

**EFEKTIVITAS PERLAKUAN AKTIVASI *FLY ASH* BATUBARA
MENGUNAKAN NaOH DAN HCl DALAM MENINGKATKAN
KEMAMPUANNYA MENGADSORPSI KATION LOGAM BERAT
AIR ASAM TAMBANG**

**ANA ERMIYATI
NIM. 2120525320030**



**PROGRAM STUDI MAGISTER
PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2025**

**EFEKTIVITAS PERLAKUAN AKTIVASI *FLY ASH* BATUBARA
MENGUNAKAN NaOH DAN HCl DALAM MENINGKATKAN
KEMAMPUANNYA MENGADSORPSI KATION LOGAM BERAT
AIR ASAM TAMBANG**

**ANA ERMIYATI
NIM. 2120525320030**

TESIS
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
MAGISTER LINGKUNGAN
pada Program Studi Magister (S2) PSDAL PPs ULM

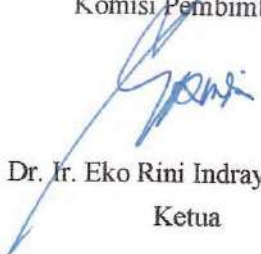
**PROGRAM STUDI MAGISTER
PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2025**

LEMBAR PENGESAHAN


Judul Tesis : Efektivitas Perlakuan Aktivasi *Fly Ash* Batubara Menggunakan NaOH dan HCl dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang
Nama : Ana Ermiyati
NIM : 2120525320030

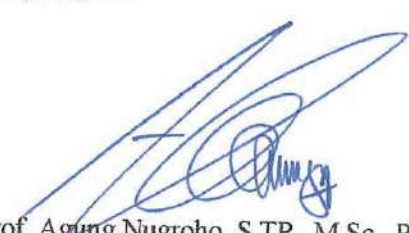
disetujui,

Komisi Pembimbing


Dr. Ir. Eko Rini Indrayatie, M.P


Ketua


Dr. Urip To Trisno Santoso, S.Si., M. Si.
Anggota I


Prof. Agung Nugroho, S.TP., M.Sc., Ph.D
Anggota II

diketahui,

Koordinator Program Studi
Magister (S2) PSDAL ULM


Dr. Dimi Sofarini, S.Pi, M.S.

Tanggal Lulus :

Direktur Pasca Sarjana
Universitas Lambung Mangkurat


Prof. Dr. H. Danang Biyatmoko, M.Si

Tanggal Wisuda :

SERTIFIKAT UJI PLAGIASI



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

NOMOR : 053/UNB.4/DP/2025

Sertifikat ini diberikan kepada:

Ana Ermiyati

Dengan Judul Tesis :

Efektivitas Perlakuan Aktivasi Fly Ash Batubara Menggunakan NaOH dan HCl

dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan

dinyatakan Bebas dari Plagiasi.

Banjarmasin, 17 Juni 2025

Direktur,



Prof. Dr. Ir. Damang Biyatmoko, M.Si.

NIP 196805071993031020



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ana Ermiyati
NIM : 2120525320030
Program Studi : S2 – Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Fakultas : Program Pascasarjana
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Tesis : **"Efektivitas Perlakuan Aktivasi *Fly ash* Batubara Menggunakan NaOH dan HCl dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang"**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis ini hasil jiplakan, plagiat maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, Juni 2025
Yang membuat pernyataan



Ana Ermiyati
NIM. 2120525320030

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ana Ermiyati
NIM : 2120525320030
Program Studi : S2 – Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Fakultas : Program Pascasarjana
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Tesis : **"Efektivitas Perlakuan Aktivasi *Fly ash* Batubara Menggunakan NaOH dan HCl dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang"**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis ini hasil jiplakan, plagiat maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, Juni 2025

Ana Ermiyati
NIM. 2120525320030

RINGKASAN

Ana Ermiyati. 2025. Efektivitas Perlakuan Aktivasi *Fly ash* Batubara Menggunakan NaOH dan HCl dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang. Pembimbing : Dr. Ir. Eko Rini Indrayatie, M.P; Dr. Uripto Trisno Santoso, S.Si., M. Si.; Prof. Agung Nugroho, S.TP., M.Sc., Ph.D.

Limbah *Fly ash* merupakan salah satu limbah yang berbahaya dan dapat berdampak pada kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia. *Fly ash* merupakan limbah yang dihasilkan sekitar 80% dari pembakaran batubara. Air asam tambang (AAT) timbul dari aktivitas tambang terutama batubara. Pada penelitian ini, bertujuan untuk memanfaatkan limbah *Fly ash* sebagai adsorben logam berat (Fe, Mn, dan Cd) untuk air asam tambang yang diaktivasi dengan NaOH dan HCl. Secara interpretasi adsorben *Fly ash* tanpa aktivasi disebut FA, teraktivasi HCl disebut HFA, dan teraktivasi dengan NaOH disebut NaFA.

Pengujian karekterisasi air asam tambang terhadap adsorben menggunakan AAS, SEM EDX, XRD, FTIR dan SAA diperoleh penyusun utama FA adalah silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), dan besi (Fe_2O_3). Kemampuan adsorpsi FA, HFA, dan NaFA disebabkan karena pengaruh luas permukaan porinya. Dari hasil penelitian, didapat luas permukaan pori adsorben adalah FA 9,499 m^2/g , HFA 21,994 m^2/g NaFA 26,945 m^2/g .

Serapan optimum FA sebelum aktivasi adalah Fe 99,9%, Mn 74,3% dan Cd 99,3%; setelah aktivasi dengan HCl (HFA) yaitu Fe 99,9%, Mn 85,1% dan Cd 99,7%; dan setelah aktivasi dengan NaOH (NaFA) yaitu Fe 99,9%, Mn 94,8% dan Cd 99,9%. Fe pada massa adsorben FA, HFA dan NaFA 15 g, Mn dan Cd pada massa adsorben FA, HFA dan NaFA 30 g. Secara keseluruhan NaFA lebih efektif menurunkan ion logam Fe dibandingkan FA dan HFA pada massa adsorben 10 g. Begitu pula dengan ion logam Mn dan Cd, NaFA paling efektif menurunkan kedua ion logam tersebut pada massa adsorben 30 g.

SUMMARY

Ana Ermiyati. 2025. Effectiveness of Coal *Fly ash* Activation Treatment Using NaOH and HCl in Increasing Ability to Adsorb Heavy Metal Cations from Acid Mine Drainage. Pembimbing : Dr. Ir. Eko Rini Indrayatie, M.P; Dr. Uripto Trisno Santoso, S.Si., M. Si.; Prof. Agung Nugroho, S.TP., M.Sc., Ph.D.

Fly ash waste is one of the hazardous wastes and can have an impact on environmental damage and human health. *Fly ash* is waste produced around 80% from coal combustion. Acid mine drainage (AMD) arises from mining activities, especially coal. In this study, the aim is to utilize *Fly ash* waste as an adsorbent of heavy metals (Fe, Mn, and Cd) for acid mine drainage activated with NaOH and HCl. In terms of interpretation, *Fly ash* adsorbent without activation is called FA, activated HCl is called HFA, and activated with NaOH is called NaFA.

Testing the characterization of acid mine drainage against adsorbents using AAS, SEM EDX, XRD, FTIR and SAA obtained the main components of FA are silica (SiO_2), aluminum (Al_2O_3), and iron (Fe_2O_3). The adsorption ability of FA, HFA, and NaFA is due to the influence of the pore surface area. From the results of the study, the pore surface area of the adsorbent was FA 9,499 m^2/g , HFA 21,994 m^2/g , NaFA 26,945 m^2/g .

The optimum absorption of FA before activation was Fe 99.9%, Mn 74.3% and Cd 99.3%; after activation with HCl (HFA) was Fe 99.9%, Mn 85.1% and Cd 99.7%; and after activation with NaOH (NaFA) was Fe 99.9%, Mn 94.8% and Cd 99.9%. Fe in the adsorbent mass of FA, HFA and NaFA 15 g, Mn and Cd in the adsorbent mass of FA, HFA and NaFA 30 g. Overall NaFA is more effective in reducing Fe metal ions compared to FA and HFA at an adsorbent mass of 10 g. Likewise with the metal ions Mn and Cd, NaFA is most effective in reducing both metal ions at an adsorbent mass of 30 g.

Banjarmasin, June 23, 2025

Approved by:

Head of Language Center



Dr. Hj. Noor Eka Chandra, M.Pd
NIP. 197710232001122003



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
UPA BAHASA ULM

Jalan Brigjen H. Hasan Basry Kotak Pos 70123 Banjarmasin
Telepon/Fax.: (0511) 3308140
Email: uptbahasa@ulm.ac.id

SURAT KETERANGAN

NO: 088/UN8.16/BS/2025

Bersama ini kami menerangkan bahwa Abstrak bahasa Inggris dari judul Thesis:
*“Effectiveness of Coal Fly Ash Activation Treatment Using NaOH and HCl in
Increasing Ability to Adsorb Heavy Metal Cations from Acid Mine Drainage”*
yang disusun oleh:

Nama Mahasiswa : Ana Ermiyati
Nim : 2120525320030
Jurusan/Fakultas : PSDAL
Program : Pascasarjana

telah diverifikasi bahasa Inggris yang digunakan sesuai dengan makna dari abstrak
asli yang dituliseleh mahasiswa tersebut di atas. (Abstrak terlampir) Demikian Surat
Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Banjarmasin, June 23, 2025
Kepala



Dr. Hj. Noor Eka Chandra, M.Pd
NIP. 197710232001122003

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Ana Ermiyati lahir di Kandangan pada tanggal 26 Mei 1980, anak kedua dari 3 bersaudara, buah kasih pasangan dari Ayahanda “H. Mukhrani” dan Ibunda “Hj. Rusinah”.

Penulis menamatkan Pendidikan dasar di Sekolah Dasar Negeri Jambu Hilir 2 Kandangan dan tamat tahun 1992, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri I Kandangan dan tamat pada tahun 1995, pada tahun yang sama langsung melanjutkan sekolah tingkat atas yaitu SMAN I Kandangan dan lulus pada tahun 1998. Penulis meneruskan jenjang Pendidikan Strata Satu di Universitas Islam Indonesia Yogyakarta selesai tahun 2002 dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Studi Ilmu Kimia. Penulis mulai bekerja pada tahun 2003 di PDAM kabupaten Tapin sebagai admin tenaga kontrak. Pada tahun 2005 penulis mengundurkan diri dari PDAM dan pada tahun yang sama mulai bekerja di Sucofindo Cabang Banjarmasin sebagai Analis laboratorium sampai sekarang.

Diterima sebagai mahasiswa Magister Lingkungan pada tahun 2021 dengan Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan (PSDAL) Universitas Lambung Mangkurat. Berkat petunjuk dan perlindungan dari Tuhan Yang Maha Esa disertai do'a orang tua, keluarga, dosen-dosen serta teman-teman yang baik dalam menjalani aktivitas akademik, alhamdulillah Penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Efektivitas Perlakuan Aktivasi *Fly ash* Batubara Menggunakan NaOH dan HCl dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang”. Bersyukur dapat melaksanakan ujian tesis pada tanggal 2 Juni 2025.

Ana Ermiyati

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat taufik dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan Tesis ini, yang merupakan salah satu syarat dalam rangkaian Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin Kalimantan Selatan Tahun 2025.

Tesis ini berjudul : **"Efektivitas Perlakuan Aktivasi *Fly ash* Batubara Menggunakan NaOH dan HCl dalam Meningkatkan Kemampuannya Mengadsorpsi Kation Logam Berat Air Asam Tambang"** akhirnya dapat penulis selesaikan dengan bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Dengan penuh kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Eko Rini Indrayatie, M.P selaku Ketua Komisi Pembimbing.
2. Bapak Dr. Uripo Trisno Santoso, S.Si., M.Si. selaku Anggota Komisi Pembimbing I.
3. Bapak Prof. Agung Nugroho, S.TP, M.Sc., Ph.D. selaku Anggota Komisi Pembimbing II.
4. Ibu Dr. Dini Sofarini, S.Pi, M.S. selaku Koordinator Prodi Magister PSDAL Universitas Lambung Mangkurat (ULM).
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat (ULM)
6. Seluruh dosen, rekan-rekan dan civitas Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat (PS S2 PSDAL PPs ULM).
7. Kabid Pengujian dan Kabid Minerba PT. Sucofindo Cabang Banjarmasin yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian di laboratorium, serta rekan-rekan analis dan admin yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama penulis menjalani perkuliahan dan menyusun Laporan Tesis.
8. Segenap keluarga, orang tua penulis ibunda Hj. Rusinah dan ayahanda H. Mukhrani, saudara (Ermasari dan Yofi Wardhani) yang selalu

memberikan do'a dan dukungan selama menjalani perkuliahan dan menyelesaikan Tesis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Laporan Tesis ini masih banyak kekurangan. Hal ini semata-mata karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan pada diri penulis. Oleh karena itu, dengan senang hati penulis menerima kritik dan saran demi kesempurnaan Laporan Tesis ini, agar bermanfaat dan menambah wawasan kita semua. Atas bantuan, petunjuk, bimbingan, dan arahan yang diberikan semua pihak demi kesempurnaan tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih.

Banjarbaru, Juni 2025

Ana Erniyati

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SERTIFIKAT UJI PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
RINGKASAN.....	vi
SUMMARY.....	vii
SURAT KETERANGAN VALIDASI RINGKASAN.....	viii
RIWAYAT HIDUP PENULIS	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Hipotesis	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Fly ash</i> Batubara	5
2.1.1. Karakteristik <i>Fly ash</i> Batubara	5
2.1.2. Pemanfaatan <i>Fly ash</i> Batubara sebagai Adsorben	7
2.1.3. Peran Aktivator	7
2.2. Adsorpsi	9
2.3. Air Asam Tambang.....	10
2.3.1. Pengertian Air Asam Tambang.....	10
2.3.2. Pembentukan Air Asam Tambang.....	11
2.3.3. Gangguan Lingkungan Air Asam Tambang.....	11
2.3.4. Pengelolaan Air Asam Tambang	12

2.4. Penelitian Terdahulu	13
III. METODE PENELITIAN	18
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2. Kerangka Pemikiran	19
3.3. Bagan Proses	19
3.4. Alat dan Bahan	20
3.4.1. Bahan yang di gunakan	20
3.4.2. Alat-Alat yang digunakan	21
3.5. Cara Kerja Penelitian	21
3.5.1. Karakteristik <i>Fly ash</i> Batubara sebagai Adsorben	21
3.5.2. Kemampuan <i>Fly ash</i> Sebagai Adsorben Logam Berat Pada Air Asam Tambang	22
3.5.3. Bagan Alir Penelitian	23
3.5.4. Analisis Data	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Karakteristik Adsorben <i>Fly ash</i>	26
4.2. Proses Adsorpsi	37
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1. Komposisi Oksida Logam FA, HFA dan NaFA.....	26
4.2. Interpretasi Spektrum FTIR FA, HFA dan NaFA	32
4.3. Komposisi Unsur-unsur FA, HFA dan NaFA dari SEM/EDX.....	35
4.4. Luas Permukaan dan Porositas Adsorben.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Foto SEM FA (Sumber: Wang & Wu, 2006)	6
3.1 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	19
3.2 Bagan Proses Aktivasi dan Adsorpsi HCl	20
3.3 Bagan Proses Aktivasi dan Adsorpsi NaOH.....	20
3.4 Bagan Alir Penelitian Persiapan Adsorben.....	23
3.5 Bagan Alir Karakterisasi dan Proses Adsorpsi	24
4.1 Difraktogram FA, HFA dan NaFA	28
4.2 Standard Referensi JCPDS (a) SiO ₂ ; (b) Al ₂ O ₃ ; (c) Fe ₂ O ₃ dan (d) α-FeO(OH).....	29
4.3 Spektrum FTIR FA (a) HFA (b) dan NaFA (c).....	31
4.4 Fotomikrogram SEM FA (a) HFA (b) dan NaFA (c).....	34
4.5 Hasil EDX Atom Penyusun FA (a) HFA (b) dan NaFA (c).....	35
4.6 Persentase Adsorpsi FA, HFA dan NaFA terhadap Fe.....	38
4.7 Persentase Adsorpsi FA, HFA dan NaFA terhadap Mn	39
4.8 Persentase Adsorpsi FA, HFA dan NaFA terhadap Cd.....	40
4.9 Persentase Adsorpsi Ion Logam Fe, Mn, dan Cd dengan FA.....	41
4.10 Persentase adsorpsi ion logam Fe, Mn dan Cd dengan HFA.....	42
4.11 Persentase adsorpsi ion logam Fe, Mn dan Cd dengan NaFA.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Buku Catatan Kegiatan Penelitian.....	53
2. Peraturan Pemerintah RI No. 22 tahun 2021	59
3. Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No. 36 Tahun 2008.....	60
4. Contoh Perhitungan dan Tabel Hasil Kemampuan Adsorpsi	61