

OPTIMASI ABU TERBANG DARI PLTU CILEGON SEBAGAI PENGANTI KLINDER DALAM PEMBUATAN SEMEN PORTLAND POZZOLAN

KYLA ANANDA ALIFIA



PROGRAM STUDI ANALISIS KIMIA
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN PROYEK AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan penelitian dengan judul “Optimasi Abu terbang dari PLTU Cilegon Sebagai Pengganti Klinker dalam Pembuatan Semen Portland Pozzolan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka pada bagian akhir penelitian ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Kyla Ananda Alifia
J0312211161

ABSTRAK

KYLA ANANDA ALIFIA. Optimasi Abu terbang dari PLTU Cilegon Sebagai Pengganti Klinker dalam Pembuatan Semen Portland Pozzolan. Dibimbing oleh DEDEN SAPRUDIN dan FRIENTY IRDIANA.

Industri semen menyumbang emisi CO₂ karena proses produksi klinker. Penggunaan klinker dikurangi untuk menurunkan emisi CO₂. Salah satu pengganti klinker adalah abu terbang yang memiliki kandungan pozzolan tinggi. Penelitian ini bertujuan menentukan proporsi optimal abu terbang dan mengkaji pengaruh terhadap sifat fisika, dan kimia sebagai pengganti sebagian klinker dalam pembuatan semen portland pozzolan. Pengujian yang dilakukan, yaitu kadar hilang pijar, CaO bebas, oksida dengan XRF, bagian tak larut, total karbon, kuat tekan, dan *setting time*. Hasil proporsi abu terbang optimal, yaitu konsentrasi abu terbang 18% memiliki kuat tekan cukup tinggi pada umur 3, 7, dan 28 hari secara berurutan diperoleh sebesar 135, 25 kg/cm², 208, 33 kg/cm², dan 287,27 kg/cm². Hasil penelitian bagian tak larut sebesar 1,48%, hilang pijar 2,27%, CaO bebas 0,65%, SiO₂ 23,28%, Al₂O₃ 7,71%, Fe₂O₃ 5,31%, CaO 54,28%, MgO 3,17%, SO₃ 1,84%, total karbon 0,35%, waktu ikat awal 186 menit, dan waktu ikat akhir 285 menit. Semen portland pozzolan abu terbang mengurangi emisi CO₂ karena menurunkan kebutuhan klinker.

Kata kunci: abu terbang, klinker, optimal, pozzolan, semen

ABSTRACT

KYLA ANANDA ALIFIA. Optimization of Fly Ash from Cilegon PLTU as a Clinker Substitute in the Manufacture of Portland Pozzolan Cement. Supervised by DEDEN SAPRUDIN and FRIENTY IRDIANA.

The cement industry contributed to CO₂ emissions due to the clinker production process. Clinker usage was reduced to lower CO₂ emissions. One of the clinker substitutes was fly ash, which had a high pozzolanic content. This study aimed to determine the optimal proportion of fly ash and to examine its effect on the physical and chemical properties as a partial replacement for clinkers in the manufacture of portland pozzolan cement. The tests conducted included measurements of loss on ignition, free CaO, oxide composition using XRF, insoluble residue, total carbon, compressive strength, and setting time. The results of the optimal fly ash proportion namely a fly ash concentration of 18%, showed a fairly high compressive strength at the ages of 3, 7, and 28 days, which were 135.25 kg/cm², 208.33 kg/cm², and 287.27 kg/cm², respectively. The results of the study showed that the insoluble part was 1.48%, loss on ignition 2.27%, free CaO 0.65%, SiO₂ 23.28%, Al₂O₃ 7.71%, Fe₂O₃ 5.31%, CaO 54.28%, MgO 3.17%, SO₃ 1.84%, total carbon 0.35%, initial setting time 186 minutes, and final setting time 285 minutes. Portland pozzolan cement with fly ash reduced CO₂ emissions because it reduced clinker requirements.

Keywords: cement, clinker, fly ash, optimal, pozzolan



Judul Proyek : Optimasi Abu terbang dari PLTU Cilegon Sebagai Pengganti Klinker
Tugas Akhir dalam Pembuatan Semen Portland Pozzolan
Nama : Kyla Ananda Alifia
NIM : J0312211161

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Deden Saprudin, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Farida Laila, S.Si., M.Si.
NIP. 197611032014092002

Dekan Sekolah Vokasi IPB University
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP. 196607171992031003

Tanggal Ujian: 04 Juli 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2024 sampai bulan Maret 2025 ini ialah “Optimasi Abu terbang dari PLTU Cilegon Sebagai Pengganti Klinker dalam Pembuatan Semen Portland Pozzolan”.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam menyelesaikan karya ilmiah ini, terutama kepada Didin Jahidin selaku HRD yang telah memberi izin pelaksanaan penelitian. Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Farida Laila, S.Si., M.Si. selaku ketua Program Studi Analisis Kimia. Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Deden Saprudin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih kepada Dr. Novia Amalia Sholeha, S.Si. selaku dosen penguji ujian proyek akhir. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Frienty Irdiana, S.T. selaku pembimbing lapangan serta staf laboratorium yang telah membantu dalam pengerjaan karya ilmiah.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Muhammad Djufri dan Ibu Ria Rosliana selaku kedua orang tua yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya kepada penulis saat mengerjakan tugas akhir, serta Qithara Kamila Fathin dan Khalisa Almaira Sakhi selaku adik yang selalu siap mendengarkan apapun curhatan penulis. Teman-teman yang telah memberikan arahan dan ilmu pengetahuan kepada penulis. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Kyla Ananda Alifia

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR PERSAMAAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Semen	4
2.2 Bahan Baku Pembuatan Semen	5
2.3 Pembuatan Semen	6
2.4 Semen Portland	7
2.5 Semen Portland Pozzolan	8
2.6 Klinker	8
2.7 Abu terbang	9
2.8 <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF) ARL 9900	12
2.9 ELTRA CS-580	14
III METODE	15
3.1 Lokasi dan Waktu	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur	15
3.4 Analisis Data	24
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Pengujian Kimia Semen Portland Pozzolan	25
4.2 Hasil Pengujian Fisika Semen Portland Pozzolan	48
V PENUTUP	57
5.1 Simpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	63
RIWAYAT HIDUP	76



DAFTAR TABEL

2.1	Suhu reaksi pembentukan klinker	9
2.2	Komposisi kimia klinker	9
2.3	Komposisi kimia abu terbang	11
3.1	Variasi konsentrasi abu terbang	18
3.2	Pengkondisian alat XRF ARL 9900	19
3.3	Toleransi waktu pengukuran kuat tekan	23
4.1	Hasil kadar hilang pijar dalam semen portland pozzolan	26
4.2	Hasil kadar CaO bebas dalam semen portland pozzolan	30
4.3	Hasil pengujian kadar bagian tak larut semen portland pozzolan	32
4.4	Hasil kadar oksida dalam abu terbang, klinker, dan gipsum	34
4.5	Hasil pengujian abu terbang berdasarkan SNI 2460 2014	34
4.6	Hasil kadar oksida mayor dan minor semen portland pozzolan	35
4.7	Senyawa potensial semen portland pozzolan	39
4.8	Hasil pengujian total karbon semen portland pozzolan	46
4.9	Hasil konsistensi normal semen portland pozzolan	48
4.10	Hasil pengujian waktu ikat semen portland pozzolan	50
4.11	Hasil pengujian kuat tekan semen portland pozzolan	52

DAFTAR GAMBAR

2.1	Semen	4
2.2	Gipsum	5
2.3	Abu terbang	11
2.4	Proses terjadinya sinar-x	12
2.5	Skema alat XRF	13
2.6	Skema alat ELTRA CS-580	14
3.1	Skema penelitian	16
4.1	Hubungan kadar hilang pijar dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	27
4.2	Hubungan kadar CaO bebas dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	31
4.3	Hubungan kadar bagian tak larut dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	33
4.4	Hubungan kadar SiO ₂ dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	36
4.5	Hubungan kadar Al ₂ O ₃ dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	37
4.6	Hubungan kadar Fe ₂ O ₃ dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	38
4.7	Hubungan kadar senyawa potensial C ₃ S (□), C ₂ S (■), C ₃ A (■), dan C ₄ AF (■) dengan konsentrasi abu terbang	39
4.8	Hubungan kadar CaO dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	40

4.9	Hubungan kadar MgO dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	41
4.10	Hubungan kadar SO ₃ dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	42
4.11	Hubungan kadar oksida minor K ₂ O (□), Na ₂ O (■), TiO ₂ (■), SrO (■) dengan konsentrasi abu terbang	43
4.12	Hubungan kadar oksida minor P ₂ O ₅ (□), Mn ₂ O ₃ (■), Cr ₂ O ₃ (■), ZnO (■) dengan konsentrasi abu terbang	45
4.13	Hubungan kadar total karbon dengan konsentrasi abu terbang pada ulangan 1 (□), 2 (■), 3 (■), dan rata-rata (■)	47
4.14	Hubungan kadar konsistensi normal dengan konsentrasi abu terbang	49
4.15	Hubungan waktu ikat awal (—◆—), dan akhir (—□—) dengan konsentrasi abu terbang	50
4.16	Hubungan kuat tekan umur 3 (—x—), 7 (—○—), dan 28 (—▲—) hari dengan konsentrasi abu terbang	52
4.17	Proses hidrasi dalam semen	56

DAFTAR LAMPIRAN

1	Perhitungan kadar air gipsum dan abu terbang	64
2	Perhitungan kadar hilang pijar semen portland pozzolan	65
3	Perhitungan standardisasi HCl 1/14 N	66
4	Perhitungan kadar CaO bebas semen portland pozzolan	67
5	Perhitungan kadar bagian tak larut semen portland pozzolan	68
6	Kadar oksida mayor semen portland pozzolan dengan XRF	69
7	Senyawa potensial semen portland pozzolan	70
8	Kadar oksida minor semen portland pozzolan dengan XRF	71
9	Hasil pengujian total karbon semen portland pozzolan	72
10	Hasil konsistensi normal semen portland pozzolan	73
11	Hasil pengujian waktu ikat semen portland pozzolan	74
12	Hasil pengujian kuat tekan semen portland pozzolan	75

DAFTAR PERSAMAAN

1	Rumus perhitungan pengujian kadar air	17
2	Rumus perhitungan normalitas HCl	19
3	Rumus perhitungan kadar CaO bebas	20
4	Rumus perhitungan kadar hilang pijar	20
5	Rumus perhitungan kadar bagian tak larut	21
6	Rumus perhitungan total karbon organik	22
7	Rumus penentuan konsistensi normal	23
8	Rumus penentuan kuat tekan	24
9	Reaksi kalsinasi 1	27



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

IPB University

10	Reaksi kalsinasi 2	27
11	Reaksi kadar CaO bebas 1	29
12	Reaksi kadar CaO bebas 2	29
13	Reaksi kadar CaO bebas 3	29
14	Reaksi kadar CaO bebas 4	29
15	Reaksi total karbon	47
16	Reaksi total karbon anorganik	47
17	Reaksi antara C ₃ A dengan gipsum	51
18	Reaksi pembentukan C ₂ S	55
19	Reaksi pembentukan C ₃ S	55
20	Reaksi hidrasi C ₂ S	55
21	Reaksi hidrasi C ₃ S	55
22	Reaksi antara silika dengan abu terbang	55
23	Reaksi antara alumina dengan abu terbang	55