



PEMANFAATAN *FLY BOTTOM ASH* (FABA) UNTUK NETRALISASI AIR ASAM TAMBANG SECARA PASIF

MUHAMAD HADID HUSADA



ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pemanfaatan *Fly Bottom ash* (FABA) untuk Netralisasi Air Asam Tambang Secara Pasif” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun 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 di bagian akhir tesis ini.

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

Bogor, Agustus 2025

Muhamad Hadid Husada
P050222050



RINGKASAN

MUHAMAD HADID HUSADA. Pemanfaatan *Fly Bottom ash* (FABA) untuk Netralisasi Air Asam Tambang Secara Pasif. Dibimbing oleh ANAS MIFTAH FAUZI dan IRDIKA MANSUR.

Kegiatan pertambangan batubara menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan, salah satunya berupa air asam tambang yang memiliki pH rendah dan mengandung logam berat. Di sisi lain, limbah padat hasil pembakaran batubara seperti *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) memiliki karakter basa yang berpotensi digunakan untuk menetralkan air asam tersebut. Pengelolaan pasif dinilai lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan pengolahan aktif, sehingga perlu dikembangkan metode pemanfaatan FABA dalam sistem pasif sebagai solusi pengolahan air asam tambang.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem peningkatan pH dan penurunan kandungan logam berat pada air asam tambang menggunakan formulasi balok FABA tenggelam dan mengapung pada sistem pasif. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan sistem batch dalam skala laboratorium selama 16 hari untuk media balok FABA tenggelam dan 5 hari untuk sistem mengapung. Parameter yang dianalisis meliputi pH air, kadar logam berat, serta perubahan unsur pada FABA tenggelam maupun mengapung menggunakan analisis *micro X-ray fluorescence*. Uji statistik ANOVA digunakan untuk menilai signifikansi pengaruh perlakuan terhadap peningkatan pH dan penurunan logam. Serta analisis *cost and benefit* untuk aspek pemanfaatan dari segi ekonomi.

Hasil menunjukkan bahwa sistem vertikal dengan formulasi FABA:semen 85:15 paling efektif, dengan pH akhir mencapai 7,71 dan penurunan kadar besi sebesar 91,93%. Sistem horizontal juga efektif dengan pH 7,31. Kedua sistem menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan uji ANOVA. Sistem mengapung menunjukkan peningkatan pH hingga 7,25 dalam waktu 5 hari, namun tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar variasi perlakuan secara statistik. Hasil *micro X-ray fluorescence* menunjukkan redistribusi unsur basa seperti kalsium dan magnesium serta penurunan unsur logam berat seperti besi dan mangan.

Aspek komparasi penghematan kapur dan FABA, pemanfaatan FABA menunjukkan efisiensi biaya yang tinggi karena menggunakan limbah yang mudah didapat dan murah dengan jumlah yang melimpah, serta tidak memerlukan teknologi pengolahan yang kompleks. Nilai ekonomis bertambah melalui pengurangan biaya pengelolaan limbah FABA dan pengolahan air asam tambang, sekaligus memberikan manfaat lingkungan melalui perbaikan kualitas air. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan ini berpotensi diterapkan pada skala lebih luas dan menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah pertambangan.

Temuan dari penelitian ini memperkuat bahwa FABA, baik dalam bentuk balok maupun media terapung, dapat dimanfaatkan sebagai alternatif material fungsional dalam sistem pasif yang efektif dan ekonomis untuk netralisasi air asam tambang. Strategi tersebut juga dipandang mendukung konsep ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah industri sebagai solusi lingkungan yang berkelanjutan.

Kata kunci: Air asam tambang, Ekonomi sirkular, FABA, Netralisasi, Sistem pasif

@Hak_cipta_mftk-IPB_University

SUMMARY

MUHAMAD HADID HUSADA. Utilization of Fly Bottom Ash (FABA) for Passive Neutralization Acid Mine Drainage. Supervised by ANAS MIFTAH FAUZI and IRDIKA MANSUR.

Coal mining activities produce waste that has the potential to pollute the environment, one of which is acid mine drainage, which has a low pH and contains heavy metals. On the other hand, solid waste from coal combustion, such as fly ash and bottom ash (FABA), has a basic character that has the potential to be used to neutralize acidic water. Passive management is considered more economical and environmentally friendly than active processing, so it is necessary to develop a method for utilizing FABA in a passive system as a solution for acid mine drainage treatment.

This study aims to design a system to reduce heavy metal content and increase pH in acid mine drainage using passive treatment of FABA block and floating FABA formulations. The research method was carried out experimentally using a batch system on a laboratory scale for 16 days for the block media and 5 days for the floating system. The parameters analyzed included pH, heavy metal content, and changes in elements using microX-ray fluorescence analysis. The ANOVA statistical test was used to assess the significance of the effect of treatment on increasing pH and reducing metals. As well as cost and benefit analysis for the utilization aspect from an economic perspective. The results showed that the vertical system with the FABA: cement 85:15 formulation was the most effective, with a final pH reaching 7.71 and a reduction in iron content of 91.93%. The horizontal system was also effective with a pH of 7.31. Both systems showed significant differences based on the ANOVA test. The floating system showed an increase in pH to 7.25 within 5 days, but did not show a statistically significant difference between treatment variations. The results of micro X-ray fluorescence showed a redistribution of basic elements such as calcium and magnesium and a decrease in heavy metal elements such as iron and manganese.

Comparatively, lime and FABA savings demonstrate high cost efficiency because they utilize readily available and inexpensive waste in abundant quantities, and do not require complex processing technologies. Economic value is increased through reduced FABA waste management costs and acid mine drainage treatment, while also providing environmental benefits through improved water quality. This demonstrates the potential for broader application and a sustainable solution for mining waste management.

The findings of this study confirm that FABA, both in block form and floating media, can be utilized as an alternative functional material in an effective and economical passive system for neutralizing acid mine drainage. This strategy is also seen as supporting the concept of a circular economy by utilizing industrial waste as a sustainable environmental solution.

Keywords: Acid mine drainage, Circular economy, FABA, Neutralization, Passive system



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PEMANFAATAN *FLY BOTTOM ASH (FABA)* UNTUK NETRALISASI AIR ASAM TAMBANG SECARA PASIF

MUHAMAD HADID HUSADA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan
Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Pen Penguji pada Ujian Tesis:

1. Dr. Mohammad Khotib, S.Si, M.Si

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.

Judul Tesis : Pemanfaatan *Fly Bottom ash* (FABA) untuk Netralisasi Air Asam
Tambang Secara Pasif
Nama : Muhamad Hadid Husada
NIM : P0502222050

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng.

Pembimbing 2:
Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, M.S.
NIP 195911061985011001

Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop
NIP 197003291996081001

Tanggal Sidang: 11 Agustus 2025

Tanggal Pengesahan:



PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan draft seminar tesis dengan judul *"Pemanfaatan Fly Bottom ash (FABA) untuk Netralisasi Air Asam Tambang Secara Pasif"*.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing utama, Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng. atas segala bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan draft tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada pembimbing kedua, Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc. yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran dan evaluasi demi penyempurnaan draft tesis.

Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada pihak perusahaan PT. Indomico Mandiri dan PT. Prima Kelola IPB yang telah memberikan dukungan pendanaan dan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini. Dukungan tersebut sangat berarti dalam menunjang kelancaran proses penelitian di lapangan. Penulis juga menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Ketua Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, MS. yang telah memberikan dukungan administratif serta arahan selama proses akademik berlangsung.

Tak lupa, penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kedua orang tua serta rekan-rekan PSL 2022 yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam draft tesis ini. Penulis berharap, tesis ini dapat menjadi pedoman dalam pelaksanaan penelitian di lapangan serta memberikan kontribusi yang bermanfaat dalam upaya penanggulangan air asam tambang, baik secara praktis maupun akademis, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang lingkungan.

Bogor, Agustus 2025

Muhamad Hadid Husada

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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.3 Manfaat	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Kerangka Pikir	4
1.6 Hipotesis	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Air Asam Tambang	6
2.1.1 Pengelolaan AAT	7
III METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Karakterisasi FABA	17
3.4 Persiapan Bahan	17
3.5 Optimasi dan Kombinasi Optimum FABA	18
3.6 Pembuatan Balok FABA Tenggelam	18
3.7 Uji Efektivitas Balok FABA Tenggelam dalam Sistem Horizontal dan Vertikal	18
3.8 Karakterisasi FABA mengapung	20
3.9 Pembuatan FABA mengapung	21
3.10 Penerapan FABA mengapung mengaping pada AAT	21
3.11 Pengukuran pH, Fe, Mn, dan TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	22
3.12 Pengukuran Kandungan Logam Berat pada FABA mengapung	22
3.13 Analisis Data	22
3.15 Komparasi penghematan biaya kapur dan FABA	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil karakterisasi FABA	23
4.2 Optimasi Balok FABA tenggelam	24
4.3 Pengujian balok FABA tenggelam pada drum vertical dan horizontal	25
4.4 Pengujian FABA Sistem Mengapung	30
4.5 Komparasi Penghematan Biaya Kapur dan FABA	35
4.6 Pembahasan Karaktersisasi FABA dan Optimasi Balok FABA Tenggelam	39
4.7 Pembahasan Balok FABA tenggelam pada sistem vertical dan horizontal	41
4.8 Pembahasan FABA Mengapung	44



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.

4.9 Analisis Komparasi Penghematan Biaya Kapur dan FABA	49
V SIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Simpulan	51
4.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	58

DAFTAR TABEL

1	Pemanfaatan <i>Fly ash</i> dan <i>Bottom ash</i> (FABA) (Ansari dan Prianto 2021)	12
2	Karakteristik <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	13
3	penelitian terdahulu mengenai FABA dan AAT	14
4	Parameter analisis karakterisasi bahan dasar	17
5	Karakteristik sistem vertical dan horizontal	18
6	Komposisi perbandingan dan volume FABA mengapung	20
7	Hasil karakterisasi Fly Ash Bottom Ash (FABA)	23
8	Kenaikan rata-rata pH masing-masing perlakuan selama 16 hari perlakuan	25
9	Hasil analisis uji One-way ANOVA	27
10	Hasil uji lanjut Duncan's terhadap parameter pH dan perlakuan	27
11	Hasil Uji kandungan unsur material balok FABA tenggelam sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan <i>Micro XRF</i>	29
12	Kenaikan rata-rata pH masing-masing perlakuan selama 5 hari treatment	31
13	Hasil analisis uji One-way ANOVA	32
14	Hasil Uji kandungan unsur material FABA mengapung sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan <i>Micro XRF</i>	34
15	Perbandingan Estimasi Kebutuhan Bahan Penetral (FABA dan Kapur) untuk Netralisasi AAT	36
16	Asumsi dasar evaluasi	37
17	Evaluasi penghematan biaya penggunaan FABA dan kapur	37
18	hasil analisis pengehematan biaya berdasarkan <i>Net Benefit</i> (NB)	38
19	Hasil analisis <i>Benefit-Cost Ratio</i> (BCR)	38
20	Hasil analisis skenario	38

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pikir penelitian	4
2	Strategi Penanganan Air Asam Tambang (AMD) (Dhir 2018).	8
3	Representasi skematis dari lahan basah. (a) Aerobik dan (b) Anaerobik (Dhir 2018).	9
4	Skema pulau terapung buatan (Harding. 2009)	11
5	Lokasi penelitian	16
6	Desain dan dimensi drum dengan posisi horizontal untuk uji balok FABA tenggelam	19
7	Desain dan dimensi drum dengan posisi vertikal untuk uji balok FABA tenggelam	20
8	Ilustrasi penempatan FABA mengapung	21
9	Kenaikan pH selama 8 jam treatment dengan perbandingan komposisi balok FABA tenggelam (U0=FABA 80%:Semen 20%) (a) U1= 100 g balok FABA tenggelam: 250 ml AAT, (b)	

U2= 200 g balok FABA tenggelam: 500 ml AAT, (c) Control= Tanpa perlakuan balok FABA tenggelam	24
Kenaikan pH selama 8 jam treatment dengan perbandingan komposisi balok FABA tenggelam (P0=FABA 85%:Semen 15%) (a) P1= 100 g balok FABA tenggelam: 250 ml AAT, (b) P2= 200 g balok FABA tenggelam: 500 ml AAT, (c) Control= Tanpa perlakuan balok FABA tenggelam	25
Grafik garis kenaikan pH hari ke 16 perlakuan	26
Hasil pengecekan logam berat setelah dan sebelum perlakuan balok FABA tenggelam dengan sistem vertical dan horizontal, (a.) penurunan konsentrasi TSS, (b). Peningkatan pH, (c). Penurunan konsentrasi Mn (mg/L), (d). Penurunan konsentrasi Fe(mg/L).	28
Distribusi sebaran unsur Ca dan Mn menggunakan <i>Micro</i> XRF. Dengan sistem vertical dan horizontal yang dibandingkan dengan kontrol.	30
Peningkatan nilai pH selama percobaan menggunakan sisten FABA mengapung, (a) Peningkatan pH dari kondisi awal sampai hari ke 5 percobaan, (b) Peningkatan pH pada hari ke 5 percobaan	31
Hasil pengecekan logam berat sebelum dan sesudah perlakuan dengan sistem FABA mengapung, (a) penurunan konsentrasi TSS, (b). Peningkatan pH, (c). Penurunan konsentrasi Mn (mg/L), (d). Penurunan konsentrasi Fe(mg/L).	33
Distribusi sebaran unsur Ca dan Mn menggunakan <i>Micro</i> XRF. F1 30 = FABA mengapung 33x33x8 cm, F2 25 = FABA mengapung 28x28x8 cm, F3 20 = FABA mengapung 23x23x8 cm, <i>Control</i> = Tanpa FABA mengapung.	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi balok FABA sebelum dan sesudah perlakuan sistem horizontal dan vertical	58
Lampiran 2 Dokumentasi floating FABA sebelum dan sesudah perlakuan	58
Lampiran 3 Perhitungan komparasi penghematan biaya Kapur dan FABA	59
Lampiran 4 Material FABA mengapung setelah perlakuan	60

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.