

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS EMISI KARBON (*CARBON EMISSIONS*) BETON BERBASIS SEMEN PORTLAND DAN BETON DENGAN SUBSTITUSI FLY ASH MELALUI UJI EKSPERIMENTAL**

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)  
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

**Disusun Oleh :**

**PUTRI NURUL HIDAYAH**  
**NIM : 09040722062**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL**

**2026**

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Putri Nurul Hidayah  
NIM : 09040722062  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Universitas : UIN Sunan Ampel Surabaya

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “ **ANALISIS EMISI KARBON (CARBON EMISSIONS) BETON BERBASIS SEMEN PORTLAND DAN BETON DENGAN SUBSTITUSI FLY ASH MELALUI UJI EKSPERIMENTAL** ” adalah benar benar hasil karya sendiri yang ditulis secara sah sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan, serta bukan hasil dari pikiran atau pengambilan tulisan orang lain. Apabila di kemudian hari ditemukan bukti serta terbukti bahwa skripsi ini merupakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguhnya tanpa adanya paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 2026

Yang menyatakan,



Putri Nurul Hidayah  
09040722062

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Putri Nurul Hidayah  
Nim : 09040722062  
Judul : Analisis Emisi Karbon (*Carbon Emissions*) Beton Berbasis Semen Portland dan Beton Dengan Substitusi Fly Ash Melalui Uji Eksperimental

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

Dosen Pembimbing 1



Noverma, M.Eng  
NIP.198111182014032002

Dosen Pembimbing 2



Rizqi Abdi Perdanawati, M.T  
NIP.198809262014032002

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS EMISI KARBON (*CARBON EMISSIONS*)  
BETON BERBASIS SEMEN PORTLAND DAN BETON DENGAN  
SUBSTITUSI FLY ASH MELALUI UJI EKSPERIMENTAL**

Disusun Oleh:

**PUTRI NURUL HIDAYAH**

09040722062

Menyetujui:

**Dosen Penguji 1**

Noverma, M.Eng  
NIP.198111182014032002

**Dosen Penguji 2**

Rizqi Abdi Perdanawati, M.T  
NIP.198809262014032002

**Dosen Penguji 3**

Argowi Pribadi, M.Eng.  
NIP.198701032014031001

**Dosen Penguji 4**

Efa Suriani, S.T., M.Eng.  
NIP.197902242014032003

Mengetahui

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Syarif Hamdani, M.Pd.  
NIP.196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Putri Nurul Hidayah  
NIM : 09040722062  
Fakultas/Jurusan : Teknik Sipil  
E-mail address : ptnhiddyh@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi  Tesis  Desertasi  Lain-lain (..... )  
yang berjudul :

ANALISIS EMISI KARBON (CARBON EMISSIONS) BETON BERBASIS SEMEN  
PORTLAND DAN BETON DENGAN SUBSTITUSI FLY ASH MELALUI UJI  
EKSPERIMENTAL

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 20 Juni 2026

Penulis



(Putri Nurul Hidayah)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) antara beton normal yang menggunakan semen Portland dan beton dengan substitusi *fly ash* sebesar 15% terhadap berat semen sebagai upaya mendukung pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan analisis deskriptif kuantitatif melalui pembuatan dan pengujian langsung benda uji beton di laboratorium. Perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana 20 MPa. Sebanyak 10 benda uji silinder berukuran 10 cm × 20 cm dibuat, terdiri atas 5 sampel beton normal dan 5 sampel beton dengan substitusi *fly ash* 15%, kemudian dirawat selama 28 hari dan diuji kuat tekannya sesuai SNI 1974:2011. Analisis jejak karbon dilakukan dengan menghitung emisi pada fase produksi bahan baku, penggunaan energi listrik, transportasi material, serta indeks emisi CO<sub>2</sub> terhadap kuat tekan (CO<sub>2e</sub>/MPa). Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> pada fase produksi bahan baku beton normal sebesar 3,24 kg CO<sub>2e</sub>, sedangkan beton *fly ash* sebesar 2,78 kg CO<sub>2e</sub> atau menurun sebesar 14,2%. Namun, setelah memperhitungkan emisi energi listrik dan transportasi, total emisi beton normal sebesar 38,56 kg CO<sub>2e</sub> dan beton *fly ash* sebesar 39,93 kg CO<sub>2e</sub>. Beton *fly ash* menghasilkan kuat tekan 24,23 MPa, lebih rendah 10,75% dibandingkan beton normal sebesar 27,15 MPa, tetapi masih memenuhi persyaratan struktural. Nilai indeks emisi beton normal sebesar 1,42 CO<sub>2e</sub>/MPa, sedangkan beton *fly ash* sebesar 1,65 CO<sub>2e</sub>/MPa. Meskipun penggunaan *fly ash* mampu menurunkan emisi pada fase produksi material, efektivitas pengurangan emisi secara keseluruhan dipengaruhi oleh faktor logistik dan jarak distribusi material dalam rantai pasok konstruksi.

**Kata kunci:** emisi karbon, abu terbang, beton, semen *portland*, kuat tekan beton.

## ABSTRACT

*This study aims to analyze the differences in carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions between conventional concrete using Portland cement and concrete incorporating a 15% fly ash substitution by cement weight as an effort to support the development of more environmentally friendly construction materials. The research employed an experimental method with a quantitative descriptive analysis approach through the direct production and testing of concrete specimens in a laboratory. The concrete mix design was developed based on SNI 03-2834-2000 with a target compressive strength of 20 MPa. A total of 10 cylindrical specimens measuring 10 cm × 20 cm were prepared, consisting of 5 normal concrete samples and 5 concrete samples with 15% fly ash substitution. The specimens were cured for 28 days and subsequently tested for compressive strength in accordance with SNI 1974:2011. Carbon footprint analysis was conducted by calculating emissions from raw material production, electricity consumption, material transportation, and the CO<sub>2</sub> emission index relative to compressive strength (CO<sub>2</sub>e/MPa). The results showed that CO<sub>2</sub> emissions from the raw material production phase were 3.24 kg CO<sub>2</sub>e for normal concrete and 2.78 kg CO<sub>2</sub>e for fly ash concrete, representing a reduction of 14.2%. However, after accounting for emissions from electricity use and transportation, the total emissions were 38.56 kg CO<sub>2</sub>e for normal concrete and 39.93 kg CO<sub>2</sub>e for fly ash concrete. Fly ash concrete achieved a compressive strength of 24.23 MPa, which was 10.75% lower than that of normal concrete (27.15 MPa), but it still satisfied structural requirements. The emission index of normal concrete was 1.42 CO<sub>2</sub>e/MPa, while that of fly ash concrete was 1.65 CO<sub>2</sub>e/MPa. Although the use of fly ash reduced emissions during the material production phase, the overall effectiveness of emission reduction was influenced by logistical factors and transportation distances within the construction supply chain.*

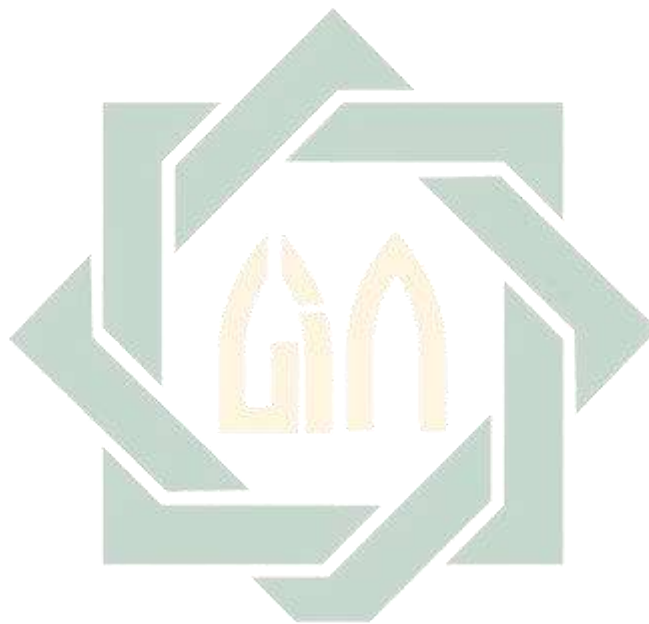
**Keywords:** carbon emissions, fly ash, concrete, Portland cement, compressive strength.

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....                              | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | ii   |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....                        | iii  |
| LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....                    | iv   |
| PERSEMBAHAN.....   | v    |
| MOTTO .....  | vi   |
| KATA PENGANTAR .....   | vii  |
| ABSTRAK.....   | viii |
| ABSTRACT.....  | ix   |
| DAFTAR ISI.....  | x    |
| DAFTAR GAMBAR.....   | xiii |
| DAFTAR TABEL.....  | xiv  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | xv   |
| BAB I.....   | 1    |
| PENDAHULUAN .....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                       | 3    |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                      | 3    |
| 1.5 Batasan Penelitian .....                                     | 3    |
| BAB II.....  | 4    |
| KAJIAN PUSTAKA.....  | 4    |
| 2.1 Definisi Beton .....   | 4    |
| 2.1.1 Karakteristik Beton.....                                   | 5    |
| 2.2 Semen <i>Portland</i> .....                                  | 5    |
| 2.3 <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang).....                            | 6    |
| 2.4 Beton dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> .....                 | 7    |
| 2.5 Keleccakan ( <i>Workability</i> ) .....                      | 8    |
| 2.6 Slump Test.....  | 9    |
| 2.7 Perawatan ( <i>Curing</i> ) .....                            | 10   |
| 2.8 Jejak Karbon ( <i>Carbon Footprint</i> ) .....               | 11   |
| 2.9 Integrasi Ke-Islaman .....                                   | 12   |
| 2.9.1 Manusia sebagai Khalifah di Bumi (QS. Al-Baqarah: 30)..... | 12   |

|  |    |
|--|----|
| 2.9.2 Prinsip Menjaga Keseimbangan Alam (Mizan) (QS. Ar-Rahman: 7–9).....            | 13 |
| 2.9.3 Larangan Berbuat Kerusakan (Fasad) di Bumi (QS. Ar-Rum: 41).....               | 13 |
| 2.9.4 Konsep Keberlanjutan dalam Perspektif Islam .....                              | 14 |
| 2.9.5 Relevansi Nilai Islam dengan Pengurangan Jejak Karbon di Industri Konstruksi.. | 14 |
| 2.10 Penelitian Terdahulu .....  | 15 |
| BAB III .....  | 17 |
| METODE PENELITIAN.....   | 17 |
| 3.1 Tahapan Penelitian .....   | 17 |
| 3.2 Alat dan Bahan .....   | 18 |
| 3.2.1 Alat .....   | 18 |
| 3.2.2 Bahan .....  | 20 |
| 3.3 Karakterisasi Material .....   | 22 |
| 3.4 Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> ) .....                           | 28 |
| 3.5 Pembuatan Benda Uji.....   | 28 |
| 3.6 Perawatan Benda Uji.....   | 29 |
| 3.7 Pengujian Benda Uji.....   | 30 |
| 3.8 Perhitungan Emisi Karbon .....   | 30 |
| 3.9 Analisis Data .....  | 32 |
| BAB IV .....   | 34 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN.....  | 34 |
| 4.1 Karakteristik Material .....   | 34 |
| 4.1.1 Agregat kasar.....   | 34 |
| 4.1.2 Agregat halus.....   | 36 |
| 4.1.3 Semen .....  | 39 |
| 4.1.4 Fly ash.....   | 40 |
| 4.2 Mix Design.....  | 41 |
| 4.3 Uji <i>Slump</i> .....   | 46 |
| 4.4 Perawatan Benda Uji.....   | 47 |
| 4.5 Pengujian Kuat Tekan Beton.....  | 47 |
| 4.5.1 Pengujian kuat tekan beton normal .....  | 47 |
| 4.5.2 Pengujian kuat tekan beton substitusi fly ash.....                             | 49 |
| 4.5.3 Perbandingan uji kuat tekan .....  | 51 |
| 4.6 Emisi Karbon Dioksida (Emisi CO <sub>2</sub> ) .....                             | 52 |
| 4.6.1 Emisi karbon dioksida beton normal .....                                       | 52 |
| 4.6.2 Emisi karbon dioksida beton dengan substitusi <i>fly ash</i> 15%.....          | 55 |

|   |    |
|---|----|
| 4.7 Perbandingan Emisi CO <sub>2</sub> Dengan Kuat Tekan antara Beton Normal dan Beton dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 15% ..... | 58 |
| BAB V .....   | 61 |
| PENUTUP.....  | 61 |
| 5.1 Kesimpulan.....   | 61 |
| 5.2 Saran.....  | 61 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 63 |
| LAMPIRAN.....   | 66 |



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian .....                         | 17 |
| Gambar 3. 2 Uji berat jenis pada semen .....                    | 23 |
| Gambar 3. 3 Uji kehalusan pada semen.....                       | 23 |
| Gambar 3. 4 Uji berat jenis fly ash .....                       | 24 |
| Gambar 3. 5 Uji kehalusan fly ash.....                          | 24 |
| Gambar 3. 6 Uji berat jenis agregat halus.....                  | 25 |
| Gambar 3. 7 Uji gradasi analisa saringan agregat halus .....    | 25 |
| Gambar 3. 8 Uji kadar air agregat halus .....                   | 26 |
| Gambar 3. 9 Uji berat jenis agregat kasar.....                  | 27 |
| Gambar 3. 10 Uji gradasi analisa saringan agregat kasar .....   | 27 |
| Gambar 3. 11 Uji kadar air agregat kasar .....                  | 28 |
| Gambar 4. 1 Hasil uji gradasi agregat kasar .....               | 36 |
| Gambar 4. 2 Hasil uji gradasi agregat halus .....               | 38 |
| Gambar 4. 3 Hasil uji slump beton segar.....                    | 46 |
| Gambar 4. 4 Perawatan benda uji 28 hari.....                    | 47 |
| Gambar 4. 5 Pengujian kuat tekan beton normal.....              | 49 |
| Gambar 4. 6 Pengujian kuat tekan beton substitusi fly ash ..... | 50 |
| Gambar 4. 7 Perbandingan variasi kuat tekan beton.....          | 51 |
| Gambar 4. 8 Emisi karbon beton normal.....                      | 54 |
| Gambar 4. 9 Emisi karbon beton substitusi fly ash 15%.....      | 57 |
| Gambar 4. 10 Indeks emisi variasi beton.....                    | 58 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Nilai slump yang dianjurkan untuk berbagai pekerjaan konstruksi.....  | 9  |
| Tabel 3. 1 Daftar alat penelitian.....   | 18 |
| Tabel 3. 2 Daftar bahan penelitian.....  | 21 |
| Tabel 3. 3 Faktor Emisi CO <sub>2</sub> e Material Penyusun Beton .....          | 31 |
| Tabel 3. 4 Faktor Emisi CO <sub>2</sub> e Transportasi Material.....             | 32 |
| Tabel 3. 5 Faktor Emisi CO <sub>2</sub> e Penggunaan Listrik.....                | 32 |
| Tabel 4. 1 Hasil pengujian kadar air agregat kasar.....                          | 34 |
| Tabel 4. 2 Hasil pengujian berat jenis agregat kasar .....                       | 34 |
| Tabel 4. 3 Hasil pengujian analisa gradasi agregat kasar .....                   | 35 |
| Tabel 4. 4 Hasil pengujian kadar air agregat halus.....                          | 36 |
| Tabel 4. 5 Hasil pengujian berat jenis agregat halus .....                       | 37 |
| Tabel 4. 6 Hasil pengujian analisa gradasi agregat halus .....                   | 37 |
| Tabel 4. 7 Hasil pengujian berat jenis semen .....                               | 39 |
| Tabel 4. 8 Hasil pengujian analisa kehalusan semen.....                          | 39 |
| Tabel 4. 9 Hasil pengujian berat jenis fly ash.....                              | 40 |
| Tabel 4. 10 Hasil pengujian analisa kehalusan fly ash .....                      | 40 |
| Tabel 4. 11 Perkiraan kadar air bebas (kg/m <sup>3</sup> ).....                  | 42 |
| Tabel 4. 12 Komposisi beton normal dan beton substitusi fly ash 5 sampel.....    | 46 |
| Tabel 4. 13 Hasil pengujian slump pada beton.....                                | 46 |
| Tabel 4. 14 Hasil pengujian kuat tekan beton normal.....                         | 48 |
| Tabel 4. 15 Hasil pengujian kuat tekan beton substitusi fly ash 15%.....         | 50 |
| Tabel 4. 16 Emisi karbon bahan baku beton normal .....                           | 52 |
| Tabel 4. 17 Emisi karbon transportasi material beton normal.....                 | 52 |
| Tabel 4. 18 Emisi karbon penggunaan listrik beton normal .....                   | 53 |
| Tabel 4. 19 Rekapitulasi emisi karbon beton normal .....                         | 54 |
| Tabel 4. 20 Emisi karbon bahan baku beton substitusi fly ash 15%.....            | 55 |
| Tabel 4. 21 Emisi karbon transportasi material beton substitusi fly ash 15%..... | 56 |
| Tabel 4. 22 Emisi karbon penggunaan listrik beton substitusi fly ash 15% .....   | 56 |
| Tabel 4. 23 Rekapitulasi emisi karbon beton substitusi fly ash 15%.....          | 57 |
| Tabel 4. 24 Indeks emisi CO <sub>2</sub> dengan kuat tekan .....                 | 58 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| Lampiran 1 Proses pencetakan beton normal .....                     | 66 |
| Lampiran 2 Proses pencetakan beton substitusi fly ash.....          | 66 |
| Lampiran 3 Hasil pencetakan benda uji beton substitusi fly ash..... | 67 |
| Lampiran 4 Pelaksanaan capping pada benda uji .....                 | 67 |
| Lampiran 5 Pengujian kuat tekan benda uji BK-1 .....                | 68 |
| Lampiran 6 Pengujian kuat tekan benda uji BK-2.....                 | 68 |
| Lampiran 7 Pengujian kuat tekan benda uji BK-3 .....                | 69 |
| Lampiran 8 Pengujian kuat tekan benda uji BK-4.....                 | 69 |
| Lampiran 9 Pengujian kuat tekan benda uji BK-5.....                 | 70 |
| Lampiran 10 Kondisi benda uji setelah pengujian kuat tekan .....    | 70 |
| Lampiran 11 Pengujian kuat tekan benda uji BFA-1.....               | 71 |
| Lampiran 12 Pengujian kuat tekan benda uji BFA-2.....               | 71 |
| Lampiran 13 Pengujian kuat tekan benda uji BFA-3.....               | 72 |
| Lampiran 14 Pengujian kuat tekan benda uji BFA-4.....               | 72 |
| Lampiran 15 Pengujian kuat tekan benda uji BFA-5.....               | 73 |



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., & Widarto, H. (2025). Analisis Karakteristik Beton Menggunakan Pasir dan Kerikil Sungai Mata Allo Kabupaten Enrekang Berdasarkan Tinjauan Kuat Tekan dan Tarik Belah. *Jurnal Teknik Silitek*, 5(02), 739-750.
- Althoey, F., Ansari, W. S., Sufian, M., & Deifalla, A. F. (2023). Advancements in Low-Carbon Concrete As A Construction Material For The Sustainable Built Environment. *Developments In The Built Environment*, 16, 100284.
- Amiri, S. M. H. (2025). Faith and Footprints: How Islamic Teachings Can Shape Climate-Conscious Behavior. *Available at SSRN 5578776*.
- Apritama, M. R., Suryawan, I. W. K., & Adicita, Y. (2020). Analisis Hidrolis dan Jejak Karbon Jaringan Distribusi Air Bersih di Pulau Kecil Padat Penduduk ( Pulau Lengkang Kecil , Kota Batam ) *Hydraulic Analysis and Carbon Footprint of Water Supply Network in Small Populated Islands ( Lengkang Kecil Island , Batam City )*. 21(2), 227–235.
- Arsyah, R. P., Yuwono, B. E., Sipil, J. T., & Trisakti, U. (2023). Pancang ( Studi Kasus : Proyek Konstruksi Indoor Multifunction Stadium Gbk ) *Identification Of Carbon Footprint in Precast ( Case Study : Indoor Multifunction Stadium GBK )*. 01(02), 133–138.
- Asof, M., Arita, S., Andalia, W., & Naswir, M. (2022). Analisis Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Industri Pupuk Analysis of Characteristics, Potential and Utilization of Fly Ash and Bottom Ash PLTU Fertilizer Industry. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(1), 44-50.
- Azzahra, S., & Maysithoh, S. (2024). Peran Muslim Dalam Dalam Pelestarian Lingkungan: Ajaran dan Praktik. *At-Thullab: Jurnal Mahasiswa Studi Islam*, 6(1), 1568-1579.
- Bastian, M. A., Muda, A. H., Amnifu, L. S., & Lily, M. P. (2025). Pengaruh Karakteristik Material Fly Ash PLTU Bolok dan Fly Ash PLTU Timor-1 Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 4(I), 260-266.
- Chandra, M. R., Mangangka, I. R., & Windah, R. S. (2024). Pemanfaatan Fly Ash dari PLTU-3 SULUT untuk Substitusi Sebagian Semen Pada Produksi Paving Block Sebagai Upaya Pengurangan Limbah Fly Ash Dan Emisi CO<sub>2</sub>. *TEKNO*, 22(87), 609-618.
- Fernando, V., Hunggurami, E., & Sir, T. M. (2023). Pengaruh Perawatan Beton (Curing) Menggunakan Water Curing dan Membrane Curing Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 137-144.

- Firdaus, A., Riyanto, S., & Rahman, A. (2024). Pengaruh Fly Ash dan Zeolit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 5(4), 50-56.
- Hadi, Z., Gandi, S., & Sarie, F. (2023). Pengaruh Penambahan Batu Zeolit dan Semen Portland Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung: The Effect Of Additional Stone Zeolite And Portland Cement On The Carrying Capacity Of Clay. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*, 5(2), 136-147.
- Hidayanto, M. (2024). Pengaruh Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan Bahan Katalis dan Non Katalis. *Storage: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, 3(3), 185-190.
- Ilyas, R. (2016). Manusia Sebagai Khalifah Dalam Perspektif Islam. *Mawaizh: Jurnal Dakwah Dan Pengembangan Sosial Kemanusiaan*, 7(1), 169-195.
- Karmadi, K. A., & Widyasari, N. L. (2024). Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Portland Untuk Mengurangi Emisi Karbon. *Jurnal Ecocentrism*, 4(2), 54-66.
- Kasanah, N. (2022). Analisis Potensi Emisi CO<sub>2</sub> Oleh Berbagai Jenis Kendaraan Bermotor di Jalan Raya Kemantren Kabupaten Sidoarjo Analysis of Potential CO<sub>2</sub> Emissions by Various Types of Motorized Vehicles on Highway Kemantren Sidoarjo Regency. 9, 70–75.
- Muttaqien, A., nowo Martono, D., & Gusdini, N. (2023). Analisis Daur Hidup Produksi Beton Fly Ash sebagai Upaya Mengurangi Dampak Emisi CO<sub>2</sub>. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 68-75.
- Olii, M. R., Wahab, A. A., Ichsan, I., Djau, R. A., & Nento, S. (2023). Beton Hijau Menggunakan Fly Ash Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 11-20.
- Perdanawati, R.A. et al. (2024) ‘The Potential of Seawater in Geopolymer Mixtures – Effect of Alkaline Activator , Seawater , and Steam Curing on the Strength of Geopolymer Paste’, 25(10), pp. 370–380.
- Rizkiyah, Z. A., & Erwanto, D. (2023). Menghadapi Fenomena Kerusakan di Muka Bumi:(Kajian Lafadz Fasad Dalam Qs Ar-Rum: 41). *MUSHAF JOURNAL: Jurnal Ilmu Al Quran dan Hadis*, 3(2), 218-228.
- Santoso, J., & Indrawan, S. E. (2025). Pendekatan Arsitektur Bambu yang Ramah Lingkungan Untuk Pengurangan Jejak Karbon Di Bali. *JURNAL ARSITEKTUR PENDAPA*, 8(1), 11-17.
- Satya, D. P., & Faza, R. (2021). Carbon Footprint Identification of Ready Mix Concrete in Building Project. *International Journal on Livable Space*, 6(2), 45-52.

- Septiani, V., Suryan, V., & Amalia, D. (2024). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Campuran Beton: Rancangan Beton, Kekuatan Beton, dan Karakteristik Beton. *Journal of Engineering and Transportation*, 1(4).
- Serlina, Y., Putra, F. A., Lestari, R. A., & Bachtiar, V. S. (2024). Analisis Jejak Karbon dari Aktivitas Transportasi di Universitas Andalas. *Journal Serambi Engineering*, 9(3).
- Simmons, C. (2013). Construction Scope 3 ( Embodied ) Greenhouse Gas Accounting and Reporting Guidance. 3(March).
- Sisdianto, E. (2025). Analisis Kontribusi Akuntansi Lingkungan Terhadap Pengurangan Jejak Karbon di Pt. Semen Indonesia Tbk. *Jurnal ilmiah ekonomi, manajemen, bisnis dan akuntansi*, 2(1), 392-405.
- Suseno, S., & Farady, A. (2020). Pemilihan Alternatif Bahan Baku Fly Ash Menggunakan Metode Fuzzy-Topsis di PT. Semen Gresik. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 2(2), 86-96.
- Tiorivaldi, T., & Abriantoro, A. P. (2025). Pemanfaatan Fly Ash dalam Beton Scc: Analisis Emisi Karbon Dan Kinerja Mekanik. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 10(2), 123-132.
- Tushar, Q., Bhuiyan, M. A., Abunada, Z., Lemckert, C., & Giustozzi, F. (2025). Carbon Footprint and Uncertainties of Geopolymer Concrete Production: A Comprehensive Life Cycle Assessment (LCA). *C*, 11(3), 55.
- Veronica, D. I., & Fasa, M. I. (2022). Pemanfaatan Sumber Daya Alam Terhadap Pembangunan Berkelanjutan dalam Persepektif Ekonomi Islam. *Jurnal Dinamika Ekonomi Syariah*, 9(2), 200-210.
- Walewangko, B. Y., Sompie, O., & Sumampouw, J. (2020). Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Tras pada Tanah Lempung Terhadap NILAI CBR. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 71-76.
- Wulandari, C. E. (2024). Integrasi Prinsip Pembangunan Berkelanjutan Dalam Kurikulum Pendidikan Islam: Sebuah Tinjauan Literatur: Model Integrasi Pembangunan Berkelanjutan Dalam Kurikulum Pendidikan Islam Dan Tantangan Dan Peluang Dalam Implementasi Integrasi Pembangunan Berkelanjutan. *TarbiyahMU*, 4(2), 22-29.
- Ximenes, A. M. D. S., Halim, A., & Suraji, A. (2021). Pengaruh Komposisi Campuran Beton dan Jenis Semen Terhadap Keleccakan (Concrete Workability) dan Kuat Tekan Beton. In *The 4th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2021)*, *Ciastech* (pp. 529-53