakan mikro akibat siklus termal dan dapat memberikan insulasi termal yang lebih baik, menjadikannya cocok untuk konstruksi di daerah dengan perubahan suhu yang tajam. Pemanfaatan *fly ash* juga memberikan keuntungan ekonomis dan lingkungan. Penggunaan *fly ash* mengurangi jejak karbon dalam produksi beton, mengurangi biaya material, dan menawarkan solusi konstruksi yang lebih berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan Hidayah-Nya dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih banyak kepada kedua orang tua, suami, anak, adik, sahabat, rekan dan seluruh keluarga besar yang telah mendukung saya. Terima kasih banyak kepada segenap civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin, Fakultas Teknik PPTS Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan Fakultas Teknik Universitas Lambung

Mangkurat yang telah banyak memberikan bantuan berupa materil dan immateril.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdelgader, H., 2016. Mechanical properties of no-fines concrete. MATERIALY BUDOWLANE 1, 131–133. <https://doi.org/10.15199/33.2016.08.40>
- Ali Rahu, I., Ahmed Memon, B., Oad, M., Ahmed Dahri, S., Raqeeb Memon, A., Hussain Bhutto, A., 2023. Assessment of the Flexural Strength of No-Fines Recycled Aggregate Concrete Prisms, Technology & Applied Science Research.
- Ayoub Memon, M., Aslam Bhutto, M., Ali Lakho, N., Ali Halepoto, I., Noor Memon, A., 2018. Effects of Uncrushed Aggregate on the Mechanical Properties of No-Fines Concrete, Technology & Applied Science Research.
- Eathakoti, S., Gundu, N., Ponnada, M.R., 2015. An Innovative No-Fines Concrete Pavement Model. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN 12, 34–44. <https://doi.org/10.9790/1684-12533444>
- Hussain, S., Ahmed, Z., Ahmed, A., Bedon, C., 2023. Experimental Mechanical Characterization of Silica Fume-based No-fines Concrete Reinforced by Steel or Nylon Fibers. The Open Civil Engineering Journal 17. <https://doi.org/10.2174/18741495-v17-230720-2023-14>
- Hussein Qoja, G., Flayeh Hassan, A., Qoja, G.H., Hassan, A.F., 2016. STUDY OF SOME PROPERTIES OF NO-FINES CONCRETE USING LOCAL MATERIALS, Kufa Journal of Engineering.
- Jiahao, L., Chin Lian, F., Hejazi, F., Azline, N., 2019. Study of properties and strength of no-fines concrete, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012009>
- Mageswari, M., Karthikeyan, M.P., Pavithran, S., Rajkumar, M., Govindarajan, R., 2016. High Strength Permeable Pavement using no Fines Concrete, SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE).
- Marshdi, Q.S.R., Hussien, S.A., Mareai, B.M., Al-Khafaji, Z.S., Shubbar, A.A., 2021. Applying of No-fines concretes as a porous concrete in different construction application. Periodicals of Engineering and Natural Sciences 9, 999–1012. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i4.2476>
- Mounika, P., Srinivas, K., 2018. Mechanical Properties of no Fines Concrete for Pathways. International Journal of Engineering and Techniques 4, 68–81.

- RaniH, B., Abdull Bashir, M., Hassan, M., Dwarkasingh Allgoo, S., 2018. No Fines Concrete (As Road Pavement) 4.
- Tittarelli, F., Carsana, M., Ruello, M.L., 2014. Effect of hydrophobic admixture and recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability aspects of no-fines concrete. *Constr Build Mater* 66, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.043>
- Tunio, Z.A., Abro, F.-U.-R., Ali, T., Salam Buller, A., Abbasi, M.A., 2019a. www.etasr.com Tunio et al.: Influence of Coarse Aggregate Gradation on the Mechanical Properties of Concrete, *Technology & Applied Science Research*.
- Tunio, Z.A., Memon, B.A., Memon, N.A., Lakho, A., Oad, M., Hafeez Buller, A., 2019b. Effect of Coarse Aggregate Gradation and Water-Cement Ratio on Unit Weight and Compressive Strength of No-fines Concrete, *Technology & Applied Science Research*.
- Zhang, T., Chen, M., Wang, Y., Zhang, Mingzhong, Zhang, M, 2023. Roles of carbonated recycled fines and aggregates in hydration, microstructure and mechanical properties of concrete: A critical review.