

**EFEKTIVITAS KIAMBANG (*Salvinia molesta*) DAN ECENG
GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI NETRALISASI AIR
ASAM TAMBANG DI PT BANJARSARI PRIBUMI
KABUPATEN LAHAT**

SKRIPSI



**WULAN DARI
2022320004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PRABUMULIH
2026**

**EFEKTIVITAS KIAMBANG (*Salvinia molesta*) DAN ECENG
GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI NETRALISASI AIR
ASAM TAMBANG DI PT BANJARSARI PRIBUMI
KABUPATEN LAHAT**

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Prabumulih



**WULAN DARI
2022320004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PRABUMULIH
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEKTIVITAS KIAMBANG (*Salvinia molesta*) DAN ECE NG GONDOK
(*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI NETRALISASI AIR ASAM TAMBANG
DI PT BANJARSARI PRIBUMI KABUPATEN LAHAT**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Prabumulih**

Oleh:

Wulan Dari

2022320004

Prabumulih, 27 Juli 2026

Pembimbing I



Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si.
NUPTK. 4938769670230452

Pembimbing II



Ari Sugianto, S.Si., M.T.
NUPTK. 1345774675130183

**Ketua Program Studi
Teknik Lingkungan**



Ari Sugianto, S.Si., M.T.
NUPTK. 1345774675130183

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul "Efektivitas Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Netralisasi Air Asam Tambang di PT Banjarsari Pribumi Kabupaten Lahat" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih pada tanggal 27 Juli 2026.

Prabumulih, 27 Juli 2026

Tim Penguji Sidang Skripsi

Ketua:

1. Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si.
NUPTK. 4938769670230452



Anggota:

2. Ari Sugiarto, S.Si., M.T.
NUPTK. 1345774675130183
3. Denny Firmansyah, S.K.M., M.Ling.
NUPTK. 6552769670130283



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Agus Susilo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NUPTK. 9944755656130172

Ketua Program Studi
Teknik Lingkungan



Ari Sugiarto, S.Si., M.T.
NUPTK. 1345774675130183

HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Wulan Dari

Nim : 2022320004

Program Studi : Teknik Lingkungan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa, skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya dan tidak terdapat karya orang lain, apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini hasil *plagiasi*, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku atas perbuatan tersebut.



Prabumulih, 27 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Wulan Dari

2022320004

ABSTRAK

Efektivitas Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Netralisasi Air Asam Tambang di PT Banjarsari Pribumi Kabupaten Lahat

Wulan Dari, 2022320004, 2026

Kegiatan pertambangan batu bara dengan metode tambang terbuka (*open pit*) berpotensi menghasilkan air asam tambang (AAT) akibat oksidasi mineral sulfida yang menyebabkan pH rendah dan meningkatkan kelarutan logam mangan (Mn). Salah satu alternatif pengolahan AAT yang ramah lingkungan adalah fitoremediasi menggunakan tanaman air seperti kiambang (*Salvinia molesta*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tahapan pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi serta menganalisis efektivitas kiambang dan eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi logam Mn dan meningkatkan pH AAT. Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi lapangan secara langsung terhadap proses pengelolaan AAT serta metode *in situ* melalui skala percobaan kecil yang didukung dengan analisis laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan AAT dimulai dari *sump* yang kemudian dipompa menuju kolam pengendapan lumpur (KPL) 1 yang terdiri atas empat kompartemen. Berdasarkan hasil uji fitoremediasi eceng gondok menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menurunkan konsentrasi Mn sebesar 95,89%, diikuti kiambang dan eceng gondok sebesar 66,14%, serta kiambang sebesar 32,60%.

Kata Kunci : Air asam tambang, Batu bara, Efektivitas, Fitoremediasi

ABSTRACT

The Effectiveness of Kiambang (*Salvinia molesta*) and Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) in Neutralizing Acid Mine Drainage at PT Banjarsari Pribumi in Kabupaten Lahat

Wulan Dari, 2022320004, 2026

Coal mining using the open-pit method has the potential to generate acid mine drainage (AMD) due to the oxidation of sulfide minerals, which results in low pH and increases the solubility of manganese (Mn). One environmentally friendly alternative for treating AAT is phytoremediation using aquatic plants such as kiambang (*Salvinia molesta*) and eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). This study aims to identify the stages of AAT management at PT Banjarsari Pribumi and to analyze the effectiveness of *Salvinia molesta* and *Eichhornia crassipes* in reducing manganese (Mn) concentrations and increasing the pH of AAT. The research methods employed included direct field observations of the AAT management process and in situ methods using small-scale experiments supported by laboratory analysis. The results showed that AAT management begins in a sump, from which the wastewater is pumped to sludge settling pond (KPL) 1 which consists of four compartments. Based on the phytoremediation test results, *Eichhornia crassipes* showed the highest effectiveness in reducing Mn concentration by 95,89%, followed by *Salvinia molesta* and *Eichhornia crassipes* at 66,14%, and *Salvinia molesta* at 32,60%.

Keywords : Mine acid water, Coal, Effectiveness, Phytoremediation

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efektivitas Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Netralisasi Air Asam Tambang di PT Banjarsari Pribumi Kabupaten Lahat” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana di Program Studi S1 Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih. Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si. selaku Rektor Universitas Prabumulih sekaligus sebagai pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
3. Bapak Ari Sugiarto, S.Si., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan sekaligus dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan, memberikan ilmu dan pengetahuannya.
4. Bapak Denny Firmansyah, S.K.M., M.Ling. sebagai Penguji 1.
5. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik serta staf Fakultas Teknik Universitas Prabumulih yang telah ikut membantu proses kegiatan perkuliahan di kampus.
6. Kepala perusahaan, pimpinan, pembimbing lapangan, dan seluruh staf PT Banjarsari Pribumi Kabupaten Lahat yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan penelitian.
7. Kedua orang tua tercinta Bapak Hartono dan Ibu Mira Ningsih yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi yang tiada henti selama penulis menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini.
8. Kedua kakak perempuan Fuji Hutami Ningsih dan Yuni Kurniati yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, perhatian, dan

motivasi tanpa henti. Terima kasih atas setiap nasihat, semangat, kepercayaan yang diberikan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan seluruh proses penyusunan skripsi ini.

9. Seseorang yang selalu menemani dan memberikan dukungan, doa, motivasi, serta semangat kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi. Terima kasih atas kesabaran, perhatian, pengertian, dan waktu yang telah diberikan. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, memberikan kekuatan di saat penulis merasa lelah, serta tetap memberikan semangat hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2022 Universitas Prabumulih yang telah memberikan kebersamaan dan dukungan selama masa perkuliahan.
11. Rekan-rekan Departemen HSE yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas segala bantuan, dukungan, semangat, dan kebersamaan yang telah diberikan selama proses penelitian. Setiap bantuan dan kebersamaan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, dan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan sehingga membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan skripsi.

Prabumulih, 27 Juli 2026

Wulan Dari

2022320004

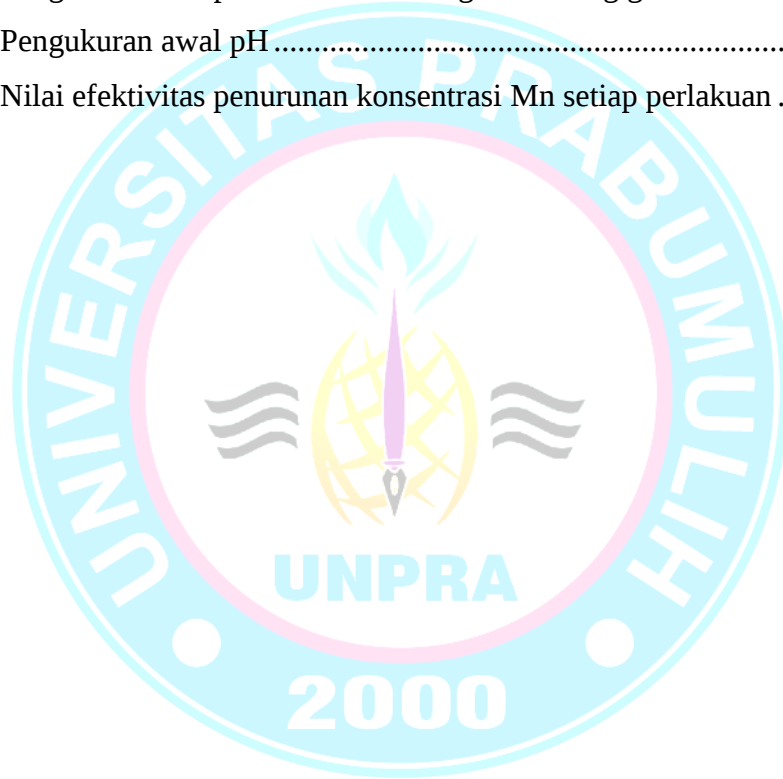
DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Profil Perusahaan	4
2.1.1 Visi dan Misi	4
2.1.2 Struktur Organisasi dan Tata Kelola	5
2.2 Pertambangan	6
2.3 Air Asam Tambang	6
2.4 Pembentukan Air Asam Tambang	8
2.5 Dampak Air Asam Tambang	8
2.6 Pengelolaan Pasif dan Aktif pada Air Asam Tambang	9
2.6.1 Kapur Tohor	10
2.6.2 Tawas	11
2.7 Fitoremediasi	12

2.8 Kiambang dan Eceng Gondok sebagai Agen Fitoremediasi.....	13
2.8.1 Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>).....	13
2.8.2 Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	14
2.9 Netralisasi Air Asam Tambang oleh Kiambang dan Eceng Gondok	15
2.10 Baku Mutu Air Asam Tambang.....	16
2.11 Penelitian Terdahulu	18
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.2 Data Penelitian	24
3.3 Pengumpulan Data	24
3.4 Analisis Data.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Tahapan Pengelolaan Air Asam Tambang di PT Banjarsari Pribumi	32
4.2 Efektivitas Kiambang dan Eceng Gondok.....	35
4.2.1 Konsentrasi Logam Berat Mn pada perlakuan.....	35
4.2.2 Nilai pH pada perlakuan.....	37
4.2.3 Analisis Efektivitas Fitoremediasi	43
BAB V KESIMPULAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN.....	51

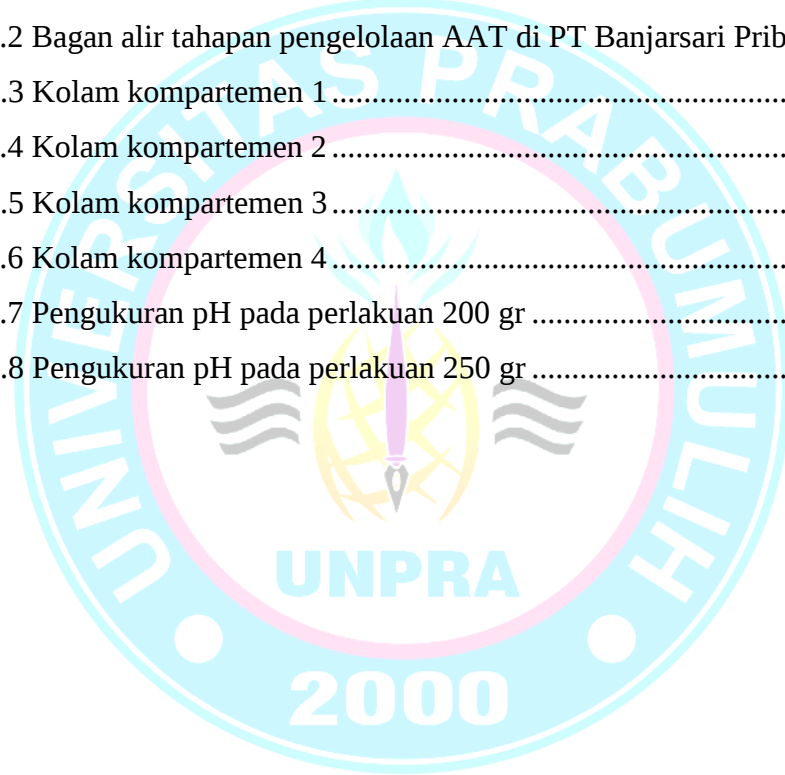
DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Baku mutu AAT.....	17
Tabel 2.2 Penelitian terdahulu.....	18
Tabel 3.1 Baku mutu air limbah pertambangan batu bara	31
Tabel 4.1 Pengukuran Mn perlakuan kiambang 250 gr	36
Tabel 4.2 Pengukuran Mn perlakuan eceng gondok 250 gr.....	36
Tabel 4.3 Pengukuran Mn perlakuan kiambang dan eceng gondok 250 gr	37
Tabel 4.4 Pengukuran awal pH.....	37
Tabel 4.5 Nilai efektivitas penurunan konsentrasi Mn setiap perlakuan	43



DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Struktur organisasi PT Banjarsari Pribumi	5
Gambar 2.2 Morfologi kiambang berupa daun (a) dan akar (b)	13
Gambar 2.3 Morfologi eceng gondok daun (a), tangkai daun (b), dan akar (c).....	14
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian.....	25
Gambar 3.2 Pengambilan menggunakan <i>swing sampler</i>	26
Gambar 4.1 KPL 1 PT Banjarsari Pribumi	32
Gambar 4.2 Bagan alir tahapan pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi	33
Gambar 4.3 Kolam kompartemen 1	33
Gambar 4.4 Kolam kompartemen 2	34
Gambar 4.5 Kolam kompartemen 3	34
Gambar 4.6 Kolam kompartemen 4	35
Gambar 4.7 Pengukuran pH pada perlakuan 200 gr	39
Gambar 4.8 Pengukuran pH pada perlakuan 250 gr	41



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1. Sertifikat kalibrasi pH.....	51
Lampiran 2. Pengukuran pada berat 250 gr	52
Lampiran 3. Pengukuran pH perlakuan kiambang 250 gr	53
Lampiran 4. Hasil pengujian Mn perlakuan 250 gr	54
Lampiran 5. Data hasil pengukuran pH	55



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
AAT	: Air Asam Tambang
Al	: Aluminium
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	: Aluminium Sulfat
AMD	: Acid Mine Drainage
As	: Arsen
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	: Kalsium Hidroksida
CaCO_3	: Kalsium Karbonat
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	: Dolomit
CaO	: Kalsium Oksida
Cd	: Cadmium
Co	: Kobalt
CO_2	: Karbon Dioksida
Cr	: Kromium
Cu	: Tembaga
DLH	: Dinas Lingkungan Hidup
Fe	: Besi
FeS_2	: Pryite
H^+	: Ion Hidrogen
H_2CO_3	: Asam Karbonat
H_2O	: Air
Hg	: Merkuri
IUP	: Izin Usaha Pertambangan
JORC	: <i>Joint Ore Reserves Committee</i>
KPL	: Kolam Pengendapan Lumpur
Mn	: Mangan
NaOH	: Soda Akustik
NO_x	: Nitrogen Oksida
NH_3	: Amonia
Ni	: Nikel
O_2	: Oksigen
Pb	: Timbal
PbS	: Galena
Permen LHK	: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan
SLR	: Servo Lintas Raya
SO_2	: Sulfur Dioksida
TSS	: Total Suspended Solid
Zn	: Seng

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Undang-Undang No 2 Tahun 2025 pertambangan merupakan atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan, dan pengusahaan mineral atau batu bara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan, pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang. Kegiatan pertambangan batu bara di Indonesia umumnya menggunakan metode tambang terbuka (*open pit*). Lapisan batuan di area penambangan ke permukaan sehingga mengalami kontak langsung udara dan air. Proses reaksi dapat meningkatkan tingkat keasaman pada air. Kondisi tersebut membentuk air asam tambang (AAT) atau *acid mine drainage* (AMD) yang terjadi akibat proses oksidasi mineral sulfida (Said, 2018).

AAT merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan air bersifat asam yang terbentuk akibat dari aktivitas penambangan biasa disebut air rembesan (*seepage*) atau aliran (*drainage*). Karakteristik AAT yang memiliki pH rendah menyebabkan tingkat kelarutan logam yang tinggi berupa mangan (Mn). Mn memiliki tingkat kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan logam lainnya dengan pH sedikit asam, sehingga secara alami lebih sulit mengalami pengendapan. Kondisi keasaman tersebut dapat meningkatkan risiko dan tingkat pencemaran lingkungan (Azwari, 2020).

Alternatif yang dapat diterapkan untuk mengatasi pencemaran lingkungan adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan metode pemanfaatan berbagai jenis tumbuhan seperti tanaman darat, pepohonan, rumput, dan tumbuhan air untuk menguraikan senyawa berbahaya. Metode ini didasarkan pada kemampuan tumbuhan dalam meningkatkan aktivitas biodegradasi oleh mikroorganisme yang berasosiasi dengan sistem perakaran (*phytostimulation*) serta menstabilkan kontaminan dalam tanah melalui senyawa eksudat akar (*phytostabilization*). Fitoremediasi menjadi teknik pemulihan lingkungan yang banyak dikembangkan karena efektif dan ramah lingkungan dalam menangani media yang terkontaminasi (Wuran et al., 2018).

Menurut Ramadhani & Juswardi (2022) tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) berpotensi tinggi digunakan dalam fitoremediasi karena memiliki sistem perakaran menggantung dan berkembang luas. Kiambang mampu meningkatkan pH AAT melalui kemampuan adsorpsi yang dipengaruhi oleh struktur daun yang berongga berambut halus serta dapat menghasilkan senyawa alkalin yang mendukung peningkatan pH. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat meningkatkan efektivitas fitoremediasi pada AAT karena eceng gondok memiliki akar serabut yang lebat sehingga mampu menyerap dan mengakumulasi logam Mn. Kedua tanaman mampu mendukung proses penurunan logam berat dan peningkatan pH secara lebih optimal.

Salah satu perusahaan pertambangan di Sumatera Selatan yang diakuisisi Titan Infra Energy adalah PT Banjarsari Pribumi. Menurut Simarmata et al (2024) AAT di PT Banjarsari Pribumi dari batuan penutup yang diuji menunjukkan kecenderungan menghasilkan air bersifat asam dengan pH <5 akibat reaksi oksidatif mineral sulfida yang menyebabkan penurunan kualitas air. Penelitian diarahkan untuk melakukan penerapan melalui efektivitas kiambang dan eceng gondok dalam konsentrasi logam berat seperti Mn serta netralisasi pH pada AAT. Penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis bagi pertambangan dalam menerapkan pengelolaan AAT yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tahapan pengelolaan AAT yang diterapkan di PT Banjarsari Pribumi?
2. Bagaimana efektivitas kiambang dan eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi logam berat Mn dan netralisasi pH pada AAT?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tahapan pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi; dan
2. Menganalisis efektivitas kiambang dan eceng gondok terhadap konsentrasi logam Mn dan netralisasi pH pada AAT.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, yaitu:

1. Manfaat bagi Peneliti
 - a. Meningkatkan wawasan keilmuan peneliti terhadap kondisi dunia kerja serta keterampilan yang relevan di bidang teknik lingkungan maupun bidang yang terkait; dan
 - b. Memberikan kesempatan kepada peneliti untuk menerapkan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan secara langsung di lapangan.
2. Manfaat bagi Kampus
 - a. Menjadi sarana evaluasi terhadap kurikulum dan materi perkuliahan terhubung dengan dunia kerja; dan
 - b. Memperkuat hubungan kerja sama antara kampus dengan instansi perusahaan dalam rangka pengembangan pendidikan.
3. Manfaat bagi Perusahaan
 - a. Menjadi bahan masukan bagi perusahaan dalam merumuskan kebijakan atau strategi kerja berdasarkan analisis yang dilakukan oleh peneliti selama penelitian; dan
 - b. Memperkuat eksistensi perusahaan di kalangan akademisi dan mahasiswa sebagai calon tenaga kerja.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi serta analisis efektivitas kiambang dan eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi logam berat Mn dan netralisasi pH pada AAT. Penelitian dilaksanakan di PT Banjarsari Pribumi dengan menggunakan metode *in situ* melalui pengamatan dalam skala kecil dan pengukuran laboratorium pada sampel percobaan 250 gr tanaman dan 5 L AAT, serta penelitian ini hanya difokuskan pada parameter pH dan konsentrasi Mn.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Profil Perusahaan

PT Banjarsari Pribumi merupakan perusahaan bergerak di bidang pertambangan batu bara yang terletak di Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. PT Banjarsari Pribumi berdiri pertama kali pada tahun 2009 sesuai Surat Keputusan Bupati Kabupaten Lahat tahun 2010 berlaku sampai tahun 2030. Sepanjang berjalan waktu operasi di PT Banjarsari Pribumi luas IUP melebar 30 Ha tahun 2025 menjadi luas 550,03 Ha. Tahun 2009 PT Banjarsari Pribumi belum melakukan penambangan tetapi sudah melakukan eksplorasi dengan berjalan sendirinya sampai akhirnya diakuisisi oleh Titan Infra Energy tahun 2014 (Titan, 2023).

Area PT Banjarsari Pribumi terhubung langsung dengan jalan Servo Lintas Raya (SLR) sehingga memberikan akses yang optimal dalam pengangkutan batu bara. Berdasarkan *joint ore reserves committee* (JORC) Report 2019 PT Banjarsari Pribumi memiliki jumlah sumberdaya batu bara sebesar 36,2 juta ton dan cadangan batu bara sebesar 27,6 juta ton, serta memiliki nilai kalori berkisar 3.800–4.500 kkal/kg *gross as received* (GAR). Dalam rangka mendukung kelancaran distribusi hasil tambang perusahaan telah bekerja sama dengan PT SLR untuk kegiatan pengangkutan batu bara melalui jalur darat sejauh 8 kilometer. Selain itu batu bara juga diangkut menuju Jetty Muara Lematang yang berjarak sekitar 107 kilometer (Titan, 2023).

Perusahaan ini juga merupakan perusahaan pemilik Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang sedang aktif melakukan kegiatan penambangan di dua *pit* yang berbeda yaitu *pit middle* dan *pit south*. Metode penambangan yang digunakan bersifat konvensional dengan memanfaatkan kombinasi alat muat dan alat angkut berupa *excavator* serta alat bantu *scraper* dan *bulldozer*. Seluruh kegiatan penambangan dilaksanakan sesuai dengan tahapan operasional yang telah ditetapkan perusahaan (Anisari, 2012).

2.1.1 Visi dan Misi

Visi dan Misi PT Banjarsari Pribumi dapat dilihat sebagai berikut:

Visi:

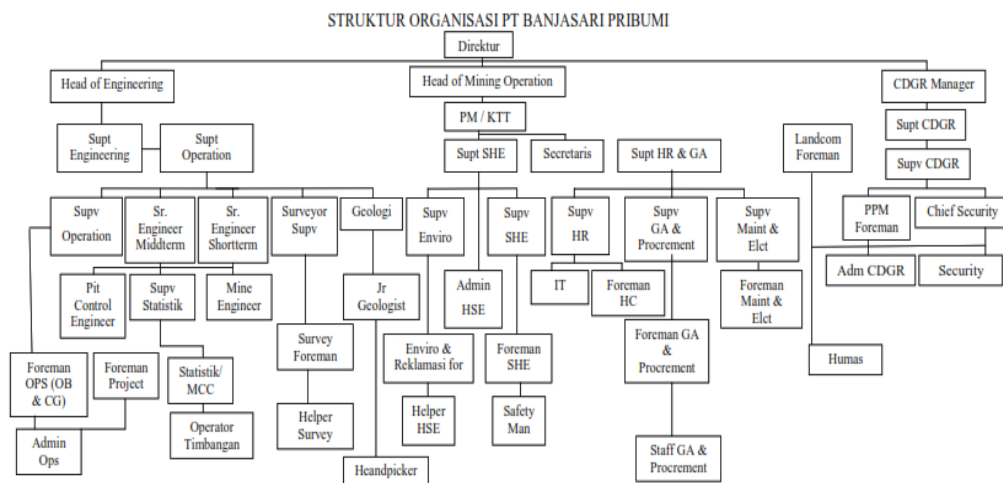
1. Menjadi perusahaan tambang yang profesional, inovatif, kreatif, berwawasan lingkungan dan terkemuka di Indonesia.

Misi:

1. Mewujudkan perusahaan tambang yang berintegritas tinggi, memberi nilai maksimum bagi seluruh *Stake Holder*.
2. Mengutamakan *Good Mining Practice, Good Corporate Governance, Corporate Sosial Responsibility*.
3. Mengutamakan keselamatan dan kesehatan kerja bagi karyawan dan masyarakat serta mempunyai standar yang tinggi dalam pengelolaan lingkungan.

2.1.2 Struktur Organisasi dan Tata Kelola

PT Banjarsari Pribumi menerapkan struktur organisasi yang terdiri atas beberapa departemen sebagai bagian dari sistem tata kelola perusahaan. Struktur ini berfungsi mengatur pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab setiap departemen sehingga kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan secara efektif dapat dilihat pada (Gambar 2.1).



Sumber : PT Banjarsari Pribumi, 2025

Gambar 2.1 Struktur organisasi PT Banjarsari Pribumi

2.2 Pertambangan

Pertambangan merupakan sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan, dan pengusahaan mineral atau batu bara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan, pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta kegiatan pasca tambang (Undang-Undang No 2 Tahun 2025).

Pertambangan yang berada di permukaan tanah atau pada kedalaman yang relatif dangkal umumnya dilaksanakan dengan metode penambangan terbuka melalui pengupasan lapisan tanah penutup. Sementara penambangan yang berada pada lapisan yang lebih dalam dilakukan dengan sistem penambangan bawah tanah (*underground mining*) seperti metode pengeboran atau pembangunan terowongan sehingga gangguan terhadap kondisi permukaan lahan dapat dikendalikan (Subowo, 2011).

Kegiatan pertambangan batu bara yang dilakukan dengan metode tambang terbuka berpotensi menimbulkan berbagai dampak lingkungan. AAT merupakan air yang memiliki tingkat keasaman tinggi pH rendah serta kecenderungan peningkatan kelarutan logam akibat reaksi antara mineral sulfida, oksigen (O_2), dan air (H_2O). Sebelum dialirkan ke badan perairan umum limbah AAT perlu melalui proses pengolahan guna mengendalikan kandungan bahan pencemarnya (Aulina et al 2021).

2.3 Air Asam Tambang

AAT merupakan air yang terbentuk akibat berlangsungnya berbagai reaksi kimia serta aktivitas biologis. Batuan yang mengandung mineral sulfida akan mengalami proses oksidasi ketika bereaksi dengan O_2 serta H_2O menghasilkan asam sulfat. Kondisi pH yang rendah tersebut meningkatnya kelarutan logam berat, akibatnya AAT yang bersifat sangat asam dan mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi berpotensi besar menimbulkan pencemaran lingkungan. AAT memiliki karakteristik berupa pH rendah, kadar sulfat yang tinggi, serta mengandung logam berat seperti Mn, besi (Fe), timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), arsen (As), aluminium (Al), kromium (Cr), nikel (Ni), seng (Zn), kobalt (Co), dan tembaga (Cu) (Yunus & Prihatini, 2018).

Menurut Hidayat (2017) AAT terbentuk akibat proses oksidasi mineral sulfida yang terdapat dalam batuan hasil kegiatan pertambangan ketika mineral tersebut berinteraksi dengan H_2O dan O_2 . Kondisi ini umumnya dipicu oleh oksidasi alami unsur sulfur yang terkandung di dalam batuan. Proses curah hujan tinggi karena air berperan dalam mempercepat perubahan sulfur menjadi senyawa bersifat asam. Sumber pembentukan air asam tambang antara lain sebagai berikut:

1. Air asam tambang pada area terbuka

Area tambang terbuka paparan batuan yang mengandung mineral sulfida terhadap udara bebas menyebabkan terjadinya proses oksidasi unsur sulfur. Hujan turun atau aliran air tanah melewati area tersebut reaksi kimia yang terjadi menghasilkan AAT.

2. Air asam tambang dari unit pengolahan batuan buangan

Batuan buangan (*waste rock*) merupakan limbah utama dari kegiatan penambangan yang jumlahnya meningkat seiring intensitas operasi. Batuan buangan yang mengandung sulfur akan bereaksi dengan O_2 membentuk senyawa sulfur oksida. Selanjutnya, interaksi senyawa tersebut dengan air hujan atau sumber air lainnya memicu terbentuknya air asam tambang.

3. Air asam tambang dari lokasi penimbunan batuan

Lokasi penimbunan batuan yang terbuka akan mengalami oksidasi akibat kontak langsung dengan udara. Kehadiran air kemudian melarutkan hasil oksidasi tersebut sehingga menghasilkan air asam tambang.

4. Air asam tambang dari unit pengolahan limbah tailing

Tailing yang mengandung unsur sulfur berpotensi membentuk senyawa asam. Meskipun pH air pada kolam tailing umumnya dijaga tetap tinggi melalui penambahan kapur terhidrasi (*hydrated lime*) sebagai bahan penetral guna mengurangi tingkat keasaman air limbah.

5. Air asam tambang dari lokasi penimbunan bahan galian (*stockpile*)

Batu bara hasil penambangan umumnya disimpan sementara di area *stockpile* sebelum diproses lebih lanjut dan didistribusikan. Sebelum pengiriman, batu bara biasanya melalui proses penghancuran (*crushing*) yang disertai penyiraman air untuk mengendalikan debu. Batu bara tersebut mengandung

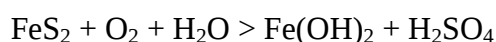
mineral sulfida, interaksi antara air dan mineral tersebut dapat memicu terbentuknya AAT.

AAT merupakan air yang dihasilkan dari aktivitas penambangan atau penggalian yang memiliki sifat asam dan kategori sebagai salah satu jenis limbah pertambangan. Terbentuknya AAT disebabkan akibat paparan mineral sulfida ada kegiatan penambangan yang kemudian bereaksi dengan udara dan air. Keberadaan AAT dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan maka pengelolaan AAT menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan agar kualitas air memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintahan (Rahmatullah et al., 2023).

2.4 Pembentukan Air Asam Tambang

Proses terbentuknya AAT disebabkan oleh interaksi antara air yang berasal dari lokasi tambang dengan batuan yang mengandung mineral sulfida tertentu yang telah terpapar dan mengalami oksidasi. Beberapa sulfida logam yang sering dijumpai pada wilayah pertambangan antara lain FeS_2 (pyrite) dan PbS (galena). Timbulnya potensi pengasaman disebabkan karena terdapatnya mineral sulfida *pyrite* dan *marcasite* (Saptawartono et al., 2024).

Hidayat (2017) menyatakan proses terbentuknya oksidasi logam sulfida inilah yang menyebabkan terbentuknya senyawa asam. Reaksi oksidasi pirit yang melibatkan besi ferri berlangsung lebih cepat, yaitu sekitar 2–3 kali lipat dibandingkan dengan oksidasi yang hanya melibatkan O_2 dan proses ini menghasilkan tingkat keasaman yang tinggi. Salah satu tahapan utama adalah pelapukan pirit, mineral pirit mengalami oksidasi sehingga terbentuk sulfat dan besi ferro. Reaksi pada pelapukan pirit sebagai berikut:



(Pirit + oksigen + air → besi (II) hidroksida + asam sulfat)

2.5 Dampak Air Asam Tambang

Menurut Saptawartono et al (2024), terbentuknya AAT di pertambangan dapat menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak lain tersebut sebagai berikut :

1. Bagi masyarakat sekitar

Dampak terhadap masyarakat di sekitar wilayah tambang tidak selalu dirasakan secara langsung karena air yang dialirkan ke sungai telah dinetralkan dan pemantauan terhadap temperatur, kekeruhan, serta pH dilakukan secara rutin setiap hari. Terjadinya pencemaran yang mengganggu biota perairan dapat berdampak pada mata pencaharian masyarakat yang bergantung pada perikanan.

2. Bagi biota perairan

Dampak negatif bagi biota perairan antara lain berupa perubahan keanekaragaman organisme, seperti plankton dan benthos. Kehadiran benthos sering digunakan sebagai indikator kualitas perairan. Perairan yang sehat dan subur benthos akan melimpah, sedangkan pada perairan yang kurang subur benthos tidak mampu bertahan hidup.

3. Bagi kualitas air permukaan

Terbentuknya AAT akibat oksidasi pirit dapat menurunkan kualitas air permukaan. Parameter kualitas air yang terdampak meliputi pH, total padatan terlarut, kadar sulfat, besi, dan mangan.

4. Bagi kualitas tanaman

Ketersediaan unsur hara merupakan faktor penting untuk pertumbuhan tanaman. Tanah yang bersifat asam biasanya mengandung logam berat seperti Fe, Zn, dan Cu. Kelebihan unsur hara mikro ini dapat menyebabkan keracunan pada tanaman ditandai pembusukan akar, tanaman menjadi layu, serta pada kondisi lanjut dapat menyebabkan kematian tanaman.

2.6 Pengelolaan Pasif dan Aktif pada Air Asam Tambang

Menurut Said (2018), terdapat dua metode yang dapat diterapkan dalam pengolahan air asam tambang, yaitu teknologi pengolahan pasif dan teknologi pengolahan aktif. Beberapa metode pengolahan pasif air asam tambang yang dapat diterapkan antara lain rawa alami (*natural wetland*), rawa buatan (*constructed wetland*), saluran batu kapur anoksik atau (*anoxic limestone drain*), sistem aliran vertikal (*vertical flow system*), serta saluran batu kapur. Penerapan teknologi tersebut memanfaatkan reaksi kimia dan aktivitas biologis untuk meningkatkan kualitas air serta menurunkan kandungan logam terlarut.

Teknologi pengolahan pasif merupakan metode ada pengolahan yang berjalan secara alami tanpa ada memerlukan perawatan rutin oleh manusia. Bahan yang umumnya dimanfaatkan dalam teknologi ini adalah tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk membantu menetralkan pH. Selain meningkatkan pH keberadaan tumbuhan juga berperan dalam mengurangi kandungan logam terlarut melalui proses fitoremediasi yang terjadi secara alami di lingkungan perairan (Saptawartono et al., 2024).

Pengolahan aktif tahapan yang umum digunakan meliputi netralisasi, aerasi, dan pengendapan. Netralisasi merupakan proses penambahan bahan kimia untuk menyesuaikan pH AAT agar berada pada kondisi yang mendukung proses besi. Sementara itu aerasi dilakukan dengan memasukkan O_2 ke dalam AAT sehingga besi yang terkandung dapat bereaksi dengan O_2 . Selanjutnya besi yang telah bereaksi tersebut dipisahkan dari air melalui proses pengendapan (Said, 2018).

Penetral yang paling sering digunakan dalam pengolahan AAT berskala besar adalah kapur. Hal ini disebabkan karena kapur mudah diperoleh secara komersial, sederhana dalam penggunaannya, teknologinya telah teruji, biaya relatif rendah, serta efektif dan aman untuk dikelola dari aspek kesehatan dan keselamatan kerja pada penerapan skala besar. Selain itu penambahan tawas pada AAT sebelum dialirkan kesungai bertujuan untuk meningkatkan kejernihan air. Bahan kimia berbasis kapur baik dalam bentuk kalsium karbonat ($CaCO_3$), kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$), kalsium oksida (CaO), maupun bahan lain seperti soda kaustik ($NaOH$) dan amonia (NH_3) (Saptawartono et al., 2024).

2.6.1 Kapur Tohor

Menurut Matofani et al (2025), kapur tohor yang dikenal sebagai CaO , merupakan hasil proses pembakaran kapur mentah berupa $CaCO_3$ pada suhu sekitar $900\text{ }^{\circ}C$. Senyawa kimia ini berbentuk padatan berwarna putih hingga keabu-abuan dan memiliki karakteristik menyerupai batu gamping. Beberapa manfaat kapur tohor antara lain sebagai berikut:

a. Meningkatkan pH

Kapur tohor pada saluran keluar (*outlet*) pada kolam pengendapan lumpur (KPL) untuk menaikkan nilai pH agar memenuhi baku mutu lingkungan. Selain itu, pengapuran juga dilakukan pada saluran masuk

(inlet) KPL pengendapan. Pemberian kapur tohor secara terus-menerus dengan dosis yang sesuai meningkatkan pH AAT selama proses pengolahan berlangsung.

b. Menurunkan kandungan logam berat

Kapur tohor berperan dalam mengurangi konsentrasi logam berat pada air asam tambang. Kapur tohor digunakan untuk menetralkan tingkat keasaman serta mengurangi kandungan logam di dalam kolam pengendapan. Berdasarkan kondisi lapangan penurunan kualitas air yang berdampak pada lingkungan sekitar umumnya disebabkan oleh lamanya proses pengelolaan serta kurang tepatnya efisiensi penggunaan kapur tohor. Langkah ini bertujuan untuk memastikan mutu air keluaran sesuai standar sekaligus menentukan kebutuhan kapur tohor secara optimal (Prisitama et al., 2023).

Penggunaan berbagai jenis kapur merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan produktivitas berdasarkan dosis, metode aplikasi, waktu pemberian, serta kondisi lingkungan. Nilai pH yang sama serta karakteristik berbeda dapat menunjukkan respons yang berbeda pula terhadap jenis kapur dan jumlah yang sama seperti CaO, dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), dan kalsit (CaCO_3). Pengaruh pemberian kapur jenis $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaCO_3 , dan CaO terhadap pH Al yang dapat dipertukarkan, kelarutan Fe, ketersediaan fosfor, serta kapasitas tukar kation (Febriani et al., 2024).

2.6.2 Tawas

Menurut Aulina et al (2021), tawas dikenal sebagai aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) berbentuk kristal putih atau gelatin yang memiliki kemampuan untuk menarik partikel lain sehingga berat, ukuran, dan bentuknya meningkat sehingga lebih mudah mengendap. Bahan ini digunakan dalam proses penjernihan air melalui mekanisme penggumpalan (*koagulasi-flokulasi*) untuk mengikat padatan terlarut maupun tersuspensi.

Tawas merupakan bahan kimia yang dikenal sebagai *flocculator* yaitu zat yang berfungsi mengumpulkan partikel kotor dalam proses air. Bahan ini dimanfaatkan karena kekeruhan dapat dikurangi dengan penambahan zat

kimia tertentu disebut koagulan. Proses air didasarkan pada pengendalian kestabilan partikel pencemar yang berada dalam bentuk koloid. Pengolahan air serta limbah tawas berperan sebagai koagulan yang efektif karena mampu menggumpalkan dan mengendapkan partikel tersuspensi maupun koloid yang melayang di dalam air (Matofani et al., 2025).

2.7 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah upaya pemanfaatan tanaman beserta bagian-bagiannya untuk menurunkan tingkat pencemaran limbah dan kerusakan lingkungan. Penerapannya dapat dilakukan secara *ex situ*, yaitu dengan menggunakan kolam buatan atau reaktor, maupun secara *in situ* langsung pada lokasi yang terkontaminasi limbah. Metode ini dapat diaplikasikan pada limbah anorganik dan organik, baik dalam bentuk cair, gas, maupun media lainnya (Poli & Soputan, 2025).

Fitoremediasi memanfaatkan tanaman sebagai media untuk menyerap dan menetralkan zat pencemar. Keberhasilan fitoremediasi sangat ditentukan oleh pemilihan jenis tanaman yang tepat. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kemampuan tanaman dalam menyerap ion dari lingkungan. Tanaman yang digunakan dalam proses ini disebut sebagai agen fitoremediasi. Fitoremediasi dikenal teknologi pengolahan limbah cair yang efektif. Metode ini juga memiliki keunggulan dari segi biaya yang relatif rendah serta bersifat ramah lingkungan (Rahmi et al., 2025).

Fitoremediasi menjadi pilihan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Fitoremediasi memanfaatkan kemampuan alami tanaman air untuk menyerap, menguraikan, atau menstabilkan polutan dibantu oleh mikroorganisme yang hidup di zona perakaran. Salah satu tanaman air yang menjanjikan adalah kiambang yang memiliki sistem akar menggantung dan luas, sehingga memungkinkan kontak optimal dengan air limbah sekaligus menyediakan habitat bagi mikroba yang berperan dalam penguraian polutan (Bilbina & Mirwan, 2025).

2.8 Kiambang dan Eceng Gondok sebagai Agen Fitoremediasi

2.8.1 Kiambang (*Salvinia molesta*)

Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) merupakan tumbuhan air yang termasuk sebagai salah satu jenis gulma perairan. Kiambang umumnya dapat dijumpai pada berbagai ekosistem perairan, seperti sungai, danau, waduk, serta lahan persawahan. Tanaman ini memiliki ukuran yang relatif kecil dengan karakteristik batang yang tumbuh secara mendatar dan mengapung di permukaan air. Secara morfologi kiambang memiliki struktur khusus yang mendukung kemampuan hidupnya di lingkungan perairan, seperti daun dan akar yang memiliki fungsi masing-masing (Poli & Soputan, 2025).



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 2.2 Morfologi kiambang berupa daun (a) dan akar (b)

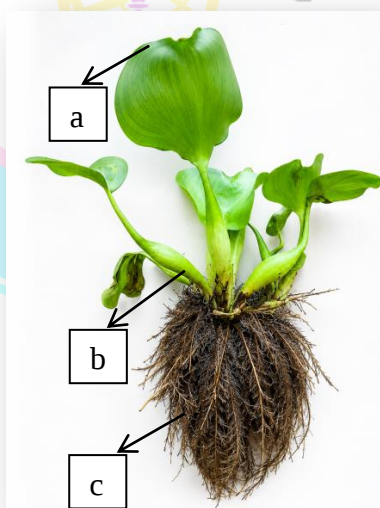
Morfologi tanaman kiambang yang terdiri dari bagian daun (a) dan akar (b). Menurut Bektı & Dewi (2024), kiambang memiliki daun berwarna hijau dengan bentuk oval dan ukuran diameter sekitar 2–4 cm. Daun berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses fotosintesis dengan memanfaatkan cahaya matahari untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Akar kiambang berbentuk serabut dan menggantung di dalam air. Akar ini berfungsi untuk menyerap unsur hara dan zat pencemar dari air, serta ada

tempat hidup mikroorganisme yang membantu proses penguraian bahan pencemar.

Tanaman kiambang yang hidup di perairan berperan sebagai produsen dan memiliki potensi untuk digunakan dalam fitoremediasi. Hal ini disebabkan karena kiambang tanaman hijau yang mampu melakukan fotosintesis. Keberadaan kiambang yang tumbuh subur di perairan dapat meningkatkan produktivitas ekosistem karena berperan penting dalam mendukung rantai makanan serta menjaga keseimbangan lingkungan perairan (Waruwu, 2024).

2.8.2 Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok merupakan tanaman air yang banyak dimanfaatkan sebagai biofilter alami karena kemampuannya menyerap berbagai polutan. Kemampuan tersebut didukung oleh morfologi tanaman meliputi daun yang lebar, tangkai daun menggembung yang membantu tanaman mengapung. Akar serabut yang lebat sebagai media penyerapan polutan dan tempat melekatnya mikroorganisme yang berperan dalam proses fitoremediasi (Novita et al 2022).



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 2.3 Morfologi eceng gondok daun (a), tangkai daun (b), dan akar (c)

Morfologi tanaman eceng gondok terdiri dari bagian daun (a), tangkai

daun (b), dan akar (c). Menurut Bekti & Dewi (2024) daun eceng gondok berbentuk oval hingga membulat, berwarna hijau, serta memiliki permukaan licin. Daun berfungsi sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis dan mendukung pertumbuhan tanaman. Tangkai daun berbentuk menggembung mengandung jaringan berongga yang berfungsi membantu tanaman tetap mengapung di permukaan air. Akar eceng gondok bertipe serabut berwarna kehitaman serta tumbuh menggantung dari pangkal batang ke dalam air yang berfungsi menyerap nutrisi dan polutan dari air serta menjadi tempat melekatnya mikroorganisme yang berperan dalam proses fitoremediasi.

Tanaman eceng gondok memiliki kemampuan dalam menyerap bahan pencemar berupa logam berat serta mengakumulasikannya pada bagian akar, batang, dan daun. Berdasarkan data hasil penelitian, konsentrasi Mn menunjukkan nilai yang relatif tinggi sehingga memengaruhi kondisi pH air. Setelah dilakukan proses pengolahan terjadi perubahan pada parameter pH, Fe, dan Mn yang menunjukkan adanya proses fitoremediasi terhadap AAT (Fridriyanda et al., 2022).

Menurut Yunus & Prihatin (2018), eceng gondok memiliki kemampuan mengadsorpsi dan mengakumulasi logam Fe dan Mn meskipun pada kondisi suhu yang mengalami fluktuasi rendah. Peningkatan pH tersebut menunjukkan bahwa pengolahan AAT menggunakan eceng gondok mampu memperbaiki kualitas air. Kenaikan pH diduga dipengaruhi oleh proses serta penyerapan oleh tanaman.

2.9 Netralisasi Air Asam Tambang oleh Kiambang dan Eceng Gondok

Menurut Putri & Juswardi (2023), kiambang memiliki kemampuan berkaitan dengan adaptasi terhadap kondisi AAT yang mengandung konsentrasi Mn tinggi. Mn merupakan unsur hara bagi tumbuhan, sehingga dapat dimanfaatkan oleh kiambang sebagai nutrisi untuk menunjang pertumbuhan. Selain itu, Mn berperan penting dalam proses fisiologis tanaman terutama sebagai aktivator berbagai enzim. Potensi untuk dimanfaatkan sebagai agen fitoremediasi yang efisien dan aplikatif, khususnya pada sistem pengolahan limbah yang membutuhkan stabilisasi logam berat di akar tanaman.

Kiambang berperan dalam menguraikan bahan organik yang mempengaruhi peningkatan pH pada AAT dipengaruhi oleh struktur daun kiambang sehingga menyerap zat atau senyawa logam berat. Selain itu, kemampuan kiambang dalam mengadsorpsi logam berat berkontribusi dalam menurunkan tingkat toksisitas air berdampak pada peningkatan pH. Interaksi antara kiambang dan mikroorganisme mendukung terjadinya proses biokimia yang menghasilkan senyawa-senyawa yang berperan dalam meningkatkan pH air (Rahmi et al., 2025).

Tanaman eceng gondok memiliki kemampuan dalam menetralkan bahan pencemar melalui sistem perakarannya yang lebat. Zat pencemar yang terdapat di perairan akan diserap oleh akar dan dimanfaatkan dalam proses metabolisme tanaman. Selain itu, bahan pencemar tersebut dapat terakumulasi pada bagian akar, batang, umbi, maupun daun. Eceng gondok juga mampu menyerap unsur hara berlebih di perairan yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan peningkatan konsentrasi polutan berbanding lurus dengan meningkatnya proses rhizofiltrasi pada akar tanaman (Nugroho, 2021).

Eceng gondok berperan sebagai biofilter alami yang mampu meningkatkan laju penguapan air melalui proses evapotranspirasi mendukung penyerapan unsur hara dan bahan organik yang diperlukan tanaman dalam aktivitas fotosintesis melalui sistem perakaran yang dilengkapi bulu akar. Tingginya aktivitas fotosintesis pada eceng gondok menyebabkan peningkatan produksi oksigen, sehingga kadar oksigen terlarut di dalam limbah cair turut meningkat. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan pencemar atau kontaminan yang terdapat di dalam limbah cair (Riyanto, 2023).

2.10 Baku Mutu Air Asam Tambang

Baku mutu AAT yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1.

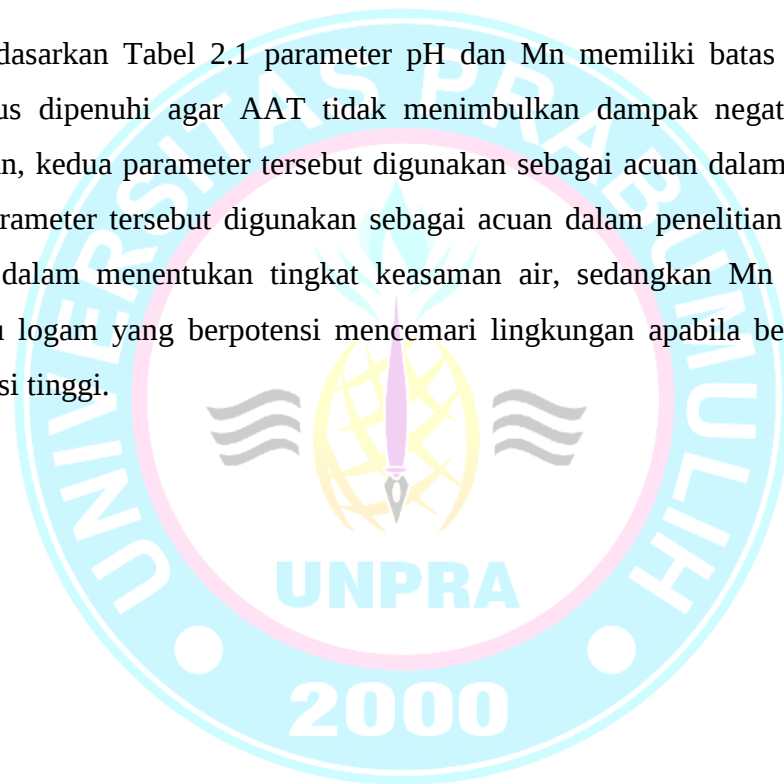
Tabel 2.1 Baku mutu AAT

No	Parameter	Satuan	Kadar Penambangan	Maksimum Pengolahan/Pencucian
1	pH		6-9	6-9
2	Padatan Tersuspensi	mg/l	400	200

No	Parameter	Satuan	Kadar Penambahan	Maksimum Pengolahan/ Pencucian
	Total (TSS)			
3	Besi (Fe) Total	mg/l	7	7
4	Mangan (Mn) Total	mg/l	4	4
5	Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
6	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No.5, 2022

Berdasarkan Tabel 2.1 parameter pH dan Mn memiliki batas baku mutu yang harus dipenuhi agar AAT tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, kedua parameter tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian. Kedua parameter tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian karena pH berperan dalam menentukan tingkat keasaman air, sedangkan Mn merupakan salah satu logam yang berpotensi mencemari lingkungan apabila berada dalam konsentrasi tinggi.



2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang efektivitas tanaman kiambang dan eceng gondok pada berbagai penelitian terdahulu tentang fitoremediasi dirangkum pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penelitian terdahulu

Tahun	Judul	Author	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
2025	Pemanfaatan Tanaman Kiambang sebagai Agen Fitoremediasi untuk Penetrasi Air Asam Tambang	Rahmi, H., Permana, R., Syahyuda, N. M., & Juniah, R.	Berdasarkan hasil penelitian pH AAT meningkat dari 4,9 menjadi 6,6 setelah adanya perlakuan, sedangkan Mn menurun dari 3 mg/L menjadi 0,07 mg/L sehingga memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku di Indonesia. Kiambang berpotensi sebagai alternatif pengolahan AAT yang alami dan ramah lingkungan untuk pertambangan.	Persamaan penelitian ini pada pemanfaatan pada tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi dalam pengolahan AAT. Kedua penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan melakukan pengamatan dan pengukuran kualitas air sebelum dan sesudah perlakuan.	Perbedaan penelitian ini pada variasi sampel perlakuan yang digunakan dalam pengolahan AAT yaitu perlakuan menggunakan tanaman kiambang dan eceng gondok.
2021	Efektivitas Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) dan Tanaman Coontail (<i>Ceratophyllum demersum</i>) dalam Pengolahan Limbah Cair Pencucian Ikan	Sartika, S., Apriani, I., & Pramadita, S.	Penelitian ini membahas penggunaan tanaman kiambang dan coontail (<i>Ceratophyllum demersum</i>) untuk memperbaiki kualitas limbah cair dari proses pencucian ikan. Fitoremediasi dilakukan dengan	Persamaan penelitian ini efektivitas tanaman air dalam mengolah cairan pencemar dengan mengukur perubahan kualitas air sebelum dan sesudah perlakuan. Penelitian menggunakan metode	Perbedaan penelitian ini pada jenis limbah dan parameter yang diukur. Penelitian ini fokus pada perbandingan efektivitas dua jenis tanaman dalam pengolahan limbah cair pencucian ikan.

Tahun	Judul	Author	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
			membandingkan dua jenis tanaman pada waktu tinggal 5, 10, dan 15 hari dengan duplikasi dua kali. Kesimpulan kiambang lebih efektif daripada coontail dalam menurunkan parameter pencemar pada limbah cair pencucian ikan.	pengamatan dan pengukuran laboratorium dengan perlakuan tanaman tertentu.	Sedangkan penelitian yang dilakukan pada kemampuan kiambang dan eceng gondok untuk menetralkan keasaman air dan mengurangi logam berat Mn di pertambangan.
2018	Fitoremediasi Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) terhadap Penurunan Kadar Phospat pada Air Limbah Usaha Binatu	Wuran, V., Febriani, H., & Subagiyono, S.	Penelitian ini membahas fitoremediasi tanaman kiambang terhadap penurunan kadar phospat pada air limbah usaha binatu. Kemampuan tumbuhan dalam menurunkan fosfat dipengaruhi oleh stimulasi aktivitas biodegradasi mikroba yang berasosiasi dengan sistem perakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak tanaman kiambang yang ditanam dalam limbah, semakin tinggi penyerapan fosfat yang terjadi.	Persamaan utama kedua penelitian terletak pada penggunaan tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi untuk mengolah limbah cair. Selain itu, kedua penelitian menggunakan metode pengukuran laboratorium untuk menganalisis perubahan kualitas air sebelum dan sesudah perlakuan, serta menerapkan pengulangan percobaan.	Perbedaan penelitian ini pada air limbah usaha binatu dengan fokus pada penurunan kadar fosfat, sedangkan penelitian yang dilakukan pada AAT dengan fokus peningkatan pH dan penurunan konsentrasi logam berat Mn.

2022	Studi Perbandingan Metode Fitoremediasi dan Penggunaan Zeolit sebagai Alternatif Pengelolaan Air Asam Tambang pada Settling Pond Wara, PT Adaro Indonesia	Mirani, N. P., Tandi, L. M., Nahumury, B. M., & Wopari, F. D.	Penelitian ini pada AAT memiliki kandungan logam berat yang tinggi, terutama Fe dan Mn. Berbagai metode dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini, antara lain fitoremediasi melalui dan penggunaan zeolit. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi kedua metode tersebut dalam menurunkan kadar logam berat Fe dan Mn sekaligus meningkatkan pH AAT menggunakan analisis <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS).	Persamaan penelitian ini terletak pada fokus pengolahan AAT untuk menurunkan pencemar dengan memanfaatkan media, baik tanaman sebagai media alami maupun media lain, serta menggunakan metode laboratorium untuk mengukur efektivitas pengolahan.	Perbedaan penelitian terletak pada media pengolahan dan pendekatan pelaksanaannya. Penelitian ini membandingkan fitoremediasi dengan tanaman dan penggunaan zeolit sebagai media mineral perbandingan efektivitas media alami dan media mineral. Penelitian yang dilakukan menggunakan tanaman kiambang dan eceng gondok secara <i>in situ</i> untuk menurunkan pH dan logam berat Mn di AAT.
2025	Tanaman Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) sebagai Agen Fitoremediasi pada Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi	Poli, V. P., & Sopotan, J. E. M.	Penelitian menunjukkan bahwa tanaman kiambang efektif dalam mengolah limbah cair peternakan babi. Pertumbuhan biomassa kiambang yang meningkat selama perlakuan menunjukkan kemampuan tanaman memanfaatkan nutrisi dari limbah, sehingga mendukung efektivitas fitoremediasi secara keseluruhan.	Persamaan antara penelitian pada pemanfaatan tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi. Kedua penelitian sama-sama menunjukkan kemampuan kiambang dalam menurunkan pencemar pada air, baik berupa zat organik dan fosfat pada maupun pH dan logam berat Mn.	Penelitian pada limbah cair peternakan babi fokus pada penurunan fosfat dan beban organik seperti BOD dan COD, sedangkan penelitian yang dilakukan terhadap netralisasi pH dan penurunan konsentrasi logam berat Mn pada AAT.

2024	Pemanfaatan Eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan Kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) sebagai Agen Fitoremediasi Pencemaran Air oleh Logam Berat Zink (Zn)	Savira, W., & Fitrihidajati, H.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi tanaman eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) memiliki efektivitas paling tinggi dalam menurunkan konsentrasi logam berat Zn pada air tercemar.	Persamaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan berupa mengkaji pemanfaatan tanaman air sebagai agen fitoremediasi dalam memperbaiki kualitas air tercemar. Penelitian terdahulu menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) untuk menurunkan kandungan logam berat Zn, sedangkan penelitian ini memanfaatkan kiambang dan eceng gondok dalam proses netralisasi AAT. Kedua penelitian juga berfokus pada kemampuan tanaman dalam menyerap zat pencemar, menurunkan kandungan logam, serta meningkatkan kualitas air melalui berupa mekanisme biologis.	Perbedaan penelitian terdahulu dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan adalah penelitian tersebut hanya pada kemampuan tanaman dalam menurunkan kandungan logam berat Zn, sedangkan penelitian ini tidak hanya mengkaji penurunan logam, tetapi juga efektivitas kiambang dan eceng gondok dalam proses netralisasi AAT.
2022	Fitoremediasi COD dan TSS menggunakan Tanaman Eceng Gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i>) dan Kiambang (<i>Salvinia molesta</i>) pada Limbah Laundry	Jubaidi, J., Maulana, I., & Saputra, A. I.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi tanaman eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) memiliki efektivitas paling tinggi dalam menurunkan konsentrasi logam berat Zn pada air tercemar. Kombinasi eceng gondok dan kayu apu dinilai lebih efektif digunakan sebagai agen fitoremediasi.	Persamaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan adalah mengkaji pemanfaatan tanaman air sebagai agen fitoremediasi dalam memperbaiki kualitas air tercemar. Penelitian terdahulu menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan kayu apu (<i>Pistia stratiotes</i>) untuk menurunkan kandungan logam berat	Perbedaan penelitian terdahulu dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan adalah penelitian tersebut hanya pada kemampuan tanaman dalam menurunkan kandungan logam berat Zn, sedangkan penelitian ini tidak hanya mengkaji penurunan logam, tetapi juga efektivitas kiambang dan eceng gondok dalam proses netralisasi AAT.

					Zn.	
2023	Fitoremediasi Timbal (Pb) pada Air Tercemar menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan Apu-Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	Hidrawati, Netty Syam, dan Nurul Ayu	Penelitian mengenai fitoremediasi Pb pada air tercemar menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan apu-apu (<i>Pistia stratiotes</i>) bertujuan untuk mengetahui kemampuan kedua tanaman air tersebut dalam menyerap dan menurunkan kadar logam berat timbal pada perairan tercemar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok dan apu-apu efektif digunakan sebagai agen fitoremediasi karena mampu mengakumulasi logam Pb melalui akar dan jaringan tanaman.	Persamaan penelitian tersebut dengan kedua penelitian juga berfokus pada kemampuan tanaman dalam menyerap dan mengakumulasi zat pencemar melalui sistem perakaran sehingga dapat menurunkan kandungan logam dan meningkatkan kualitas air.	Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan terletak pada jenis pencemar, tujuan penelitian, dan jenis tanaman yang digunakan. Penelitian terdahulu berfokus pada penurunan kadar logam berat Pb pada air tercemar menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) dan apu-apu (<i>Pistia stratiotes</i>), sedangkan penelitian ini berfokus pada proses netralisasi dan menurunkan konsentrasi logam berat Mn menggunakan kiambang dan eceng gondok.	

2019	Fitoremediasi Logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i>)	Azwari, F	Penelitian mengenai fitoremediasi logam Fe dalam AAT menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menurunkan kadar Fe. Selain menurunkan kadar Fe, penggunaan eceng gondok juga berpengaruh terhadap peningkatan kualitas air, terutama pada perubahan pH menuju kondisi yang lebih netral.	Persamaan penelitian berfokus pada kemampuan tanaman dalam menyerap dan menurunkan kandungan logam pada air tercemar serta memperbaiki kualitas air melalui proses biologis. Penelitian terdahulu menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) untuk menurunkan kadar logam Fe, sedangkan penelitian ini memanfaatkan kiambang dan eceng gondok.	Perbedaan penelitian tersebut menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>) sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan kadar logam Fe, sedangkan penelitian ini menggunakan kiambang dan eceng gondok dalam proses menurunkan logam berat Mn dan netralisasi AAT.
------	--	-----------	--	--	---

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April - Juni 2026. Lokasi penelitian dilakukan di *nursery* PT Banjarsari Pribumi Kecamatan Merapi Timur Kabupaten Lahat.

3.2 Data Penelitian

1. Data primer

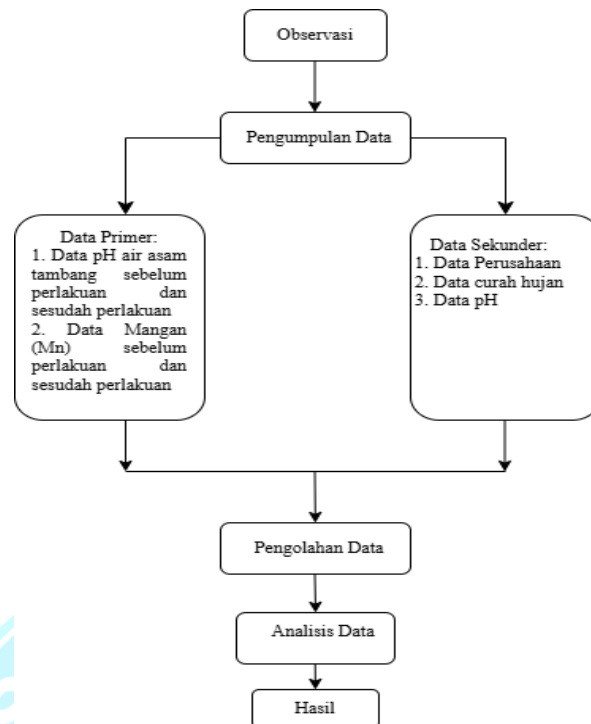
Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari melalui kegiatan pengukuran, pengamatan secara *in situ* di lapangan, dan pengujian di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Lahat. Percobaan tanaman kiambang dan eceng gondok pada kualitas AAT, data primer berupa hasil pengukuran pH serta kadar logam Mn pada sampel yang diambil pada KPL1 *inlet*.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh seperti jurnal ilmiah. Penelitian ini data sekunder meliputi data perusahaan dan data pH untuk mendukung analisis hasil perlakuan pada percobaan.

3.3 Pengumpulan Data

Prosedur pelaksanaan penelitian digambarkan dalam bagan alir pada Gambar 3.2. Bagan tersebut menunjukkan alur keseluruhan penelitian mulai dari tahap observasi, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, dan hasil.



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

Selain bagan alir penelitian yang disajikan pada Gambar 3.2 yang menggambarkan tahapan penelitian secara keseluruhan, selanjutnya dijelaskan tahapan pengelolaan AAT dan analisis efektivitas tanaman kiambang dan eceng gondok.

1. Tahapan pengelolaan AAT

Tahapan pengelolaan AAT dilakukan dengan melakukan observasi lapangan secara langsung terhadap proses pengelolaan AAT yang diterapkan di PT Banjarsari Pribumi.

2. Analisis efektivitas tanaman kiambang dan eceng gondok

Analisis efektivitas tanaman kiambang dan eceng gondok dilakukan untuk mengetahui kemampuannya dalam menurunkan konsentrasi logam berat Mn serta netralisasi pH pada AAT.

1). Sampel perlakuan percobaan 1

Penelitian ini menilai efektivitas fitoremediasi terhadap netralisasi pH dan konsentrasi Mn yaitu:

- a. Perlakuan kiambang 200 gr + 5 L AAT

Perlakuan ini untuk menilai kemampuan fitoremediasi alami oleh kiambang terhadap parameter pH dan Mn (Sartika et al., 2021).

- b. Perlakuan eceng gondok 200 gr + 5 L AAT
- c. Perlakuan kiambang 100 gr + eceng gondok 100 gr + 5 L AAT

2). Sampel perlakuan percobaan 2

Perlakuan percobaan 2 dengan menambahkan 50 gr masing masing berat tanaman untuk menilai efektivitas fitoremediasi terhadap netralisasi pH dan konsentrasi Mn yaitu:

- a. Perlakuan kiambang 250 gr + 5 L AAT

Perlakuan ini untuk menilai kemampuan fitoremediasi alami oleh kiambang terhadap parameter pH dan Mn.

- b. Perlakuan eceng gondok 250 gr + 5 L AAT
- c. Perlakuan kiambang 125 gr + eceng gondok 125 gr + 5 L AAT

3). Tahapan pengambilan AAT

- a. Persyaratan alat sampel air

Persyaratan alat sampel air sesuai dengan prosedur dan standar yang berlaku Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008 persyaratan alat, wadah sampel air sebagai berikut Gambar 3.3.



Sumber : SNI 6989.59:2008

Gambar 3.2 Pengambilan menggunakan *swing sampler*

- 1. Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat contoh;
 - 2. Mudah dicuci dari bekas contoh sebelumnya;
 - 3. Contoh mudah dipindahkan kedalam botol penampung tanpa ada sisa bahan tersuspensi didalamnya;
 - 4. Mudah dan aman di bawa; dan
 - 5. Kapasitas alat tergantung dari tujuan pengujian.
- b. Pengambilan kualitas air

1. Siapkan alat pengambil contoh sesuai dengan saluran pembuangan, bilas alat dengan contoh yang akan diambil sebanyak tiga kali;
2. Ambil contoh sesuai dengan peruntukan analisis dan campurkan dalam penampung sementara, kemudian homogenkan;
3. Masukkan ke dalam wadah yang sesuai peruntukan analisis;
4. Lakukan segera pengujian untuk pH;
5. Hasil pengujian parameter lapangan di catat dalam buku catatan khusus; dan
6. Pengambilan contoh untuk parameter pengujian di laboratorium dilakukan pengawetan.

c. Pengukuran pH

Pengukuran pH sesuai prosedur dan standar yang berlaku SNI 6989.11:2019 sebagai berikut:

1. Kalibrasi pH meter dengan minimal 2 larutan penyangga disesuaikan dengan rentang pengukuran setiap kali akan melakukan pengukuran;
2. Bilas elektroda dengan air bebas mineral, selanjutnya keringkan dengan kertas tisu.
3. Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter
4. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter;
5. Catat suhu pada saat pengukuran pH; dan
6. Bilas kembali elektroda dengan air bebas mineral setelah pengukuran.

d. Pengukuran Mn

Pengukuran Mn sesuai prosedur dan standar yang berlaku SNI 6989.84:2019 sebagai berikut:

1. Siapkan contoh uji untuk pengujian lalu homogenkan contoh uji, pipet 50,0 mL contoh uji dan masukkan ke dalam gelas piala 100 mL atau erlenmeyer 100 mL;

2. Tambahkan 5 mL HNO_3 pekat pada gelas piala, tutup dengan kaca arloji dan erlenmeyer gunakan corong sebagai penutup;
 3. Panaskan perlahan-lahan sampai sisa volumenya 15 mL – 20 mL;
 4. Jika larutan belum jernih tambahkan lagi 5 mL HNO_3 dan panaskan kembali, ulangi hingga semua logam larut dan larutan jernih;
 5. Bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala;
 6. Pindahkan sampel ke labu ukur 50,0 mL dan tambahkan air bebas mineral lalu homogenkan; dan
 7. Contoh uji siap diukur.
- 4). Tahapan pengolahan sampel perlakuan percobaan 1:
- a. Perlakuan kiambang 200 gr + 5 L AAT
 1. Persiapan AAT sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 24 L;
 2. Penambahan kiambang ditimbang sesuai perlakuan yaitu 200 gr kemudian dimasukkan ke permukaan AAT; dan
 3. Wadah diletakkan pada tempat dengan cahaya alami dengan pemantauan secara berkala pada pengukuran pH dilakukan pada pukul 09:00 dan pukul 16:00.
 - b. Perlakuan eceng gondok 200 gr + 5 L AAT
 1. Persiapan AAT sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 24 L;
 2. Penambahan eceng gondok ditimbang sesuai perlakuan yaitu 200 gr kemudian dimasukkan ke permukaan AAT; dan
 3. Wadah diletakkan pada tempat dengan cahaya alami dengan pemantauan dilakukan secara berkala pada pengukuran pH dilakukan setiap hari pukul 09:00 dan pukul 16:00.
 - c. Perlakuan kiambang 100 gr + eceng gondok 100 gr + 5 L AAT

1. Persiapan AAT sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 24 L;
 2. Penambahan kiambang 125 gr dan eceng gondok 125 gr kemudian dimasukkan ke permukaan AAT; dan
 3. Wadah diletakkan pada tempat dengan cahaya alami dengan pemantauan dilakukan secara berkala pada pengukuran pH dilakukan setiap hari pukul 09:00 dan pukul 16:00.
- 5). Tahapan pengolahan sampel perlakuan percobaan 2:
- a. Perlakuan kiambang 250 gr + 5 L AAT
 1. Persiapan AAT sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 24 L;
 2. Penambahan kiambang ditimbang sesuai perlakuan yaitu 250 gr kemudian dimasukkan ke permukaan AAT;
 3. Wadah diletakkan pada tempat dengan cahaya alami dengan pemantauan dilakukan secara berkala pada pengukuran pH dilakukan setiap hari pukul 09:00 dan pukul 16:00 ; dan
 4. Pengambilan sampel air untuk pengukuran konsentrasi Mn dilakukan pada hari ke-5.
 - b. Perlakuan eceng gondok 250 gr + 5 L AAT
 1. Persiapan AAT sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 24 L;
 2. Penambahan eceng gondok ditimbang sesuai perlakuan yaitu 250 gr kemudian dimasukkan ke permukaan AAT;
 3. Wadah diletakkan pada tempat dengan cahaya alami dengan pemantauan dilakukan secara berkala pada pengukuran pH dilakukan setiap hari pukul 09:00 dan pukul 16:00; dan
 4. Pengambilan sampel air untuk pengukuran konsentrasi Mn dilakukan pada hari ke-5.
 - c. Perlakuan kiambang 125 gr + eceng gondok 125 gr + 5 L AAT
 1. Persiapan AAT sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 24 L;

2. Penambahan kiambang 125 gr dan eceng gondok 125gr kemudian dimasukkan ke permukaan AAT;
3. Wadah diletakkan pada tempat dengan cahaya alami dengan pemantauan dilakukan secara berkala pada pengukuran pH dilakukan setiap hari pukul 09:00 dan pukul 16:00; dan
4. Pengambilan sampel air untuk pengukuran konsentrasi Mn dilakukan pada hari ke-5.

Pengukuran parameter pH dilakukan pada saat pukul 09:00 dan pukul 16:00, pengujian Mn pada hari ke-5 di DLH Kabupaten Lahat.

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan perhitungan efektivitas fitoremediasi dan membandingkan hasil perlakuan dengan baku mutu lingkungan menurut Permen LHK Nomor 5 Tahun 2022 disajikan dalam bentuk tabel dan gambar lalu diinterpretasikan.

1. Efektivitas Fitoremediasi

Efektivitas merupakan kemampuan suatu proses dalam menghasilkan sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Perhitungan efektivitas fitoremediasi dalam penyerapan konsentrasi logam berat seperti Mn dapat ditentukan melalui persamaan 3.1.

Efektivitas Fitoremediasi:

$$EF = \frac{(Po) - (Pt)}{(Po)} \times 100\% \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

EF = Efektivitas fitoremediasi

Po = Parameter awal

Pt = Parameter akhir dengan agen fitoremediasi

Sumber : Rahmi et al (2025)

Hasil analisis perubahan kualitas AAT pada uji coba parameter Mn serta dibandingkan dengan baku mutu lingkungan sebagaimana diatur Permen LHK Nomor 5 Tahun 2022. Peraturan ini menetapkan ambang batas kualitas air limbah pertambangan yang harus dipenuhi sebelum dibuang ke lingkungan. Rincian baku mutu tersebut disajikan Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Baku mutu air limbah pertambangan batu bara

No	Parameter	Satuan	Kadar Penambangan	Maksimum Pengolahan/ Pencucian
1	pH		6-9	6-9
2	Mangan (Mn) Total	mg/l	4	4

Sumber: Permen LHK No.5, 2022



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahapan Pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi

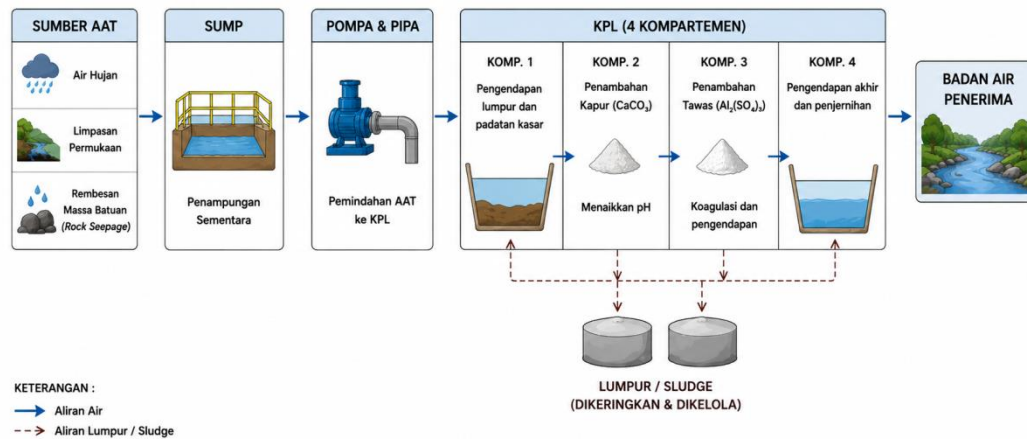
Tahapan pengelolaan AAT pada KPL1 PT Banjarsari Pribumi (Gambar 4.1) dari 4 kolam kompartemen yang disusun secara berurutan sebagai berikut.



Sumber : Citra *Google Earth*

Gambar 4.1 KPL 1 PT Banjarsari Pribumi

Berdasarkan hasil pengamatan Gambar 4.1 KPL 1 PT Banjarsari Pribumi terdiri dari kolam kompartemen 1 (a), kolam kompartemen 2 (b), kolam kompartemen 3 (c), dan kolam kompartemen 4 (d). Selanjutnya sistem penyaliran dimulai dari *sump* lalu air dipompa melalui pipa menuju KPL dapat dilihat pada (Gambar 4.2) bagan alir tahapan pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi.



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.2 Bagan alir tahapan pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi

Berdasarkan Gambar 4.2 bagan alir tahapan pengelolaan AAT di PT Banjarsari Pribumi diawali dengan proses penyaliran air menuju *sump*. *Sump* berfungsi sebagai tempat penampungan sementara air yang berasal dari air hujan, limpasan permukaan, dan rembesan air dari massa batuan (*rock seepage*). Air yang telah terkumpul di dalam *sump* selanjutnya dipompa melalui pipa menuju KPL untuk menjalani proses pengolahan secara bertahap pada setiap kompartemen. Tahapan diawali pada kolam kompartemen 1 dapat disajikan pada (Gambar 4.3).



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4.3 Kolam kompartemen 1

Gambar 4.3 kolam kompartemen 1 menunjukkan adanya pengendapan pada

secara alami akibat pengaruh gaya gravitasi, sehingga partikel berukuran besar seperti pasir, tanah, dan lumpur mengendap di dasar kolam. Fungsi utama kompartemen 1 adalah mengurangi beban padatan tersuspensi sehingga meningkatkan efisiensi pengolahan pada kompartemen selanjutnya dalam sistem pengolahan AAT.



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4.4 Kolam kompartemen 2

Berdasarkan Gambar 4.4 kolam kompartemen 2 berupa kolam netralisasi biasanya dilakukan penambahan bahan penetral seperti kapur untuk meningkatkan pH air yang bersifat asam. Selain itu, terjadi reaksi kimia yang membantu mengendapkan logam terlarut lebih mudah membentuk endapan sehingga dapat dipisahkan dari air dan mengendap di dasar kolam.



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4.5 Kolam kompartemen 3

Berdasarkan Gambar 4.5 kolam kompartemen 3 merupakan KPL berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel halus dan endapan hasil proses netralisasi yang terjadi pada kolam kedua. Tahapan ini dapat dilakukan penambahan tawas sebagai bahan koagulan untuk membantu proses penggumpalan partikel-partikel halus yang sulit mengendap secara alami. Gumpalan atau flok yang terbentuk dari reaksi antara tawas, kapur, dan logam terlarut kemudian akan mengendap di dasar kolam. Proses pengendapan dalam air semakin berkurang sehingga air yang keluar dari kolam menjadi lebih jernih.



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4.6 Kolam kompartemen 4

Gambar 4.6 kolam kompartemen 4 atau kolam pengendapan akhir pengolahan AAT sebelum air dialirkan ke lingkungan atau badan air penerima. Kolam ini berfungsi sebagai tahap akhir pengendapan untuk mengurangi partikel-partikel halus. Selain sebagai tempat pengendapan akhir berfungsi sebagai kolam kontrol untuk memantau kualitas air sebelum dilepaskan ke lingkungan. Parameter kualitas air meliputi pH, TSS, serta kandungan logam terlarut. Pemantauan dilakukan untuk memastikan bahwa air hasil pengolahan telah memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku.

4.2 Efektivitas Kiambang dan Eceng Gondok

4.2.1 Konsentrasi Logam Berat Mn pada perlakuan

Pengukuran konsentrasi logam berat Mn pada AAT di PT Banjarsari

Pribumi dilakukan di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Lahat. Pengukuran untuk mengetahui Mn sebelum dan sesudah menggunakan kiambang 250 gr menurunkan konsentrasi logam berat Mn dalam AAT.

Hasil pengujian sebelum dan sesudah perlakuan kiambang 250 gr dapat dilihat 4.1.

Tabel 4.1 Pengukuran Mn perlakuan kiambang 250 gr

No	Waktu pengamatan	Sebelum perlakuan (mg/L)	Sesudah perlakuan (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
1	Hari ke-5	6,35	4,28	4 mg/L

Sumber : Hasil pengujian Mn di DLH Kabupaten Lahat 2026

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil pengukuran kadar Mn setelah perlakuan kiambang 250 gr dalam 5 L AAT menunjukkan adanya perubahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kiambang hanya mampu menurunkan kadar Mn dari konsentrasi awal sebesar 6,35 mg/L menjadi 4,28 mg/L, nilai tersebut belum memenuhi baku mutu. Menurut Naufal & Asrifah (2026), penurunan kadar Mn belum mencapai ambang optimal untuk pengendapan Mn dipengaruhi oleh proses biologis seperti fotosintesis melalui tanaman dan mikroorganisme berlangsung lebih lambat sehingga pengurangan Mn tidak terjadi secara signifikan.

Pengukuran konsentrasi Mn sebelum dan setelah perlakuan kemampuan eceng gondok 250 gr dalam menurunkan konsentrasi logam berat Mn pada AAT. Hasil pengujian sebelum dan setelah perlakuan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengukuran Mn perlakuan eceng gondok 250 gr

No	Waktu pengamatan	Sebelum perlakuan (mg/L)	Sesudah perlakuan (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
1	Hari ke-5	6,35	0,261	4 mg/L

Sumber: Hasil pengujian Mn di DLH Kabupaten Lahat 2026

Berdasarkan Tabel 4.2 hasil pengukuran kadar Mn setelah perlakuan eceng gondok 250 gr dalam 5 L AAT menunjukkan perubahan. Hasil diatas

menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menurunkan kadar Mn dari konsentrasi awal sebesar 6,35 mg/L menjadi 0,261 mg/L, nilai tersebut memenuhi baku mutu. Menurut Ilmannafian et al (2020) oksigen dihasilkan melalui fotosintesis tanaman sehingga mendukung aktivitas mikroba di daerah perakaran. Selain itu eceng gondok juga berperan dalam menurunkan konsentrasi pencemar melalui mekanisme *rhizofiltrasi* yaitu mekanisme kemampuan tanaman dalam mengikat, menahan, dan menstabilkan logam pada daerah perakaran sehingga kelarutan logam di dalam air berkurang.

Pengukuran konsentrasi Mn sebelum dan setelah perlakuan kemampuan kiambang dan eceng gondok 250 gr masing masing berat tanaman 125 gr untuk menurunkan konsentrasi logam berat Mn pada AAT. Hasil pengujian sebelum dan setelah perlakuan disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengukuran Mn perlakuan kiambang dan eceng gondok 250 gr

No	Waktu pengamatan	Sebelum perlakuan (mg/L)	Sesudah perlakuan (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
1	Hari ke-5	6,35	2,15	4 mg/L

Sumber : Hasil pengujian Mn di DLH Kabupaten Lahat 2026

Berdasarkan Tabel 4.3 hasil pengukuran kadar Mn setelah perlakuan kiambang 125 gr dan eceng gondok 125 gr dalam 5 L AAT menunjukkan perubahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kiambang dan eceng gondok mampu menurunkan kadar Mn dari konsentrasi awal sebesar 6,35 mg/L menjadi menjadi 2,15 mg/L, nilai tersebut memenuhi baku mutu. Menurut Amri & Adifa (2025) kemampuan dalam proses fitoremediasi melalui penyerapan dan pengikatan logam pada daerah perakaran. Selain itu, waktu kontak selama 5 hari memberikan kesempatan bagi tanaman untuk menyerap dan menstabilkan Mn sehingga mengalami penurunan untuk kedua tanaman mampu menurunkan kadar Mn.

4.2.2 Nilai pH pada perlakuan

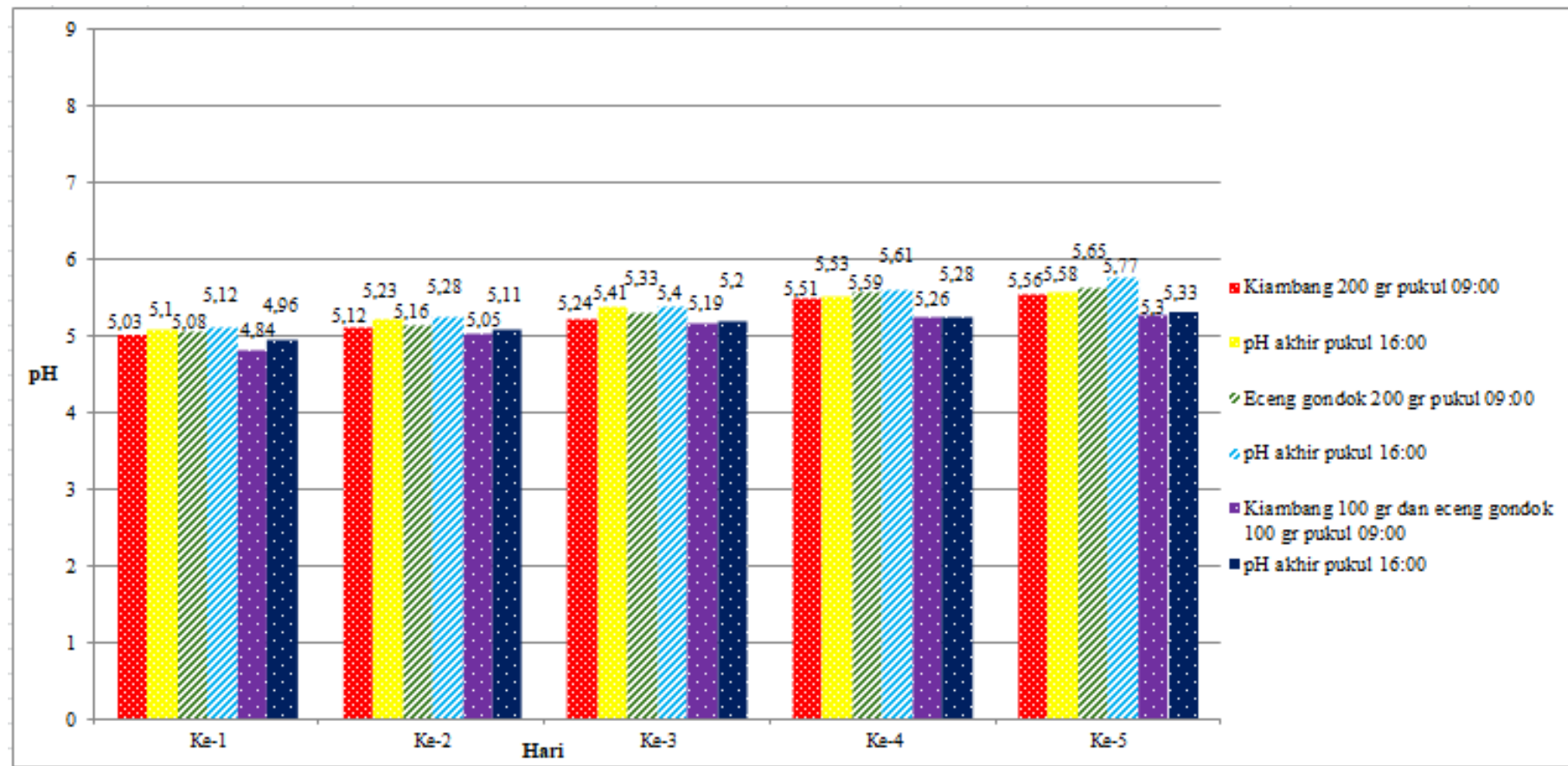
Hasil pengujian pH awal sebelum perlakuan kiambang dan eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengukuran awal pH

No	Sampel	Parameter	Baku mutu	Hasil
1	AAT sebelum perlakuan	pH	6-9	5,01

Berdasarkan Tabel 4.4 hasil pengukuran awal pH pada AAT diambil menunjukkan nilai pH sebesar 5,01. Nilai tersebut masih belum memenuhi baku mutu sesuai Permen LHK Nomor 5 Tahun 2022. Kondisi pH yang rendah menunjukkan bahwa air masih bersifat asam dan berpotensi meningkatkan kelarutan logam berat di dalam air. Perlakuan ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas kiambang dan eceng gondok agar sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

Perubahan pH setelah perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.3 pengukuran pH pada perlakuan 200 gr dan Gambar 4.4 pengukuran pH pada perlakuan 250 gr. Pengukuran pH dilakukan selama 5 hari untuk mengamati perubahan nilai pH pada AAT perlakuan menggunakan tanaman kiambang dan eceng gondok. Pengamatan dilakukan secara berkala untuk mengetahui kecenderungan peningkatan pH serta kestabilan proses fitoremediasi selama perlakuan.



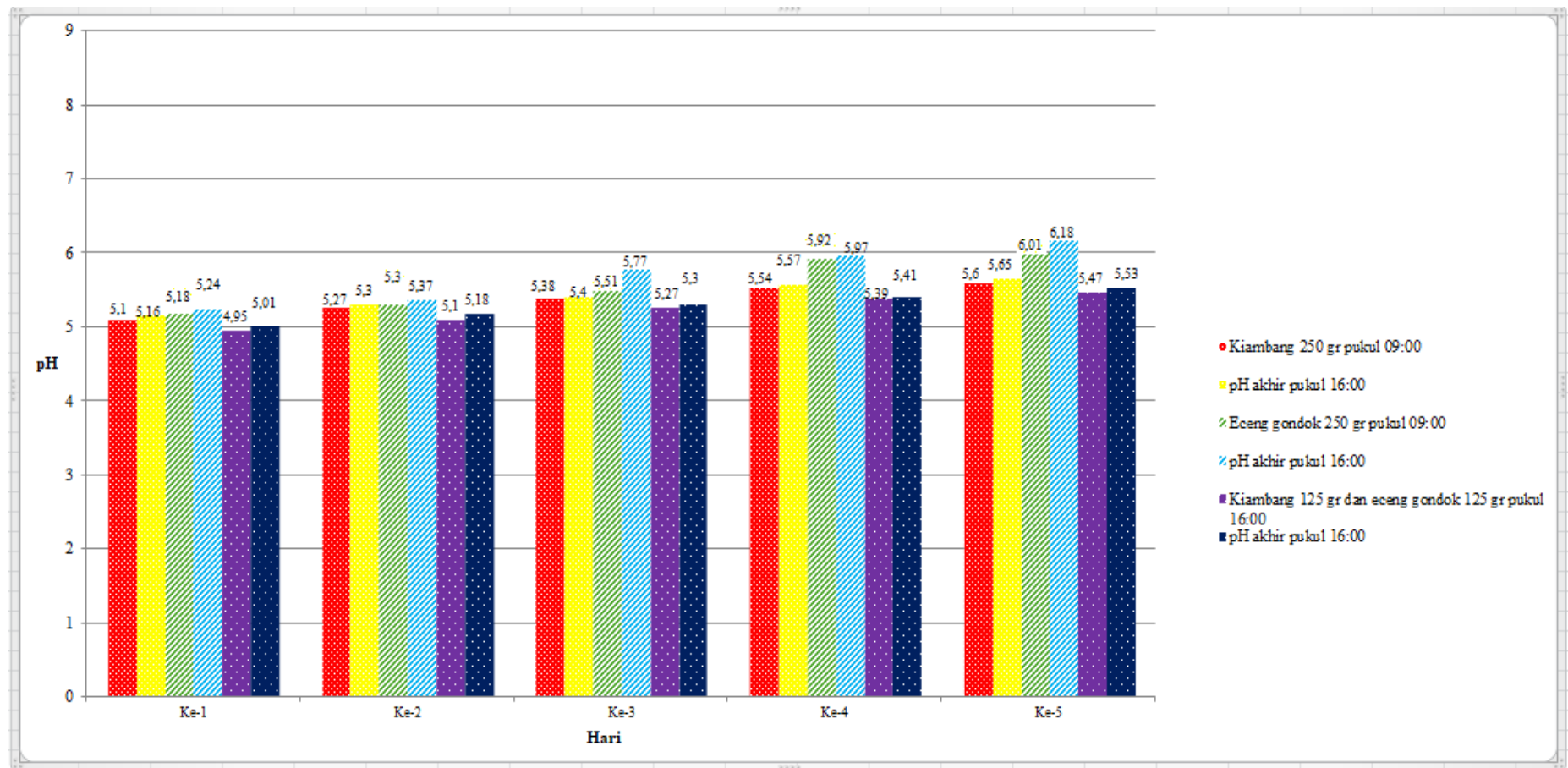
Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4.7 Pengukuran pH pada perlakuan 200 gr

Berdasarkan Gambar 4.7 untuk pengukuran pH pada perlakuan kiambang 200 gr menunjukkan adanya peningkatan secara bertahap selama 5 hari pengamatan. Hari ke-1 nilai pH meningkat dari 5,03 menjadi 5,10, hari ke-2 dari 5,12 menjadi 5,23, hari ke-3 dari 5,24 menjadi 5,41, hari ke-4 dari 5,51 menjadi 5,53, dan hari ke-5 dari 5,56 menjadi 5,58. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh aktivitas fotosintesis yang memanfaatkan CO₂ terlarut sehingga meningkatkan pH. Selain itu lamanya waktu kontak antara tanaman dengan air asam tambang turut mendukung proses fitoremediasi. Menurut Naufal & Asrifah (2026), aktivitas fotosintesis menyebabkan berkurangnya CO₂ terlarut sehingga konsentrasi asam menurun dan nilai pH air meningkat.

Berdasarkan Gambar 4.7 untuk pengukuran pH pada perlakuan eceng gondok 200 g menunjukkan adanya peningkatan selama 5 hari pengamatan. Hari ke-1 nilai pH meningkat dari 5,08 menjadi 5,12, hari ke-2 dari 5,16 menjadi 5,28, hari ke-3 dari 5,33 menjadi 5,40, hari ke-4 dari 5,59 menjadi 5,61, dan hari ke-5 dari 5,65 menjadi 5,77. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa eceng gondok mampu membantu memperbaiki kualitas air asam tambang melalui proses fitoremediasi. Namun, peningkatan pH untuk berat tanaman 200 gr masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan sehingga efektivitas perlakuan belum optimal.

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil pengukuran pH pada perlakuan kiambang dan eceng gondok masing-masing 100 g menunjukkan selama 5 hari pengamatan. Hari ke-1 nilai pH sebesar 4,84 menjadi 4,96, hari ke-2 meningkat 5,05 menjadi 5,11, hari ke-3 menjadi 5,19 menjadi 5,20, hari ke-4 5,26 menjadi 5,28, dan hari ke-5 mencapai 5,30 menjadi 5,33. Kenaikan pH berlangsung relatif lambat, hal ini disebabkan oleh persaingan kedua tanaman dalam memperoleh cahaya dan nutrisi sehingga proses fotosintesis menjadi kurang optimal. Menurut Bakti & Dewi (2024), tanaman terapung yang tumbuh pada ruang yang sama cenderung mengalami persaingan terhadap cahaya dan nutrisi.



Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4.8 Pengukuran pH pada perlakuan 250 gr

Berdasarkan Gambar 4.8 untuk pengukuran pH pada perlakuan kiambang dengan penambahan 50 gr menjadi 250 gr menunjukkan peningkatan selama 5 hari pengamatan. Nilai pH meningkat dari 5,10 menjadi 5,16 pada hari ke-1, hari ke-2 dari 5,27 menjadi 5,30, pada hari ke-3 5,38 menjadi 5,40, hari ke-4 5,54 menjadi 5,57 pada hari ke-5 5,60 menjadi 5,65. Secara umum, perlakuan kiambang 250 gr menunjukkan peningkatan pH yang belum signifikan. Menurut Rahmi et al (2025) proses fotosintesis dan metabolisme kiambang meningkatkan kadar O_2 serta menurunkan CO_2 terlarut sehingga pembentukan asam karbonat (H_2CO_3) berkurang dan pH air meningkat.

Berdasarkan Gambar 4.8 untuk pengukuran pH pada perlakuan eceng gondok dengan penambahan berat 50 gr menjadi 250 gr menunjukkan peningkatan selama 5 hari pengamatan. Nilai pH pada hari ke-1 5,18 menjadi 5,24, hari ke-2 5,30 menjadi 5,37, hari ke-3 5,51 menjadi 5,77, hari ke-4 5,92 menjadi 5,97, dan hari ke-5 6,01 menjadi 6,18 sehingga telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menurunkan tingkat keasaman air asam tambang melalui proses fitoremediasi. Menurut Fridtriyanda et al (2022) sistem perakaran eceng gondok yang lebat mampu menyerap dan mengakumulasi bahan pencemar pada akar, batang, dan daun sehingga membantu meningkatkan pH serta memperbaiki kualitas air.

Berdasarkan Gambar 4.8 untuk pengukuran pH pada perlakuan kiambang dan eceng gondok masing-masing penambahan 50 gr menjadi 250 gr menunjukkan peningkatan selama 5 hari pengamatan. Nilai pH pada hari ke-1 4,95 menjadi 5,01, hari ke-2 5,10 menjadi 5,18, hari ke-3 5,27 menjadi 5,30, hari ke-4 5,39 menjadi 5,41, dan hari ke-5 5,47 menjadi 5,53. Perlakuan kombinasi menunjukkan peningkatan pH, namun belum seefektif perlakuan eceng gondok 250 gr. Menurut Hidrawati et al (2023) terjadi persaingan antar tanaman dalam memperoleh cahaya matahari sehingga proses fotosintesis menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan pemanfaatan CO_2 terlarut berkurang sehingga peningkatan pH relatif terbatas.

4.2.3 Analisis Efektivitas Fitoremediasi

Analisis efektivitas fitoremediasi menggunakan kiambang dan eceng gondok dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar selama perlakuan, konsentrasi logam berat seperti Mn dihitung berdasarkan persentase penurunan konsentrasi antara kondisi awal dan akhir pengamatan.

Efektivitas Fitoremediasi:

1. Perlakuan kiambang

$$EF = \frac{(6,35-4,28)}{(6,35)} \times 100\% = 32,60\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan efektivitas fitoremediasi pada perlakuan kiambang untuk penurunan Mn adalah 32,60%.

2. Perlakuan eceng gondok

$$EF = \frac{(6,35-0,261)}{(6,35)} \times 100\% = 95,89\%$$

Hasil perhitungan efektivitas fitoremediasi pada perlakuan eceng gondok untuk penurunan Mn adalah 95,89%.

3. Perlakuan kiambang dan eceng gondok

$$EF = \frac{(6,35-2,15)}{(6,35)} \times 100\% = 66,14\%$$

Hasil perhitungan efektivitas fitoremediasi pada perlakuan kiambang dan eceng gondok untuk penurunan Mn adalah 66,14%.

Tabel 4.5 Nilai efektivitas penurunan konsentrasi Mn pada perlakuan 250 gr

No	Perlakuan	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi akhir (mg/L)	Baku mutu Mn (mg/L)	Nilai efektivitas (%)
1	Kiambang	6,35	4,28	4	32,60
2	Eceng gondok	6,35	0,261	4	95,89
3	Kiambang dan eceng gondok	6,35	2,15	4	66,14

Sumber: Penulis, 2026

Berdasarkan perhitungan efektivitas fitoremediasi dalam menurunkan logam berat Mn, urutan efektivitas tanaman dari yang tertinggi hingga terendah adalah eceng gondok sebesar 95,89%, kiambang dan eceng gondok

sebesar 66,14%, serta kiambang sebesar 32,60%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa eceng gondok tanaman efektif dalam menurunkan konsentrasi Mn.

Menurut Yunus & Prihatini (2018), eceng gondok memiliki sistem perakaran yang berupa akar lebih panjang dan serabut dapat mengikat, menahan, dan mengakumulasi logam Mn pada area perakaran. Karakteristik tersebut membuat eceng gondok berperan sebagai penyaring biologis yang efektif dalam menangkap partikel tersuspensi serta membantu meningkatkan kualitas air secara bertahap.

Selanjutnya kiambang dan eceng gondok dengan efektivitas sebesar 66,14% dalam menurunkan konsentrasi Mn. Peningkatan efektivitas tersebut dipengaruhi oleh keberadaan eceng gondok dalam proses penyerapan akumulasi logam Mn berlangsung lebih optimal. Penambahan eceng gondok dapat meningkatkan efektivitas meskipun nilainya berada di bawah efektivitas perlakuan eceng gondok tunggal. Perlakuan kiambang dalam menurunkan konsentrasi Mn sebesar 32,60% menunjukkan bahwa perlakuan tersebut kurang efektif dalam menurunkan konsentrasi Mn.

Nilai pH akhir pada perlakuan eceng gondok setelah 5 hari mencapai 6,18. Hal ini dipengaruhi oleh proses fotosintesis yang berlangsung pada daun eceng gondok. Menurut Hidrawati et al (2023), daun yang kaya akan klorofil memanfaatkan energi cahaya matahari untuk mengubah air, CO₂ menjadi glukosa serta O₂. Selama proses fotosintesis CO₂ terlarut di dalam air dimanfaatkan oleh tanaman sehingga konsentrasinya berkurang. Penurunan CO₂ menyebabkan pembentukan H₂CO₃ dan ion hidrogen (H⁺) menurun sehingga tingkat keasaman pada air berkurang.

Perlakuan kiambang memiliki nilai pH 5,65 belum memenuhi baku mutu dipengaruhi oleh karakteristik morfologi kiambang yang memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan eceng gondok. Menurut Paulina & Faradika (2024), aktivitas fotosintesis menghasilkan O₂ pada daun dan bagian tanaman yang berinteraksi dengan media air relatif lebih terbatas, sehingga proses fotosintesis dan pemanfaatan CO₂ berlangsung kurang optimal. Akibatnya penurunan konsentrasi CO₂ terlarut dan pembentukan

H_2CO_3 di dalam air tidak sebesar pada perlakuan eceng gondok, sehingga peningkatan pH yang terjadi masih terbatas.

Perlakuan kiambang dan eceng gondok setelah 5 hari mencapai 5,53. Menurut Arum & Sari (2025), tanaman mengalami perubahan morfologi berupa klorosis dan nekrosis pada daun akibat toksisitas logam. Logam yang masuk ke dalam sel dapat mengganggu aktivitas enzim dan reaksi metabolisme sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Kerusakan daun tersebut menyebabkan proses fotosintesis tidak berlangsung secara optimal karena pemanfaatan CO_2 terlarut di dalam air berkurang. Selain itu pertumbuhan kedua tanaman dalam satu media dapat menyebabkan sebagian daun saling menutupi, sehingga penyerapan cahaya matahari menjadi kurang optimal.



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tahapan pengelolaan AAT dimulai dari *sump* lalu dipompa melalui pipa menuju kolam pengendapan yang terdiri atas empat kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi sebagai kolam pengendapan alami bagi lumpur dan padatan tersuspensi berukuran besar. Kompartemen kedua dilakukan penambahan kapur sebagai bahan penetral untuk meningkatkan pH air asam tambang sehingga mendukung pengendapan logam terlarut, kompartemen ketiga berfungsi dilakukan penambahan tawas sebagai koagulan untuk mempercepat penggumpalan partikel dan endapan sehingga lebih mudah mengendap. Selanjutnya kompartemen keempat merupakan kolam pengendapan akhir sekaligus kolam kontrol untuk memastikan kualitas air telah memenuhi persyaratan sebelum dialirkan ke badan air penerima; dan
2. Efektivitas fitoremediasi tertinggi dalam menurunkan konsentrasi Mn adalah tanaman eceng gondok sebesar 95,89% dan terendah oleh tanaman kiambang sebesar 32,60%.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya berupa perbaikan berat tanaman serta memperpanjang waktu kontak tanaman untuk memperoleh perlakuan yang lebih ideal sehingga efektivitas fitoremediasi dalam meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi Mn pada AAT dapat lebih optimal.

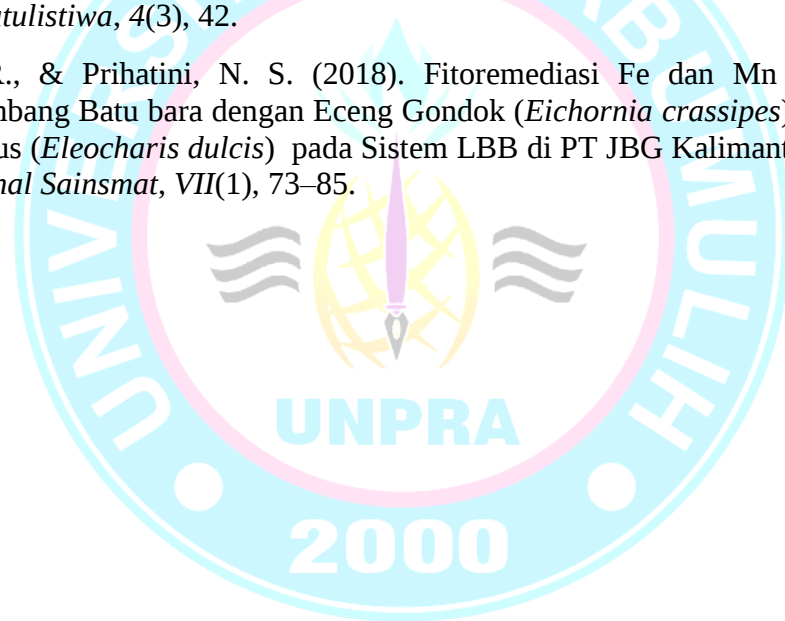
DAFTAR PUSTAKA

- Anisari, R. (2012). Keserasian Alat Muat dan Angkut untuk Kecapaian Target Produksi Pengupasan Batuan Penutup pada PT. Unirich Mega Persada Site Hajak Kabupaten Barito Utara Kalimantan Tengah. *Intekna Jurnal Informasi Teknik dan Niaga*, 12(1).
- Amri, K., & Adifa, F. (2025). Peran Fitoremediasi dalam Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat: Tinjauan Mekanisme dan Aplikasi. *Jurnal Greenation Ilmu Teknik*, 3(2), 58–65.
- Arum, R. S., & Sari, F. A. (2025). Interaksi Tak Terlihat Menguak Mutualisme, Komensalisme, dan Parasitisme dalam Kehidupan Tumbuhan. *Jurnal Sains Student Research (JSSR)*, 3(4): 1076–1083.
- Aulina, R. N., Tanzerina, N., Estuningsih, S. P., Wardana, S. T., & Juswardi. (2021). Respons pertumbuhan *Neptunia oleracea* Lour. pada fitoremediasi air asam tambang batubara. *Sriwijaya Bioscientia*, 2(1), 8.
- Azwari, F. (2020). Fitoremediasi Logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Buletin Loupe*, 15(02), 45.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 6989.11:2019 Cara Uji Derajat Keasaman dengan menggunakan pH Meter.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 6989.59:2008 Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 6989.5:2009 Tentang Cara Uji Mangan (Mn) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.
- Bekti, R. P., & Dewi, A. A. D. (2024). Karakteristik struktur morfologi dan anatomi tumbuhan kiambang dan eceng gondok sebagai sumber belajar pada mata kuliah tumbuhan air. *Science Education and Development Journal Archives*, 2(2).
- Bilbina, I. A., & Mirwan, M. (2025). Efektivitas Free Floating Wetland Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) dengan Penambahan EM4 dalam Pengolahan Limbah Laundry pada Kondisi Anoxic–Oxic. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(4), 15242–15248.
- Febriani, R., Yusran, F. H., & Ratna, R. (2024). Pengaruh Jenis Kapur terhadap pH, Al dapat dipertukarkan, Kelarutan Fe, Ketersediaan Fosfor dan Kapasitas Tukar Kation di Lahan Pasang Surut. *Acta Solum*, 2(3), 116–121. <https://doi.org/10.20527/actasolum.v2i3.2623>
- Fridtriyanda, A., Sutoyo, H. D., & Herniti, D. (2022). Studi Literatur Jenis Tanaman Pengelola Air Asam Tambang Batu bara dengan Cara Fitoremediasi pada Sistem Lahan Basah Buatan. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII (ReTII)*, 494–500.

- Hidayat, L. (2017). Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan. *ADHUM Vol. VII No. 1, Januari 2017, VII(1)*, 44–52.
- Hidrawati, H., Syam, N., & Ayu, N. (2023). Fitoremediasi Timbal (Pb) pada Air Tercemar Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dan Apu-Apu (*Pistia Stratiotes*). *Agrotek: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 7(2), 205–214. <https://doi.org/10.33096/agrotek.v7i2.358>
- Ilmannafian, A. ., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 244–253.
- Jubaidi, Maulana, I., & Saputra, A. I. (2022). Fitoremediasi COD dan TSS Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kiambang (*Salvinia molesta*) pada Limbah Laundry. *Jurnal Sanitasi Profesional Indonesia*, 3(2): 63–71.
- Matofani, M., Rianti, L., & Pratama, I. S. (2025). Analisis Teknis dan Ekonomis pada Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor di KPL 01 Al Cik Ayib PT Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 4(5), 595–608.
- Mirani, N. P., Tandi, L. M., Nahumury, B. M., & Wopari, F. D.(2022). Studi Perbandingan Metode Fitoremediasi dan Penggunaan Zeolit sebagai Alternatif Pengelolaan Air Asam Tambang pada Settling Pond Wara, PT. Adaro Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 10(2): 26–32.
- Naufal, R., & Asrifah, R. D. (2026). Efektivitas pengolahan aktif-pasif kapur dan wetland terhadap parameter pH dan mangan air asam tambang. *KURVATEK*, 11(1), 101–110.
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Safrizal, M. R., Puspitasari, A. I., & Pradana, H. A. (2022). Kajian perbaikan kualitas air limbah pengolahan kopi menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 11(1), 192–203.
- Nugroho, P. A. (2021). Efektivitas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Fitoremediator Logam Krom Heksavalen (Cr6+) pada Limbah Cair Industri Batik di Yogyakarta. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Paulina, M., & Faradika, M. (2024). Fitoremidiasi dengan Berbagai Jenis Tumbuhan. *Journal of Global Forest and Environmental Science*, 4(1): 127–130.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022 Tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan. Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

- Poli, V. P., & Soputan, J. E. M. (2025). Tanaman kiambang (*Salvinia molesta*) sebagai agen fitoremediasi pada pengolahan limbah cair peternakan babi. *Zootec*, 45(2), 131–138.
- Prisitama, J. E., Magdalena, H., Devy, S. D., Winarno, A., & Hasan, H. 2023. Efektivitas Kapur Tohor Terhadap Peningkatan pH dan Penurunan Kadar Logam Fe dan Mn di Settling Pond 11 PT. Alam Jaya Pratama Site Bara Kumala Sakti Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII)*, Vol. 18, hlm. 915–924
- Putri, D., & Juswardi. (2023). Efektivitas kombinasi *Pistia stratiotes* L. dan *Salvinia molesta* dalam fitoremediasi air asam tambang batu bara. *Sriwijaya Bioscientia*, 4(1), 32–37.
- Rahmatullah, M. A., Widayati, S., & Solihin. (2023). Pengelolaan Air Asam Tambang menggunakan Karbon Aktif Fine Coal di Penambangan Batu Bara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 47–54.
- Rahmi, H., Permana, R., Syahyuda, N. M., & Juniah, R. (2025). Pemanfaatan tanaman kiambang sebagai agen fitoremediasi untuk penetralan air asam tambang. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 4(2), 57–68.
- Ramadhani, N. S., & Juswardi. (2017). Efektivitas kombinasi vegetasi *Salvinia molesta* Mitchell dan *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms dalam fitoremediasi logam berat Pb limbah cair kain jumputan. *Artikel Pemakalah Paralel*, 354-360.
- Riyanto, A. (2023). Fitoremediasi kayu apu, eceng gondok, dan bambu air untuk menurunkan kadar BOD air limbah pabrik tahu. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 12(2), 162–170.
- Said, N. I. (2018). Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batu bara “Alternatif Pemilihan Teknologi.” *Jurnal Air Indonesia*, 7(2), 119–138.
- Saptawartono, Murati, F., Iashania, Y., Firdayanti, N., Melinda, S., & Reba, I. Y. (2024). Pengelolaan dan Pengendalian Air Asam Tambang pada Kegiatan Pertambangan Batu Bara. *Jurnal Teknologi Pertambangan (JTP)*, 24(1), 44–51.
- Sartika, S., Apriani, I., & Pramadita, S. (2021). Efektivitas Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*) dan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) dalam Pengolahan Limbah Cair Pencucian Ikan. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*, 5(1), 1–10.
- Savira, W., & Fitrihidajati, H. (2024). Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai Agen Fitoremediasi Pencemaran Air oleh Logam Berat Zink (Zn). *LenteraBio*, 13(1), 191–197.
- Simarmata, Y. O., Tuheteru, E. J., Aryanto, R., Suliestyah, & Fadhilah. (2024). Analisis Geokimia Batuan untuk Mengidentifikasi Potensi Pembentukan Air. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 7(1), 49–55.

- Subowo G. (2011). Penambangan Sistem Terbuka Ramah Lingkungan Dan Upaya Reklamasi Pasca Tambang Untuk Memperbaiki Kualitas Sumberdaya Lahan dan Hayati Tanah. *Jurnal Sumber daya Lahan*, 5(2), 83–84.
- Titan. (2023). PT Banjarsari Pribumi Anak Perusahaan Titan Group di Muara Enim Sumatera Selatan. Diakses pada 5 Januari 2026.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2025 tentang Perubahan Keempat atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Republik Indonesia.
- Waruwu, R. M. 2025. Identifikasi dan Peran Ekologis Kiambang (*Pistia stratiotes*) sebagai Makroflora Perairan pada Ekosistem Perairan Tergenang. *PERAUT: Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 2(1): 55–60.
- Wuran, V., Febriani, H., & Subagiyono, S. (2018). Fitoremediasi Tanaman Kiambang (*Salvinia Molesta*) Terhadap Penurunan Kadar Phospat Pada Air Limbah Usaha Binatu. *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa*, 4(3), 42.
- Yunus, R., & Prihatini, N. S. (2018). Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batu bara dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Sistem LBB di PT JBG Kalimantan Selatan. *Jurnal Sainsmat*, VII(1), 73–85.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Sertifikat kalibrasi alat ukur pH meter

PT. GLOBAL QUALITY INDONESIA

CALIBRATION OF INDUSTRIAL INSTRUMENT AND MEDICAL INSTRUMENT TESTING, TRAINING, QUALITY CONSULTANT,
PROFICIENCY TESTING, INSPECTION, CONFORMITY TESTING, CERTIFICATE PERSONAL MAINTENANCE & REPAIR

KAN
Komite Akreditasi Nasional
LK-057-IDN
PUP-019-IDN
LP-1707-IDN

CALIBRATION CERTIFICATE

Certificate Number : 02450/GQI-Sert/03/26
Page : 1 of 1

Order Number : 2603-131-3
Received Date : 30 March 2026
Equipment Name : pH meter
Manufacturer : Horiba
Model/Type : Laqua-PH210
Serial Number : HA2L0094
Capacity : (-2,00)~16,00 pH
Resolution : 0,01 pH
Technician ID : FTR
Typewriter ID : WA

Owner : PT. Banjarsari Pribumi
Address : Jl. SLR, KM 113, Ds. Tanjung Jambu Merapi Timur, Kab. Lahat, Sumatera Selatan
Calibration Location : PT. Global Quality Indonesia
Calibration Date : 30 March 2026
Calibration Method : IK-I-03 ref ASTM D 1293-2018
Environmental Condition : Tbefore = (22,2 ± 0,82) °C
RHbefore = (51 ± 3,3) %
Tafter = (22,3 ± 0,82) °C
RHafter = (50 ± 3,3) %

Calibration Report :

Temperature (°C)	Standard Indication (pH)	Instrument Indication (pH)	Correction (pH)	Uncertainty (U _{95%}) (pH)
25,2	4,01	3,98	0,03	± 0,013
25,2	7,01	6,98	0,03	± 0,013
25,3	10,01	10,07	-0,06	± 0,014

The Uncertainty is Taken at a Confidence Level 95 % and Coverage Factor (k) = 2

Standard Used :

Name : Merk/Type :
Buffer Solution : Hanna Instruments / HI70004C
Buffer Solution : Hanna Instruments / HI70007C
Buffer Solution : Hanna Instruments / HI70010C
Digital Thermometer : Krisbow/KW0600308

Serial Number :
7023
7467
0616
191219109

Traceable to SI Through :
Hanna Instruments
Hanna Instruments
Hanna Instruments
LK-057-IDN

Issuance Date : 31 March 2026

GLOBAL QUALITY INDONESIA

Elyana Firmansyah

Technical Manager of Calibration Laboratory
and Testing Laboratory

End of Certificate

FR.15.01

Komplek Kopo Mas Regency
Blok N No. 7C Bandung 40227

022-5436533 - 5436775
022-54425388

calibration@globalquality.co.id
customer@globalquality.co.id

www.globalquality.co.id

certificate

Attention : 1. This calibration result is valid only from the equipment calibrated.
2. It is not permitted to reproduce this certificate without permission from PT. Global Quality Indonesia

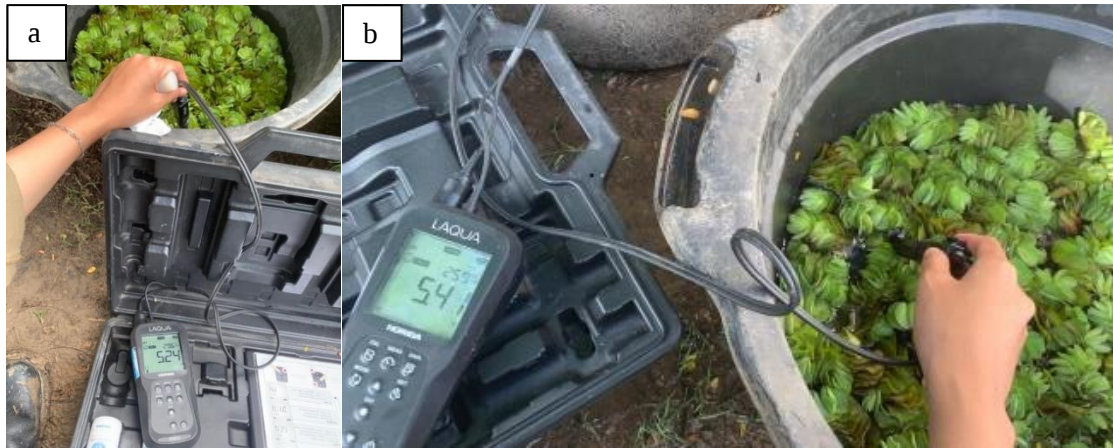
Gambar 1. Sertifikat kalibrasi alat ukur pH meter

Lampiran 2. Perlakuan pada berat 250 gr



Gambar 2. Perlakuan pada berat 250 gr kiambang (a), eceng gondok (b), kiambang dan eceng gondok (c).

Lampiran 3. Pengukuran pH perlakuan kiambang 250 gr



Gambar 3. Pengukuran pH perlakuan kiambang 250 gr pada pukul 09:00 (a) dan pukul 16:00 (b).



Lampiran 4. Hasil pengujian Mn perlakuan 250 gr



PEMERINTAH KABUPATEN LAHAT
DINAS LINGKUNGAN HIDUP
UPT LABORATORIUM LINGKUNGAN
Jl. Bhayangkara No. 8 Bandar Jaya Lahat, Email : lablingk.lahat@gmail.com
 LAHAT 31414

SERTIFIKAT HASIL UJI
NOMOR:660/324/SHU-LAB/VII/2026

Nomor contoh uji	: 660/324/SPPC.AL/VI/2026
Jenis contoh uji	: Air Limbah
Kode Contoh	: L1628 - 12.06.26
Contoh dari	: PT Banjarsari Pribumi
Alamat	: Kec. Merapi Timur
Jenis kegiatan/ Industri	: Tambang Batubara
Tanggal Penerimaan Contoh	: 12 Juni 2026
Waktu analisa	: 12 Juni 2026 s/d 03 Juli 2026
Pengambilan Contoh	: Dilakukan oleh <i>Customer</i>
Abnormalitas Contoh	: Tanpa Pengawetan

HASIL ANALISA

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Methode
			L1628-12.06.26	
1	Mangan (Mn) Total*)	mg/l	0,261	SNI 6989.84:2019
2	Mangan (Mn) Total*)	mg/l	2,150	SNI 6989.84:2019
3	Mangan (Mn) Total*)	mg/l	4,280	SNI 6989.84:2019

Keterangan :
 L1628-12.06.26 : KPL 1 inlet

Lahat, 03 Juli 2026

a.n. Kepala UPT. Laboratorium Lingkungan
 Dinas Lingkungan Hidup Kab. Lahat
 Kasubbag TU



Desti Hafshoh, S.T.
 NIP. 19831228 200903 2 001

Catatan:
 1. Hasil uji ini tidak dapat digunakan dan hanya berlaku untuk contoh tersebut diatas
 2. Hasil uji ini tidak boleh ditiru tanpa persetujuan dari UPT Laboratorium Lingkungan DLH Kab. Lahat
Pengantar:
 *) : Tercatatan
 **) : Hasil uji diberikan sesuai dengan metode

Gambar 4. Hasil pengujian Mn perlakuan 250 gr

Lampiran 5. Data hasil pengukuran pH

Tabel 1. Perlakuan 200 gr

Sumber Air	pH Awal	Sampel					pH akhir pukul 16:00	Sampel Air
		Kiambang 200 gr pukul 09:00	pH akhir pukul 16:00	Eceng gondok 200 gr pukul 09:00	pH akhir pukul 16:00	Kiambang 100 gr dan eceng gondok 100 gr pukul 09:00		
KPL INLET 1	5,01	5,03	5,1	5,08	5,12	4,84	4,96	5 L
KPL INLET 1	5,01	5,12	5,23	5,16	5,28	5,05	5,11	5 L
KPL INLET 1	5,01	5,24	5,41	5,33	5,4	5,19	5,2	5 L
KPL INLET 1	5,01	5,51	5,53	5,59	5,61	5,26	5,28	5 L
KPL INLET 1	5,01	5,56	5,58	5,65	5,77	5,3	5,33	5 L

Tabel 2. Perlakuan 250 gr

Sumber Air	pH Awal	Sampel					pH akhir pukul 16:00	Sampel Air
		Kiambang 250 gr pukul 09:00	pH akhir pukul 16:00	Eceng gondok 250 gr pukul 09:00	pH akhir pukul 16:00	Kiambang 125 gr dan eceng gondok 125 gr pukul 16:00		
KPL INLET	5,01	5,1	5,16	5,18	5,24	4,95	5,01	5 L
KPL INLET	5,01	5,27	5,3	5,3	5,37	5,1	5,18	5 L
KPL INLET	5,01	5,38	5,4	5,51	5,77	5,27	5,3	5 L
KPL INLET	5,01	5,54	5,57	5,92	5,97	5,39	5,41	5 L
KPL INLET	5,01	5,6	5,65	6,01	6,18	5,47	5,53	5 L