

**ANALISIS PERHITUNGAN BIAYA PENETRALAN
AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN KAPUR
TOHOR DI KPL PIT TAMBANG BATUBARA
PT BARA SUMATERA ENERGI**

TUGAS AKHIR



SIRADJUDDIN IKHWANI

2023310060

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

**ANALISIS PERHITUNGAN BIAYA PENETRANALAN
AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN KAPUR
TOHOR DI KPL PIT TAMBANG BATUBARA
PT BARA SUMATERA ENERGI**

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Ahli Madya
Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Prabumulih



**SIRADJUDDIN IKHWANI
2023310060**

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

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERHITUNGAN BIAYA PENETRANALAN AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN KAPUR TOHOR DI KPL PIT TAMBANG BATUBARA PT BARA SUMATERA ENERGI

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Ahli Madya
Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Prabumulih

Oleh:

SIRADJUDDIN IKHWANI
2023310060

Prabumulih, 18 Juni 2026
Pembimbing II

Pembimbing I



Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK. 5250771672130283



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

Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan



Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK. 5250771672130283

HALAMAN PERSETUJUAN

Proposal Tugas Akhir dengan judul "Analisis Perhitungan Biaya Penetralkan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor di KPL Pit Tambang Batubara PT Bara Sumatera Energi" telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Seminar Proposal Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Prabumulih pada hari Rabu, 18 Juni 2026, dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai dengan masukan Tim Penguji Sidang Proposal Tugas Akhir.

Prabumulih, 18 Juni 2026

Tim Penguji Sidang Laporan Tugas Akhir

Ketua :

1. Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK. 250771672130283

()

Anggota :

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

()

3. Reri Arisanti, S.T., M.T.
NUPTK. 1439755655300002

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



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

Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan



Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK. 250771672130283

PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Siradjuddin Ikhwani

NIM : 2023310060

Program Studi : Teknik Pertambangan

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



Prabumulih, 18 Juni 2026

Yang membuat pernyataan,



Siradjuddin Ikhwani
NIM. 2023310060

ABSTRAK

ANALISIS PERHITUNGAN BIAYA PENETRALAN AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN KAPUR TOHOR DI KPL PIT TAMBANG BATUBARA PT BARA SUMATERA ENERGI

Siradjuddin Ikhwani, 2023310060, 2026

Kegiatan penambangan batubara di PT Bara Sumatera Energi (BSE) berpotensi menimbulkan AAT akibat oksidasi mineral *pyrite* (FeS_2), dengan pH awal air berkisar 4,88 yang belum memenuhi baku mutu lingkungan (pH 6–9) berdasarkan Permen LHK No. 5 Tahun 2022. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem penetralan AAT di Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit menggunakan kapur tohor (CaO), menentukan dosis optimal kapur tohor skala laboratorium dan kebutuhan aktual lapangan, serta menganalisis biaya operasional yang dikeluarkan oleh perusahaan. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, pengukuran debit pompa, pengukuran dimensi KPL, dan pengujian laboratorium dengan analisis regresi linier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KPL Pit memiliki kapasitas tampung total sebesar 2.208.000 liter, dengan total volume air masuk (*inflow*) harian mencapai 3.850,13 m^3 /hari. Berdasarkan pengujian laboratorium, diperoleh persamaan regresi linier $y = 0,2343x + 6,2062$, dengan dosis optimal kapur tohor untuk mencapai target pH aman berkisar 0,93 gr/liter. Kebutuhan operasional aktual kapur tohor di lapangan berdasarkan volume debit air masuk berkisar antara 3.580,62 kg hingga 4.196,64 kg per hari (setara 72 karung/hari). Sementara itu, kebutuhan berdasarkan volume statis KPL berkisar antara 2.053,44 kg hingga 2.406,72 kg per hari (setara 41 karung/hari). Secara finansial, total biaya operasional penetralan yang dikeluarkan oleh perusahaan saat ini adalah sebesar Rp64.000.000,- per bulan dengan kebutuhan material sebesar 25,6 ton/bulan. Penggunaan kapur tohor terbukti sangat efektif meningkatkan pH air dari kondisi asam ke kondisi netral (pH 6,5–7,5) sehingga memenuhi standar regulasi lingkungan yang berlaku.

Kata Kunci: Kapur Tohor, Air Asam Tambang, Kolam Pengendap Lumpur, Biaya Operasional, pH Air

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE COST OF ACID MINE DRAINAGE NEUTRALIZATION USING QUICK LIME IN THE COAL MINE PIT MILLING MARTIAL RESISTANCE OF PT BARA SUMATERA ENERGI

Siradjuddin Ikhwani, 2023310060, 2026

Coal mining activities at PT Bara Sumatera Energi (BSE) have the potential to generate Acid Mine Drainage (AMD) due to the oxidation of pyrite mineral (FeS_2), with an initial water pH of approximately 4.88, which does not meet environmental quality standards (pH 6–9) based on the Regulation of the Minister of Environment and Forestry No. 5 of 2022. This study aims to analyze the AMD neutralization system in the Pit Sedimentation Pond (KPL) using quicklime (CaO), determine the optimal dosage of quicklime on a laboratory scale and actual field requirements, and analyze the operational costs incurred by the company. Data collection was conducted through field observations, pump discharge measurements, KPL dimension measurements, and laboratory testing with linear regression analysis. The results showed that the Pit KPL has a total storage capacity of 2,208,000 liters, with a total daily water inflow reaching 3,850.13 m^3/day . Based on laboratory testing, a linear regression equation of $y = 0.2343x + 6.2062$ was obtained, with an optimal quicklime dosage to achieve the safe target pH ranging 0.93 gr/liter. The actual operational requirement of quicklime in the field based on the water inflow volume ranges from 3,580.62 kg to 4,196.64 kg per day (equivalent to 71 sacks/day). Meanwhile, the requirement based on the static KPL volume ranges from 2,053.44 kg to 2,406.72 kg per day (equivalent to 41 sacks/day). Financially, the total neutralization operational cost currently incurred by the company is IDR 64,000,000 per month with a material requirement of 25.6 tons/month. The use of quicklime is proven to be highly effective in increasing water pH from acidic to neutral conditions (pH 6.5–7.5), thereby meeting the prevailing environmental regulatory standards.

Keywords: *Quicklime, Acid Mine Drainage, Sedimentation Pond, Operational Cost, Water pH*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul “Analisis Perhitungan Biaya Penetralkan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor di KPL Pit Tambang Batubara PT Bara Sumatera Energi”.

Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Ahli Madya di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih. Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si., selaku Rektor Universitas Prabumulih.
2. Bapak Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik sekaligus Pembimbing II.
3. Bapak Ridho Yovanda, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan sekaligus sebagai Pembimbing I.
4. Ibu Reni Arisanti, S.T., M.T., selaku Penguji Tugas Akhir.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
6. Bapak/Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
7. Kepala Teknik Tambang, Pimpinan, dan seluruh Staf PT Bara Sumatera Energi yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan penelitian.
8. Kedua orang tua serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa.
9. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih khususnya angkatan 2023 serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulisan proposal tugas akhir ini masih terdapat kekurangan yang belum penulis sadari. Kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan dari semua pihak untuk kesempurnaan proposal tugas akhir ini. Akhir kata penulis berharap semoga proposal tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca. Aamiin.

Prabumulih, 18 Juni 2026



Siradjuddin Ikhwan
2023310060



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL DALAM	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Deskripsi Lokasi Penelitian	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Air Asam Tambang	6
2.2.2 Karakteristik Air Asam Tambang	6
2.2.3 Proses Terbentuknya Air Asam Tambang.....	7
2.2.4 Dampak Air Asam Tambang.....	8
2.2.5 Sumber-Sumber Terbentuknya Air Asam Tambang	9
2.2.6 Pengaruh Penggunaan Kapur Tohor Terhadap Air Asam Tambang.....	11
2.2.7 Kriteria Baku Mutu Air	12

	Halaman
2.2.8 Kolam Pengendapan Lumpur	12
2.2.9 Proses Penetralkan Air Asam Tambang Pada Kolam Pengendapan Lumpur	13
2.2.10 Jumlah Ideal Penggunaan Kapur Tohor	13
2.2.11 Perhitungan Biaya Kapur Tohor	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.1.1 Lokasi Penelitian	16
3.1.2 Waktu Penelitian	16
3.2 Tahapan Penelitian.....	18
3.3 Bagan Alir Penelitian.....	24
3.4 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data	25
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data	25
3.4.2 Teknik Pengolahan Data.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Sistem Penetralkan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor di KPL Pit	30
4.1.1 Penetralkan air asam tambang pada KPL pit.....	31
4.2 Jumlah Kebutuhan Kapur Tohor Untuk Meningkatkan Nilai Ph Agar Sesuai Baku Mutu.....	33
4.2.1 Analisis Karakteristik Hidrologi dan Beban Pencemaran pada Fasilitas KPL Pit	34
4.2.2 Metode Penentuan Dosis Kapur Tohor Skala Laboratorium.....	35
4.2.3 Metode Penentuan Dosis Kapur Tohor Skala Lapangan.....	38
4.2.4 Jumlah Kebutuhan Kapur Tohor Yang Digunakan Untuk Meningkatkan Nilai pH.....	40
4.3 Biaya Kapur Tohor Yang Di Keluarkan Untuk Penetralkan Air Asam Tambang di KPL Pit	41
BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	45

	Halaman
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	49



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah PT BSE.....	5
Gambar 3.1 Lokasi KPL Pit PT BSE.....	17
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	24
Gambar 4.1 Sistem Pengendalian Air Asam Tambang di KPL pit.....	31
Gambar 4.2 Hubungan Dosis Kapur Tohor Terhadap Kenaikan pH	38



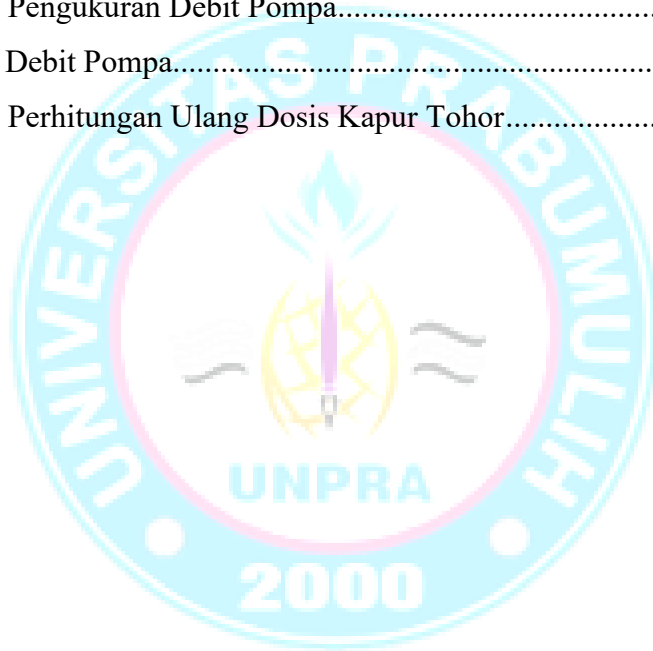
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Pertambangan Batu Bara.....	12
Tabel 3.1 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian	16
Tabel 4.1 Rekapitulasi Parameter Hidrologi KPL Pit PT BSE	35
Tabel 4.2 Hasil Uji Kapur Tohor untuk pH Sampel 1.000 ml	36
Tabel 4.3 Kebutuhan Biaya Antara Volume KPL dan Debit Air Pada KPL Pit....	43



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1 Peta IPPKH PT Bara Sumatera Energi	49
LAMPIRAN 2 Peta Topografi PT Bara Sumatera Energi	50
LAMPIRAN 3 Peta Geologi PT Bara Sumatera Energi	51
LAMPIRAN 4 Curah Hujan	52
LAMPIRAN 5 Rekapitulasi Penggunaan Kapur Tohor	53
LAMPIRAN 6 Kolam Pengendap Lumpur	56
LAMPIRAN 7 Pengukuran Debit Pompa	58
LAMPIRAN 8 Debit Pompa	59
LAMPIRAN 9 Perhitungan Ulang Dosis Kapur Tohor	60



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
AAT	: Air Asam Tambang
Al	: Aluminium
AMD	: <i>Acid Mine Drainage</i>
As	: Arsenik
BSE	: Bara Sumatera Energi
DHL	: Daya Hantar Listrik
Dok	: Dokumentasi
CaOH ₂	: Kalsium Hidroksida
Cd	: Kadmium
Cu	: Tembaga
Fe	: Besi
H ₂ O	: Air
Hg	: Merkuri
IUP	: Izin Usaha Pertambangan
IPPKKH	: Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan
KPL	: Kolam Pengendap Lumpur
LH	: Lingkungan Hidup
Mn	: Mangan
Pb	: Timbal
Ph	: <i>Potential of Hydrogen</i>
Zn	: Seng

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, cadangan batubara Indonesia diperkirakan habis kira-kira dalam 83 tahun mendatang apabila tingkat produksi saat ini terus dilakukan. Sekitar 60 persen dari cadangan batubara total Indonesia terdiri dari batubara kualitas rendah yang lebih murah yang memiliki kandungan kurang dari 6.100 kal/gram. Jenis batubara ini dijual dengan harga kompetitif di pasar internasional. Batubara dengan kualitas rendah juga dapat dimanfaatkan untuk menciptakan program hilirisasi batubara guna menganalisis potensi dan menciptakan diversifikasi batu bara sebagai Energi Alternatif (Nursani, 2025).

Air Asam Tambang (AAT) atau *Acid Mine Drainage (AMD)* merupakan fenomena lingkungan yang paling umum terjadi akibat oksidasi mineral *pyrite* (FeS_2) yang terekspos selama penambangan. Karakteristik utama dari AAT adalah nilai pH yang sangat rendah (<4) serta tingginya kelarutan logam berat seperti Besi (Fe) dan Mangan (Mn). Jika air dengan karakteristik ini dialirkan ke badan perairan umum tanpa pengolahan, hal tersebut akan merusak ekosistem akuatik, menurunkan kualitas air tanah, dan berdampak buruk bagi kesehatan masyarakat di sekitar tambang (Anungstri, 2023).

Menanggulangi masalah terkait air asam ini, setiap perusahaan tambang wajib memiliki Kolam Pengendap Lumpur (KPL) atau *Settling Pond* sebagai fasilitas pengolahan air. Fungsi utama KPL tidak sekadar mengendapkan partikel padat yang tersuspensi, tetapi juga menjadi tempat berlangsungnya proses netralisasi kimiawi. Pengolahan di KPL biasanya menggunakan metode aktif, yaitu menambahkan bahan kimia penetral pada air yang masuk atau keluar. Tujuannya hanya satu, yaitu memastikan air yang dilepas sudah benar-benar memenuhi standar baku mutu lingkungan yang sangat ketat (Amsya et al., 2021).

Tantangan biaya sering kali menjadi isu utama dalam penggunaan kapur tohor, meskipun efektivitasnya telah terjamin. Jika terjadi kelebihan dosis (*overdosing*), biaya operasional akan membengkak drastis akibat melonjaknya konsumsi bahan kimia dan tingginya volume timbunan lumpur yang dihasilkan. Sebaliknya, kekurangan dosis (*underdosing*) berisiko membuat kualitas air buangan gagal memenuhi baku mutu lingkungan. Oleh karena itu, analisis yang cermat untuk menemukan kalkulasi dosis ideal dan evaluasi biaya riil penggunaan bahan kimia menjadi langkah yang sangat krusial. Upaya ini merupakan kunci utama dalam mencapai titik keseimbangan antara ketaatan regulasi lingkungan dan efisiensi ekonomi perusahaan (Farhan & Nugraha, 2021).

Secara teknis, efisiensi ini bergantung pada akurasi perhitungan debit air dan beban keasaman yang masuk ke dalam sistem pengolahan. Perhitungan kebutuhan kapur tohor dilakukan dengan mengalikan debit air asam (m^3/jam) terhadap nilai keasaman atau konsentrasi logam yang ingin diendapkan seperti besi dan mangan, yang kemudian disesuaikan dengan nilai stoikiometri serta kemurnian kapur yang digunakan. Tanpa perhitungan yang presisi terhadap fluktuasi debit khususnya pada musim penghujan upaya netralisasi akan menjadi tidak terukur, sehingga mengakibatkan pemborosan material atau kegagalan dalam mencapai pH target yang ditetapkan pemerintah (Farhan & Nugraha, 2021).

PT Bara Sumatera Energi (BSE) di Sumatera Selatan juga menghadapi situasi serupa, dengan potensi AAT yang tinggi karena curah hujan intens dan kandungan sulfida pada batuan. Berangkat dari kondisi ini, kita membutuhkan kajian mendalam. Kajian ini harus fokus pada seberapa efektif sistem penetralan yang sudah berjalan, sekaligus menghitung biaya penggunaan kapur tohor di KPL PT BSE. Dengan demikian, kita dapat memastikan bahwa strategi pengelolaan lingkungan yang diterapkan tidak hanya efektif dalam mematuhi regulasi pemerintah, tetapi juga efisien dari sisi pembiayaan (Nursani, 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian guna menganalisis penetralan air asam tambang. Ketertarikan dengan permasalahan tersebut maka penulis mengambil judul “Analisis Perhitungan Biaya Penetralan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor di KPL Pit Tambang Batubara PT Bara Sumatera Energi”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana sistem penetralan AAT pada KPL menggunakan kapur tohor?
2. Bagaimana menentukan dosis optimal serta total kebutuhan material kapur tohor (CaO) yang diperlukan untuk meningkatkan nilai pH air asam tambang agar memenuhi standar baku mutu lingkungan secara presisi?
3. Berapakah perhitungan biaya kapur tohor yang dibutuhkan untuk penetralan AAT di KPL?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis sistem penetralan AAT menggunakan kapur tohor di KPL.
2. Menentukan dosis kapur tohor yang paling efektif melalui pengujian skala laboratorium dan menghitung volume kebutuhan aktual di lapangan berdasarkan debit air serta kapasitas kolam.
3. Menganalisis biaya kapur tohor yang dikeluarkan untuk penetralan air asam tambang di KPL.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain yaitu:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memperkaya keilmuan teknologi lingkungan dengan memberikan bukti empiris mengenai proses kimia dan kinetika reaksi aplikasi kapur tohor pada AAT di KPL. Data hasil penelitian ini akan menjadi validasi model teoretis yang ada dan menjadi pijakan akademik untuk studi optimasi pengolahan AAT lebih lanjut.

2. Manfaat Praktis

Manfaat Praktis Penelitian ini memberikan efisiensi biaya operasional bagi industri tambang melalui penentuan dosis kapur tohor minimal yang efektif untuk pengolahan AAT, memastikan kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan. Secara lingkungan, hasilnya membantu memitigasi risiko polusi air dan melindungi ekosistem. Bagi pemerintah/regulator,

studi ini berfungsi sebagai patokan lapangan untuk perumusan kebijakan dan pengawasan limbah pertambangan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan mendalam, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Lokasi dan Objek Penelitian Penelitian ini hanya berfokus pada sistem pengolahan dan penetralan AAT yang dilakukan pada unit KPL di lokasi tambang batubara PT BSE.
2. Material Penetral Material penetral yang dikaji dalam penelitian ini terbatas pada penggunaan kapur tohor, dengan parameter keberhasilan utama difokuskan pada peningkatan nilai pH dan efektivitas dosis untuk mencapai standar baku mutu lingkungan.
3. Analisis biaya dalam penelitian ini dibatasi pada perhitungan estimasi biaya operasional pembelian material kapur tohor berdasarkan kebutuhan dosis lapangan, tanpa melakukan analisis kelayakan investasi atau finansial secara menyeluruh

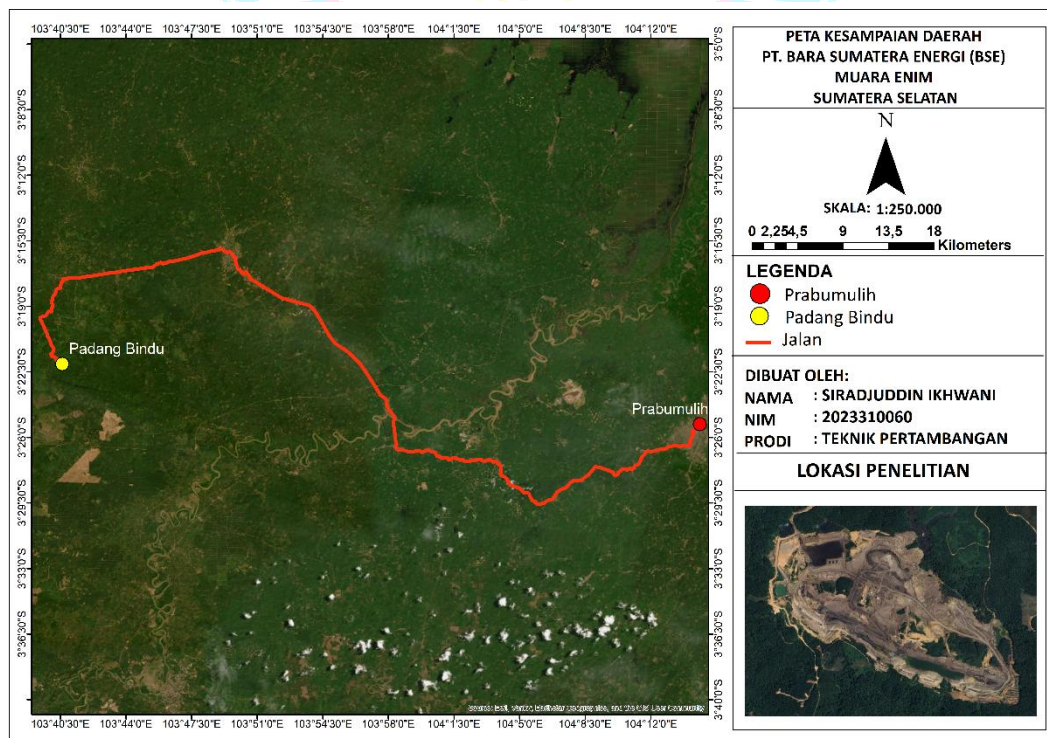
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di area Izin Usaha Pertambangan (IUP) operasi produksi batubara milik PT BSE, yang secara administratif terletak di Desa Padang Bindu, Kecamatan Benakat, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.

Secara geografis, situs tambang BSE berada pada koordinat sekitar $3^{\circ}22'30''$ S dan $103^{\circ}40'29''$ E, dengan luas wilayah ± 4.987 Ha dengan rincian: ± 4.954 Ha di kawasan Hutan Produksi (HP) Tetap dan areal kerja PT. Musi Hutan Persada. ± 33 Ha di dalam HGU PT. Surya Bumi Argo Langgeng (Gambar 2.1). PT BSE mengoperasikan tambang batubara terbuka (*open pit*) dengan metode *truck and shovel*, menghasilkan AAT dari oksidasi mineral sulfida di pit aktif, tumpukan *overburden*, dan *stockpile* batubara yang dialirkan ke KPL sebagai fasilitas pengolahan utama sebelum dibuang ke Sungai Benakat atau badan perairan umum.



Sumber : Penulis (2025)

Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah PT BSE

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Air Asam Tambang

AAT merupakan air yang terbentuk di lokasi pertambangan dengan tingkat keasaman tinggi ($\text{pH} < 4$) akibat oksidasi mineral sulfida seperti *pyrite* oleh air dan oksigen, sehingga menghasilkan kandungan logam berat terlarut seperti besi (Fe), aluminium (Al), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), arsenik (As), dan merkuri (Hg). Rendahnya pH memungkinkan logam-logam ini larut dengan mudah, menyebabkan pencemaran lingkungan yang berkepanjangan bahkan setelah aktivitas tambang berhenti, serta berpotensi merusak ekosistem air, tanah, dan kesehatan manusia (Kurniawan 2023).

Pengelolaan AAT dapat dilakukan melalui pencegahan seperti sistem *drainase* yang tepat dan segregasi batuan berpotensi asam, serta pengolahan aktif (menggunakan bahan kimia seperti kapur tohor) atau pasif (proses alami). Penelitian menunjukkan penambahan kapur tohor pada skala laboratorium efektif menaikkan pH menuju netral (sekitar 7) dan memenuhi baku mutu untuk parameter TSS, Fe, dan Mn, meskipun memerlukan dosis harian signifikan seperti 662-2.393 karung/hari tergantung debit air (Naufal, 2026).

2.2.2 Karakteristik Air Asam Tambang

Karakteristik AAT mencakup pH asam (sering < 4), warna kuning hingga merah kecokelatan akibat endapan besi oksida, turbiditas tinggi dari zat padat tersuspensi (TSS), serta konsentrasi logam berat melebihi baku mutu lingkungan seperti $\text{Fe} > 7 \text{ mg/L}$, $\text{Mn} > 4 \text{ mg/L}$, dan $\text{TSS} > 300\text{-}400 \text{ mg/L}$ sesuai Kepmen LH No. 113/2003 atau Perda Kaltim No. 02/2011. Fenomena ini dapat berlangsung lama pasca-tambang tutup, merusak ekosistem air, tanah, dan kesehatan manusia melalui korosi, inhibisi pertumbuhan biota, serta bioakumulasi logam. Pengelolaan diperlukan melalui pencegahan (segregasi batuan asam) atau pengolahan aktif/pasif untuk menaikkan pH ke 6-9 dan mengendapkan logam (Susanto 2019).

Karakteristik utama dari Air Asam Tambang yang membedakannya dari air permukaan normal adalah:

1. pH Sangat Rendah: AAT memiliki tingkat keasaman yang tinggi, umumnya dengan nilai pH di bawah 5, dan seringkali berada di antara 2 hingga 4.
2. Konsentrasi Sulfat Tinggi: Sebagai produk langsung dari oksidasi sulfida, konsentrasi sulfat (SO_4^{2-}) terlarut dalam AAT sangat tinggi.
3. Kandungan Logam Berat Terlarut Tinggi: Sifat asam yang korosif dari AAT melarutkan logam-logam dari batuan yang dilaluinya. Akibatnya, AAT mengandung konsentrasi tinggi dari logam terlarut seperti Besi (Fe), Mangan (Mn), dan Aluminium (Al), serta logam berat lainnya seperti Tembaga (Cu), Seng (Zn), Kadmium (Cd), dan Timbal (Pb).
4. Daya Hantar Listrik (DHL) Tinggi: Tingginya konsentrasi ion-ion terlarut (sulfat, logam, H^+) menyebabkan AAT memiliki nilai DHL yang sangat tinggi.
5. Visual: Sering kali AAT yang mengalir ke badan air penerima akan menunjukkan warna kuning, oranye, atau merah pekat. Warna ini berasal dari pengendapan besi (III) hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), yang biasa disebut '*yellow boy*', ketika Fe^{2+} teroksidasi menjadi Fe^{3+} dan pH sedikit meningkat.

2.2.3 Proses Terbentuknya Air Asam Tambang

Dalam penambangan batubara, potensi terjadinya asam seringkali disebabkan oleh mineral sulfida seperti *pyrite* dan *marcasite*. Kedua mineral ini memiliki komposisi kimia yang identik, yakni FeS_2 , dengan kandungan sulfur mencapai 53,4%. Perbedaan utama antara *pyrite* dan *marcasite* terletak pada bentuk kristalnya (Rayana & Widayati, 2023).

Mineral sulfat biasanya terbentuk sebagai produk sekunder dari pelapukan akibat oksidasi mineral *pyrite*. Berbagai mineral sulfat yang sering ditemukan dalam batuan tambang batubara meliputi *pickeringite*, *halotrichite*, *alunogen*, *copiapite*, dan *coquimbite*, antara lain. Sebaliknya, sulfur organik yang berasal dari bahan tanaman atau hasil proses diagenesis molekul organik tidak berperan dalam pengasaman. Dalam analisis material, persentase berat total sulfur umumnya dihitung untuk memperkirakan jumlah

sulfur *pyritic*, yang menggambarkan potensi pengasaman dari batuan tersebut.

Alkalinitas berperan dalam menetralkan proses pengasaman. Sumber utama alkalinitas adalah mineral karbonat, seperti kalsit dan kapur tohor. Selain itu, mineral silikat seperti *kuarsa*, *kaolinite*, *illite*, *smectite*, dan *muscovite* juga memiliki kemampuan untuk menetralkan asam, meskipun laju reaksinya jauh lebih lambat dibandingkan dengan mineral karbonat (Rayana & Widayati, 2023).

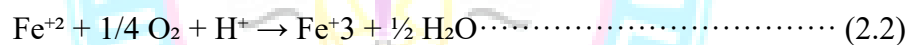
Pembentukan Air Asam Tambang terjadi ketika mineral-mineral sulfida dalam batuan hasil galian mengalami oksidasi akibat kontak dengan air dan oksigen. Proses oksidasi logam sulfida yang menghasilkan asam dapat dijelaskan melalui reaksi kimia berikut:

Persamaan 1:



(besi sulfida teroksidasi melepaskan besi ferro, sulfat dan asam)

Persamaan 2:



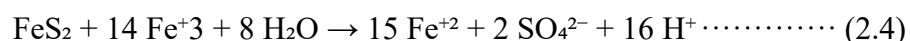
(besi ferro akan teroksidasi menjadi besi ferri)

Persamaan 3:



(besi ferri dapat terhidrolisis dan membentuk ferri hidroksida dan asam)

Persamaan 4:



(besi ferri secara langsung bereaksi dengan *pyrite* dan berlaku sebagai katalis yang menyebabkan besi ferro yang sangat besar, sulfat dan asam)

2.2.4 Dampak Air Asam Tambang

AAT memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan ekosistem di sekitar area pertambangan. Air ini memiliki pH yang sangat rendah, umumnya kurang dari 4, dan mengandung logam berat terlarut yang dapat mencemari sumber air permukaan dan air tanah. Salah satu dampak utama dari AAT adalah hilangnya biota air yang sensitif terhadap keasaman, yang menyebabkan gangguan pada rantai makanan dan keseimbangan

ekosistem perairan. Selain itu, limbah air asam dari dinding tambang juga dapat merusak kualitas tanah dan menyebabkan korosi pada infrastruktur di sekitar lokasi tambang. Jika tidak dikendalikan, limpasan air asam ini akan membawa polutan berbahaya ke lingkungan yang lebih luas, memberikan ancaman serius terhadap kesehatan manusia dan keanekaragaman hayati (Azizah et al., 2025). Beberapa dampak negatif dari air asam tambang tersebut meliputi:

1. Menurunkan kualitas air permukaan

AAT yang dialirkan keluar dari KPL tanpa proses netralisasi yang optimal akan mencemari aliran sungai, anak sungai, atau rawa di sekitar area penambangan, sehingga menurunkan kualitas baku mutu air permukaan secara signifikan.

2. Merusak ekosistem akuatik dan biota air

Kondisi air yang sangat asam disertai tingginya konsentrasi kelarutan logam berat (seperti Besi/Fe dan Mangan/Mn) bersifat toksik bagi biota perairan, dapat mematikan mikroorganisme air, serta merusak rantai makanan pada ekosistem tersebut.

3. Menimbulkan sifat korosif pada infrastruktur penyaliran tambang

Kadar keasaman yang tinggi pada air lambung tambang bersifat sangat korosif, sehingga berpotensi mempercepat kerusakan dan memperpendek umur pakai (*lifetime*) peralatan mekanis tambang, seperti pompa penyaliran (*dewatering pump*) dan jaringan pipa penyalur.

4. Mengganggu pertumbuhan vegetasi pada area sekitar

Paparan atau luapan air dengan pH rendah ke tanah di sekitar fasilitas penyaliran dapat merusak unsur hara tanah, mengikat unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan vegetasi atau tanaman reklamasi.

2.2.5 Sumber-Sumber Terbentuknya Air Asam Tambang

Sumber-sumber terbentuknya AAT terutama berasal dari tiga komponen utama, yaitu mineral sulfida, oksigen, dan air. Mineral sulfida khususnya *pyrite* (FeS_2) yang terkandung dalam bebatuan di daerah tambang

akan mengalami reaksi oksidasi ketika bersentuhan dengan air dan oksigen dari udara. Proses oksidasi ini menghasilkan ion besi (Fe^{2+}), sulfat (SO_4^{2-}), dan ion hidrogen (H^+) yang menyebabkan sifat asam pada air tersebut. Mineral sulfida yang terbuka akibat aktivitas penambangan baik pada lubang galian tambang maupun tumpukan batuan penutup (*overburden*) akan menjadi sumber potensial untuk terbentuknya AAT (Prastyo & Firdaus, 2024). Jika salah satu dari ketiga komponen ini tidak ada, maka reaksi pembentukan AAT tidak akan terjadi. Ketiga komponen tersebut sering disebut sebagai Segitiga Air Asam Tambang, yang meliputi:

1. Batuan yang Mengandung Mineral Sulfida
2. Mineral sulfida merupakan bahan baku utama atau sumber internal terbentuknya keasaman. Dalam kegiatan penambangan batubara, mineral sulfida yang paling umum ditemukan pada batuan penutup (*overburden*) maupun lapisan antar-batubara (*interburden*) adalah:

- a. *Pyrite* (FeS_2)

Jenis mineral sulfida besi yang paling dominan dan menjadi pemicu utama keasaman.

- b. Markasit (FeS_2)

Memiliki rumus kimia yang sama dengan pirit namun dengan struktur kristal yang berbeda (ortorombik) dan tingkat reaktivitas yang lebih tinggi.

Ketika kegiatan penambangan seperti pengupasan tanah penutup dan pembongkaran dilakukan, batuan yang semula tertimbun jauh di dalam tanah ini akan terbongkar dan terpapar langsung ke lingkungan luar.

3. Oksigen (O_2)

Oksigen bertindak sebagai agen pengoksidasi (*oxidizing agent*) eksternal. Di dalam tanah atau di bawah permukaan, konsentrasi oksigen sangat terbatas sehingga mineral sulfida tetap stabil. Namun, aktivitas penambangan menyebabkan area galian (*pit*) terbuka lebar, sehingga terjadi kontak langsung antara mineral sulfida yang terekspos dengan oksigen bebas yang ada di atmosfer.

4. Air (H₂O)

Air berfungsi ganda dalam proses ini, yaitu sebagai reaktan (pemicu reaksi kimia) sekaligus sebagai media pelarut dan pembawa (*transport medium*). Sumber air dalam area tambang umumnya berasal dari:

- a. Air hujan yang langsung jatuh di area tangkapan komunal (*catchment area*).
- b. Air limpasan permukaan (*surface runoff*) yang mengalir melewati lereng-lereng galian *pit* atau tempat penimbunan batuan (*waste dump*).
- c. Air rembesan bawah tanah (*seepage*) yang keluar dari dinding-dinding tambang.

2.2.6 Pengaruh Penggunaan Kapur Tohor Terhadap Air Asam Tambang

Penggunaan kapur tohor dalam penanganan AAT memiliki pengaruh signifikan dalam menetralkan tingkat keasaman air yang sangat rendah dan mengurangi kandungan logam berat berbahaya. Kapur tohor sebagai bahan alkalin dapat meningkatkan pH air asam tambang, sehingga meningkatkan kualitas air dan mengurangi dampak pencemaran.

Menurut (Farhan & Nugraha, 2021) menunjukkan bahwa dosis kapur tohor sebesar 0,4 gr/l efektif menaikkan pH air asam tambang dari pH awal 4 menjadi pH yang lebih netral, yang memenuhi baku mutu lingkungan. Selain menaikkan pH, kapur tohor juga mampu menurunkan konsentrasi logam berat seperti besi dan mangan dalam air tersebut.

Lebih lanjut, efek penggunaan kapur tohor dalam pengolahan AAT juga diperkuat oleh penelitian yang membandingkan penggunaan kapur tohor dan bahan lain seperti *fly ash*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kapur tohor secara langsung dapat menaikkan pH secara signifikan hingga mencapai sekitar 7,2 dan membantu pengendapan logam berat melalui proses kimia pengendapan. Proses ini tidak hanya mengurangi keasaman tetapi juga turbiditas dan kadar logam berat yang berbahaya bagi lingkungan dan biota akuatik. Penelitian ini memberikan solusi yang praktis dan efektif untuk

pengelolaan AAT, khususnya pada skala kolam pengendapan lumpur (*settling pond*) di area pertambangan (Nugraha 2020)

2.2.7 Kriteria Baku Mutu Air

Kriteria baku mutu air adalah batasan kadar zat atau parameter fisika, kimia, dan biologi yang diizinkan dalam air sesuai dengan peruntukannya agar air tersebut memenuhi standar kualitas yang aman bagi kesehatan manusia, ekosistem, dan kegiatan ekonomi. Kriteria ini berfungsi sebagai pedoman dalam pengendalian kualitas air dan pengelolaan lingkungan agar tidak terjadi pencemaran yang berisiko pada kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Pertambangan Batu Bara

No	Parameter	Satuan	Maksimum
1	pH	-	6-9
2	Residu Tersuspensi	mg/l	200
3	Besi (Fe) Total	mg/l	7
4	Mangan (Mn) Total	mg/l	4
5	Kebutuhan Oksigen Biokomiawi (BOD)	mg/l	30
6	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. Nomor 5 Tahun 2022

Pada Tabel 2.1, menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. Nomor 5 Tahun 2022 tentang Pengolahan Air Limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan dengan menggunakan metode lahan basah. Kegiatan pengolahan pencucian batubara adalah proses peremukan, pencucian, pemekatan dari/atau penghilangan batuan mineral pengotor dan atau senyawa belerang dari batubara tanpa mengubah sifat kimianya.

2.2.8 Kolam Pengendapan Lumpur

Settling pond merupakan struktur buatan di area pertambangan yang dirancang untuk menampung air limpasan dari lubang galian, tumpukan *overburden*, atau *stockpile* batubara sebelum dialirkan ke badan air eksternal

seperti sungai (Ferdian, 2020). Fasilitas ini memanfaatkan prinsip gravitasi untuk mengendapkan partikel padat tersuspensi seperti lumpur, sedimen, dan material halus lainnya, sehingga air keluaran memiliki turbiditas rendah dan memenuhi baku mutu lingkungan sesuai Peraturan Menteri LH No. 113/2003 atau standar terkini.

KPL terdiri dari beberapa zona utama:

1. Zona masukan (*inlet*) untuk aliran air berlumpur
2. Zona pengendapan utama dengan *check* dam untuk memperlambat aliran
3. Zona akumulasi lumpur di dasar
4. Zona keluaran (*outlet*) untuk air jernih yang telah disaring.

Desain KPL mempertimbangkan faktor seperti debit air masuk, kecepatan pengendapan partikel, diameter partikel maksimal ($<9 \times 10^{-6}$ m), dan volume lumpur akumulasi untuk menghindari pendangkalan prematur yang memerlukan pengerukan rutin setiap 12-13 hari. Selain mengendalikan TSS, KPL juga berfungsi menahan kontaminan seperti logam berat dari AAT sebelum pengolahan lanjutan (Rianti & Saputra, 2022).

2.2.9 Proses Penetralan Air Asam Tambang Pada Kolam Pengendapan Lumpur

Proses penetralan AAT pada KPL menggunakan metode pengolahan aktif melibatkan penambahan bahan basa seperti kapur tohor secara langsung ke saluran inlet atau outlet KPL. Bertujuan untuk menaikkan pH dari nilai asam (<4) menjadi netral (6-9) sesuai baku mutu air limbah Pertambangan (Kepmen LH No. 113/2003). Proses ini dimulai dengan pengukuran debit air AAT masuk ke KPL, diikuti pencampuran kapur tohor dengan dosis tepat (misalnya 0,4 g/L) yang bereaksi membentuk endapan hidroksida logam berat seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan $\text{Mn}(\text{OH})_2$, sehingga mengurangi TSS, turbiditas, dan konsentrasi logam terlarut sambil memanfaatkan gravitasi KPL untuk pengendapan lumpur (Rianti & Saputra, 2022).

2.2.10 Jumlah Ideal Penggunaan Kapur Tohor

Jumlah ideal kapur tohor merujuk pada dosis yang paling efisien untuk menaikkan pH AAT dari <4 menjadi 6-9, sambil meminimalkan biaya dan

lumpur endapan, melalui uji *jar-test* di laboratorium yang mensimulasikan kondisi lapangan (Rianti & Saputra, 2022). Untuk melakukan pengujian jumlah ideal penggunaan kapur tohor meliputi 2 metode sebagai berikut:

1. Uji laboratorium untuk dosis kapur tohor

Jumlah ideal penggunaan kapur tohor, atau dosis optimal, didefinisikan sebagai takaran minimum penetral yang paling efektif untuk menaikkan pH AAT hingga mencapai standar baku mutu (pH 6–9), sekaligus mengendapkan logam berat terlarut seperti Fe dan Mn (Guntoro et al., 2023). Dosis optimal ini ditentukan di laboratorium melalui metode seperti *Jar Test* atau titrasi. Sebagai contoh, studi menunjukkan dosis optimal untuk menaikkan pH AAT dari 3,43 menjadi 7,11 adalah 0,2 gr/L. Dosis lab ini menjadi dasar penentuan kebutuhan kapur untuk aplikasi skala besar.

2. Perhitungan Kebutuhan Aktual di Lapangan

Setelah dosis optimal didapat, Perhitungan Kebutuhan Kapur Tohor Secara Aktual di Lapangan dilakukan untuk mengkonversi dosis lab ke kebutuhan operasional harian. Kebutuhan aktual ini mempertimbangkan volume air yang besar dan dinamis (debit aliran, Q) di KPL. Perhitungannya menggunakan rumus: Dosis Lapangan = Dosis Laboratorium (gr/L) x Debit Air (L/hari). Perhitungan yang tepat memastikan penambahan kapur tohor selalu proporsional dengan debit air.

2.2.11 Perhitungan Biaya Kapur Tohor

Perhitungan biaya kapur tohor dalam konteks penetralan air asam tambang adalah suatu proses estimasi dan analisis finansial untuk menentukan total pengeluaran yang diperlukan untuk membeli dan menggunakan kapur tohor selama periode waktu tertentu (harian, bulanan, atau tahunan). Konsep dasar dari perhitungan ini adalah mengintegrasikan kebutuhan material (dosis lapangan) dengan harga satuan kapur tohor yang berlaku. Secara umum, rumus utama yang digunakan dalam penentuan biaya bahan kimia penetral adalah

$$\text{Biaya} = \text{Harga/kg} \times \text{Dosis Lapangan (kg)}.$$

Komponen paling signifikan yang menentukan total biaya kapur tohor adalah Dosis Lapangan, yang diturunkan dari dosis optimal hasil uji laboratorium. Penelitian yang dilakukan oleh (Azizah et al., 2025) menunjukkan bahwa dengan mengimplementasikan dosis kapur tohor yang telah diuji dan dihitung ulang (misalnya dari 0,4 gr/L menjadi 0,2 gr/L), perusahaan dapat mengurangi kebutuhan kapur secara drastis, yang secara langsung mengakibatkan penghematan biaya pembelian hingga 50%. Oleh karena itu, perhitungan biaya kapur tohor tidak hanya sekedar mengalikan kebutuhan dengan harga, tetapi juga memerlukan justifikasi teknis berupa dosis yang efektif, yang terbukti secara teknis mampu mencapai baku mutu air dan secara ekonomis mampu meminimalkan pengeluaran.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di area Izin Usaha Pertambangan (IUP) operasi produksi batubara milik PT BSE. Secara administratif, lokasi penambangan tersebut terletak di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.

Secara spesifik, lokasi pengambilan data dan sampel difokuskan pada area pengelolaan air tambang, yaitu di KPL / *Settling Pond*. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa KPL tersebut merupakan titik akhir pengumpulan air limpasan tambang dari area *catchment area* Pit sebelum dialirkan ke badan perairan umum, serta menjadi lokasi utama dilakukannya proses pengolahan (*treatment*) aktif penetralan AAT menggunakan media kapur tohor (Gambar 3.1).

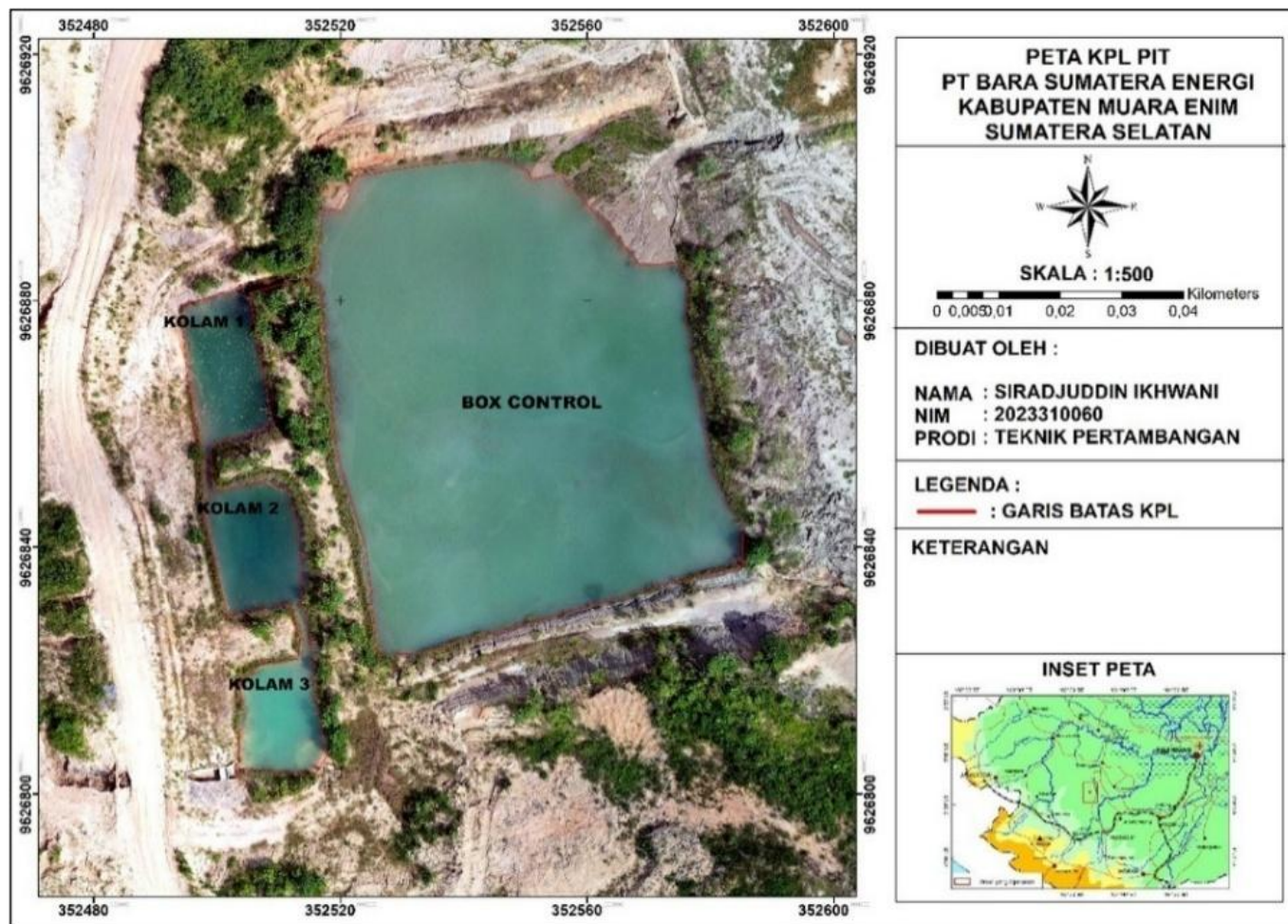
3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian berlangsung selama kurang lebih dua bulan, terhitung mulai 9 Februari sampai 9 April 2026, Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Minggu, Bulan							
		Februari				Maret			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Observasi								
2.	Pengumpulan Data								
3.	Pengolahan Data								
4.	Analisis Data								
5.	Konsultasi dan Bimbingan								

Sumber: Penulis, (2026)



Sumber : Penulis (2026)

Gambar 3.1 Lokasi KPL Pit PT BSE

Tabel 3.1 menunjukkan jadwal rencana penelitian, dimana rencana penelitian dijadwalkan berlangsung selama bulan Februari hingga Maret. Kegiatan diawali dengan observasi lapangan pada minggu pertama dan kedua bulan Februari. Selanjutnya, tahap pengumpulan dan pengolahan data dilakukan secara bersamaan selama empat minggu, terhitung sejak minggu ketiga Februari hingga minggu kedua Maret. Setelah data siap, penelitian dilanjutkan pada minggu ketiga dan keempat bulan Maret yang difokuskan pada analisis data mendalam. Bersamaan dengan proses analisis tersebut, kegiatan konsultasi dan bimbingan juga intensif dilaksanakan guna mematangkan hasil pembahasan laporan akhir

3.2 Tahapan Penelitian

Metode yang penulis gunakan untuk mengambil data yang dibutuhkan untuk keperluan penyelesaian laporan tugas akhir ini :

1. Studi Literatur

a. Konsep Dasar dan Pembentukan Air Asam Tambang.

Mekanisme utama pembentukan AAT adalah oksidasi mineral sulfida (*pyrite*/ FeS_2) yang bereaksi dengan air dan udara, menghasilkan keasaman tinggi dan pelarutan logam berat. Sumber utama polutan ini berasal dari tambang terbuka, *overburden*, dan *stockpile* batubara.

b. Karakteristik dan Dampak Lingkungan.

Secara fisik-kimia, AAT dicirikan oleh pH rendah (<4), kadar sulfat tinggi, serta kandungan logam terlarut (Fe, Mn). Jika tidak dikelola, AAT berdampak destruktif terhadap ekosistem perairan, kualitas tanah, dan menyebabkan korosi pada infrastruktur.

c. Metode Penetralkan Menggunakan Kapur Tohor (CaO).

Penelitian berfokus pada metode pengolahan aktif (*active treatment*) menggunakan Kapur Tohor. Bahan ini terbukti efektif meningkatkan pH dan mengendapkan logam berat melalui reaksi hidrolisis. Literatur ini menjadi dasar penentuan dosis optimal untuk efisiensi biaya dan efektivitas.

d. Manajemen KPL.

Pengelolaan KPL (*Settling Pond*) mengandalkan prinsip gravitasi untuk mengendapkan *TSS*. Pemahaman mengenai mekanisme pencampuran bahan kimia di saluran *inlet/outlet* digunakan sebagai acuan penentuan titik pengambilan sampel (*sampling point*).

e. Regulasi dan Baku Mutu.

Sebagai standar keberhasilan penelitian, acuan hukum yang digunakan adalah Permen LHK RI No. 5 Tahun 2022 dan regulasi terkait lainnya. Literatur ini menetapkan batasan parameter kunci (pH 6-9, Fe <7 mg/L, Mn <4 mg/L) yang wajib dipenuhi sebelum air limpasan tambang dilepas ke badan perairan umum.

2. Observasi lapangan

Kegiatan ini berupa kunjungan dan pengamatan langsung. Tujuannya adalah untuk mengumpulkan data yang terkait dengan penelitian Tugas Akhir. Data yang dikumpulkan bisa berupa data primer maupun data sekunder.

3. Pengambilan data

Data-data yang dibutuhkan sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh baik itu secara langsung di lapangan, ataupun hasil dari wawancara yang dilakukan di PT BSE. Data primer yang akan di ambil dalam penelitian:

- 1) Ph *inlet* dan *outlet*
- 2) Dosis kapur tohor
- 3) Debit pompa
- 4) Dimensi KPL
- 5) Data Harga dan Biaya

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang sudah ada sebelumnya, dikumpulkan pihak lain dari sumber seperti jurnal, laporan, atau database publik, lebih cepat diakses tapi kurang spesifik. Data sekunder yang akan di ambil pada penelitian ini:

- 1) Peta kesampaian daerah penelitian
- 2) Peta topografi
- 3) Data curah hujan
- 4) Laporan penggunaan kapur
- 5) Peta geologi
- 6) Peta IUP
- 7) Luasan kolam pengendap lumpur

4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses vital untuk mendapatkan informasi akurat yang dibutuhkan dalam menganalisis masalah penetralan air asam tambang di PT BSE. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu observasi lapangan untuk data primer dan studi dokumentasi untuk data sekunder.

a. Teknik Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh langsung oleh peneliti melalui pengamatan, pengukuran, dan pencatatan di lokasi penelitian, yaitu di (KPL. Observasi dan Pengukuran Langsung (*Direct Measurement*) Teknik ini digunakan untuk mendapatkan data yang bersifat *real-time* dan akurat mengenai kondisi aktual di lapangan. Langkah-langkahnya meliputi:

1) Pengukuran pH dan Kualitas Air (*Inlet* dan *Outlet*)

Dilakukan pengukuran nilai pH air asam tambang pada titik masuk (*inlet*) sebelum pengapuran dan titik keluar (*outlet*) setelah pengolahan menggunakan alat *pH meter* digital dan kertas lakmus. Pengukuran dilakukan setiap hari selama periode penelitian untuk melihat fluktuasi keasaman.

2) Pengukuran Debit Air

Dilakukan pengukuran kecepatan aliran air dan luas penampang saluran baik di *inlet* maupun *outlet* KPL. Teknik yang digunakan adalah metode pelampung (*floating method*) atau *current meter* untuk menghitung volume air yang harus dinetralkan per satuan waktu (m^3/detik).

3) Pencatatan Dosis Kapur Tohor

Melakukan penimbangan atau penghitungan jumlah sak kapur tohor yang dituangkan ke dalam *settling pond* setiap harinya untuk mendapatkan data massa kapur aktual yang digunakan (kg/hari).

b. Teknik Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder adalah data pendukung yang diperoleh dari arsip atau dokumen perusahaan PT BSE dan literatur terkait. Teknik pengumpulan data ini dilakukan dengan metode \ Dokumentasi. Data yang dikumpulkan meliputi:

- 1) Peta-peta Perusahaan: Peta Kesampaian Daerah, Peta Topografi, Peta Geologi, dan Peta IUP untuk mengetahui kondisi geografis dan geologis area penelitian.
- 2) Data Curah Hujan: Data curah hujan harian/bulanan periode sebelumnya untuk menganalisis pengaruh hujan terhadap peningkatan debit air asam tambang.
- 3) Spesifikasi Kolam: Data luasan dan desain teknis KPL untuk menghitung waktu retensi pengendapan.
- 4) Laporan Penggunaan Kapur Terdahulu: Rekapitulasi penggunaan kapur bulan-bulan sebelumnya sebagai data pembanding (baseline).
- 5) Baku Mutu Lingkungan: Dokumen regulasi (seperti Permen LHK No. 5 Tahun 2022) sebagai standar acuan keberhasilan penetralan.

5. Analisis Data

Setelah seluruh data terkumpul, tahap selanjutnya adalah analisis data. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini menggabungkan metode analisis kuantitatif (perhitungan matematis) dan analisis deskriptif komparatif. Berikut adalah rincian teknik analisis dan alasan penggunaannya:

a. Analisis Kuantitatif Debit dan Kualitas Air

Data hasil pengukuran debit air dan pH diolah menggunakan rumus statistik deskriptif untuk mencari nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, serta nilai minimum dan maksimum. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui karakteristik fluktuasi debit air dan beban keasaman yang

masuk ke KPL. Memahami profil debit sangat penting karena dosis kapur sangat bergantung pada volume air yang mengalir; jika debit tinggi (misalnya saat hujan), kebutuhan kapur akan meningkat.

b. Analisis Efektivitas Penetralkan (Kinerja Kapur Tohor)

Dilakukan dengan membandingkan nilai pH air pada *outlet* (hasil pengolahan) dengan standar Baku Mutu Air Limbah (BMAL) yang ditetapkan pemerintah (pH 6 – 9). Selain itu, dilakukan perhitungan efisiensi kenaikan pH menggunakan rumus persentase efektivitas. Teknik ini digunakan untuk menjawab rumusan masalah mengenai seberapa efektif sistem penetralkan yang sedang berjalan. Jika pH *outlet* masih < 6 , maka sistem dinilai belum efektif (*underdosing*/waktu retensi kurang). Sebaliknya, jika pH sesuai baku mutu, maka sistem efektif secara teknis.

c. Analisis Perhitungan Kebutuhan Ideal Kapur Tohor

Menggunakan pendekatan stoikiometri kimia atau metode *Jar Test* (jika ada data lab) yang dikonversikan ke skala lapangan. Rumus yang digunakan mengalikan debit air (Q) dengan faktor kebutuhan kapur per m^3 air untuk mencapai pH netral. Analisis ini bertujuan untuk menentukan dosis optimal. Seringkali penggunaan kapur di lapangan dilakukan secara perkiraan (*insting*), yang bisa menyebabkan pemborosan (*overdosing*) atau kekurangan (*underdosing*). Dengan analisis ini, akan didapatkan angka kebutuhan kapur yang presisi secara teoritis dibandingkan dengan aktual.

d. Analisis Ekonomi (Perhitungan Biaya)

Menghitung total biaya operasional penetralkan dengan rumus

$$\text{Biaya Total} = (\text{Total Kebutuhan Kapur (kg)} \times \text{Harga Satuan Kapur Rp/kg})$$

Analisis ini kemudian membandingkan biaya aktual (kondisi saat ini) dengan biaya ideal (berdasarkan perhitungan dosis optimal). Ini adalah inti dari judul penelitian. Analisis biaya digunakan untuk mengetahui efisiensi anggaran perusahaan. Tujuannya adalah untuk membuktikan apakah dengan pengaturan dosis yang lebih tepat, perusahaan dapat

melakukan penghematan biaya tanpa mengurangi kualitas hasil pengolahan air limbah.

Dengan tahapan pengumpulan dan analisis data yang terstruktur ini, diharapkan penelitian dapat memberikan rekomendasi yang valid mengenai dosis kapur yang tepat dan estimasi biaya yang paling efisien bagi PT Bara Sumatera Energi.

6. Rekomendasi/Kesimpulan

Rekomendasi / kesimpulan merupakan hasil yang didapat dari analisis data.



3.4 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang akurat mengenai sistem penetralan air asam tambang (AAT), kebutuhan kapur tohor (CaO), serta biaya operasional penetralan pada Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit PT Bara Sumatera Energi (BSE). Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan, pengukuran, pengujian laboratorium, dan wawancara dengan pihak perusahaan.

a. Observasi Sistem Penetralan Air Asam Tambang

Observasi dilakukan untuk mengetahui sistem penetralan air asam tambang yang diterapkan pada KPL Pit PT Bara Sumatera Energi. Pengamatan meliputi sumber air asam tambang, aliran air menuju KPL, lokasi penambahan kapur tohor, jumlah kompartemen KPL, serta mekanisme pengolahan air sebelum dialirkan ke badan penerima.

b. Pengukuran Nilai pH Air

Pengukuran dilakukan pada titik inlet dan outlet KPL menggunakan pH meter digital. Data ini digunakan untuk mengetahui perubahan nilai pH sebelum dan sesudah proses penetralan serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan baku mutu air limbah pertambangan.

c. Pengukuran Dimensi Kolam Pengendap Lumpur (KPL)

Pengukuran panjang, lebar, dan kedalaman efektif masing-masing kompartemen dilakukan menggunakan pita ukur untuk memperoleh volume tampung aktual KPL.

d. Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit dilakukan pada saluran keluaran pompa menuju KPL. Data debit digunakan untuk menghitung volume air yang masuk ke kolam selama kegiatan operasional.

e. Pengujian Dosis Kapur Tohor

Sampel air asam tambang diambil dari inlet KPL kemudian diuji di laboratorium menggunakan beberapa variasi dosis kapur tohor. Pengujian bertujuan untuk memperoleh dosis optimum yang mampu meningkatkan nilai pH hingga memenuhi baku mutu lingkungan.

f. Data Harga Kapur Tohor

Data harga kapur tohor diperoleh dari bagian logistik atau pengadaan PT Bara Sumatera Energi sebagai dasar dalam perhitungan biaya operasional penetralan.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan dan studi literatur, meliputi:

- a. Peta IUP
- b. Peta topografi
- c. Peta geologi
- d. Peta IPPKH
- e. Data curah hujan
- f. Luas catchment area
- g. Rekapitulasi penggunaan kapur tohor
- h. Dimensi Kolam Pengendap Lumpur
- i. Baku mutu air limbah pertambangan batubara berdasarkan Permen LHK Nomor 5 Tahun 2022.

3.4.2 Teknik Pengolahan Data

Data primer dan data sekunder yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel dan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.

1. Analisis Sistem Penetralan Air Asam Tambang

Data hasil observasi dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan sistem penetralan air asam tambang menggunakan kapur tohor pada KPL Pit PT Bara Sumatera Energi. Analisis meliputi sumber air asam tambang, mekanisme pengaliran air menuju KPL, proses penambahan kapur tohor, serta pengendalian

kualitas air sebelum dialirkan ke badan penerima. Analisis ini digunakan untuk menjawab rumusan masalah pertama mengenai sistem penetralan air asam tambang menggunakan kapur tohor.

2. Perhitungan Volume Kolam Pengendap Lumpur

Volume masing-masing kompartemen KPL dihitung menggunakan persamaan:

$$V = P \times L \times T \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

V = Volume kolam (m^3)

P = Panjang kolam (m)

L = Lebar kolam (m)

T = Kedalaman efektif kolam (m)

Volume total KPL dihitung menggunakan persamaan:

$$VKPL = V1 + V2 + V3 \dots\dots\dots(3.2)$$

Selanjutnya volume dikonversi ke satuan liter dengan persamaan:

$$1 m^3 = 1.000 \text{ liter}$$

3. Perhitungan Volume Air Masuk ke KPL

Volume air hasil pemompaan dihitung menggunakan persamaan:

$$V_p = Q \times t \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan:

V_p = Volume air hasil pemompaan (m^3)

Q = Debit pompa (m^3/jam)

t = Waktu operasi pompa (jam)

Volume air hujan dihitung menggunakan persamaan:

$$V_h = A \times R \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

V_h = Volume air hujan (m^3)

A = Luas catchment area (m^2)

R = Curah hujan (mm)

Total volume air yang masuk ke KPL dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{\text{total}} = V_p + V_h \dots\dots\dots(3.5)$$

4. Penentuan Dosis Optimum Kapur Tohor

Hubungan antara dosis kapur tohor dengan nilai pH dianalisis menggunakan persamaan regresi linier.

$$y = ax + b \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan:

y = Nilai pH

x = Dosis kapur tohor (g/L)

a = Koefisien regresi

b = Konstanta

Persamaan regresi digunakan untuk menentukan dosis kapur tohor yang mampu menghasilkan nilai pH sesuai baku mutu lingkungan (pH 6–9).

5. Perhitungan Kebutuhan Kapur Tohor

Kebutuhan kapur dihitung berdasarkan dosis optimum hasil pengujian laboratorium dan volume air yang akan dinetralkan.

$$M = D \times V \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

M = Kebutuhan kapur (gram)

D = Dosis optimum (g/L)

V = Volume air (liter)

Konversi gram menjadi kilogram dilakukan menggunakan persamaan:

$$M_{kg} = M / 1.000 \dots\dots\dots(3.8)$$

Jumlah kebutuhan kapur dalam satuan karung dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah Karung} = M_{kg} / 50 \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:

50 = Berat satu karung kapur tohor (kg)

6. Perhitungan Biaya Operasional Penetralkan

Biaya operasional dihitung berdasarkan kebutuhan kapur dan harga satuan kapur.

$$C = M \times H \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan:

C = Biaya operasional (Rp)

M = Kebutuhan kapur (kg)

H = Harga kapur tohor (Rp/kg)

Biaya operasional bulanan dihitung menggunakan persamaan:

$$C_{\text{bulan}} = C_{\text{hari}} \times 30 \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan:

C_{bulan} = Biaya operasional per bulan (Rp)

C_{hari} = Biaya operasional per hari (Rp)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Penetralan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor di KPL Pit

Air asam tambang pada PT BSE di KPL Pit berasal dari pit yang masih aktif dalam memproduksi penambangan Batubara. Pada pit terdapat KPL yang berisi AAT karena akibat penimbunan Batubara di tambah dengan air hujan, kemudian dipompa menuju KPL pit, dan AAT di KPL pit juga berasal dari curah hujan yang masuk pada KPL. Setelah di KPL pit dilakukan *treatment* agar air asam tambang yang keluar ke badan penerima (sungai) sesuai dengan baku mutu air limbah yang terdapat di Permen nomor 5 tahun 2022 dengan nilai pH 6 - 9.

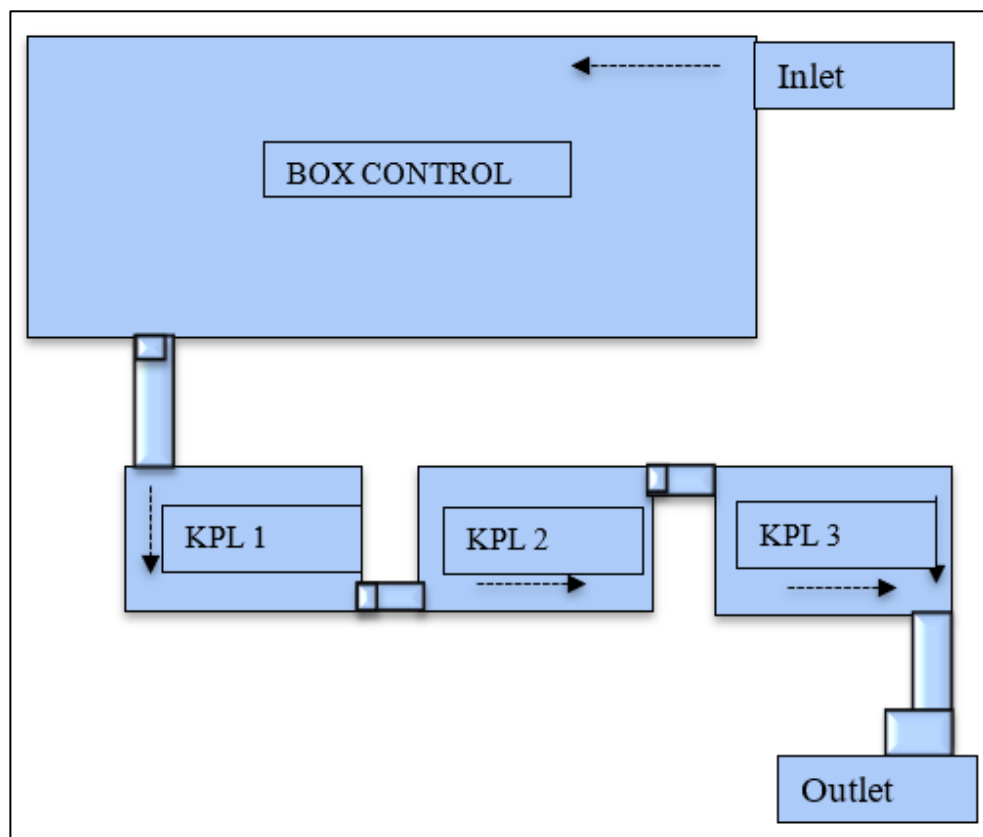
Hasil dari penelitian dilapangan, penetralan AAT pada KPL pit yang terletak di desa Padang Bindu, kecamatan Benakat, kabupaten muara enim terdiri dari 1 *box control* dan 3 kompartemen. Penetralan air asam tambang pada KPL pit menggunakan bahan kimia yaitu : kapur tohor. Kapur tohor berfungsi untuk mengontrol nilai pH pada KPL.

Proses penetralan air asam tambang pada PT Bara Sumatera Energi dengan melakukan pengecekan nilai pH pada KPL yang dilakukan setiap hari pada titik penataan *outlet* menggunakan pH meter digital yang ditentukan pada KPL. Pengukuran pH tidak sesuai pada baku mutu yang ditentukan yaitu dibawah 6, maka dilakukan pengapuran dengan menggunakan kapur tohor untuk menstabilkan nilai kualitas AAT yang akan dialirkan melalui letak penataan *outlet* ke sungai.

Tujuan penetralan agar tidak berdampak pada lingkungan biota yang ada di sekitar pertambangan. KPL pit memiliki 1 *box control* dan 3 kompartemen yang berbentuk zig-zag dan dibatasi tanggul.

4.1.1 Penetralan air asam tambang pada KPL pit

Penetralan AAT yang ada di KPL dilakukan menggunakan metode aktif yaitu menggunakan kapur tohor untuk meningkatkan nilai pH air asam tambang. Dalam waktu satu kali penetrelan perhari memakai kapur tohor sebanyak 41 karung/hari dengan 3 titik lokasi yang digunakan untuk pengapuran kapur tohor pada KPL pit



Sumber : Penulis (2026)

Gambar 4.1 Sistem Pengendalian AAT di KPL pit

Keterangan

-  = Kolam penampungan
-  = arah air
-  = Pengapuran

Pengujian untuk menentukan hasil uji dari pengujian sampel dengan varian dosis kapur tohor 1 gr – 3,5 gr, tetapi tetap harus mengetahui volume. Setiap kolam memiliki luas yang berbeda-beda yang ditentukan dari rumus:

$$V = P \times L \times T$$

Keterangan:

P = Panjang (m)

L = lebar (m)

T = kedalaman (m)

V = volume (m³)

m³ ke dm³ = x1000

KPL Pit kolam 01

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 23 \text{ m}^3 \times 14 \text{ m}^3 \times 2 \text{ m}^3$$

$$V = 644 \text{ m}^3$$

Jadi m³ harus menjadi satuan liter yaitu dm³ maka harus di x 1000

$$\text{Jadi } 644 \times 1000 = 644.000 \text{ dm}^3 \text{ (liter)}$$

KPL Pit kolam 02

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 22 \text{ m}^3 \times 17 \text{ m}^3 \times 2 \text{ m}^3$$

$$V = 748 \text{ m}^3$$

Jadi m³ harus menjadi satuan liter yaitu dm³ maka harus di x 1000

$$\text{Jadi } 748 \times 1000 = 748.000 \text{ dm}^3 \text{ (liter)}$$

KPL Pit kolam 03

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 17 \text{ m}^3 \times 16 \text{ m}^3 \times 3 \text{ m}^3$$

$$V = 816 \text{ m}^3$$

Jadi m³ harus menjadi satuan liter yaitu dm³ maka harus di x 1000

$$\text{Jadi } 816 \times 1000 = 816.000 \text{ dm}^3 \text{ (liter)}$$

Maka dari hasil di atas total kapasitas air yang di dapat di tampung oleh KPL pit adalah $644.000 \text{ L} + 748.000 \text{ L} + 816.000 \text{ L} = 2.208.000 \text{ L}$.

Analisis untuk mengestimasi berapa kebutuhan dosis kapur tohor yang efektif digunakan dalam menetralkan pH air minimal 6 dengan bantuan *software microsoft excel*. Dosis kapur tohor yang digunakan untuk skala dihitung dengan menggunakan persamaan.

4.2 Jumlah Kebutuhan Kapur Tohor Untuk Meningkatkan Nilai Ph Agar Sesuai Baku Mutu

Pembentukan AAT atau merupakan konsekuensi lingkungan yang paling signifikan dalam industri pertambangan batubara global, termasuk pada operasional PT BSE di wilayah Muara Enim, Sumatera Selatan. Secara fundamental, AAT terbentuk melalui proses oksidasi mineral sulfida, terutama *pyrite* (FeS_2), yang terpapar ke atmosfer dan air akibat kegiatan penggalian tanah penutup (*overburden*) dan pengambilan batubara. Di PT BSE, potensi pembentukan asam ini sangat dipengaruhi oleh kondisi geologis lokal dan curah hujan tropis yang tinggi, yang mempercepat laju pelarutan mineral dan transportasi ion-ion asam menuju fasilitas pengelolaan air seperti KPL.

Karakteristik utama dari air asam yang dihasilkan di lokasi pit PT BSE adalah nilai pH yang rendah, yang pada pengamatan awal tercatat sebesar 4,88. Meskipun nilai ini tidak menunjukkan keasaman ekstrem jika dibandingkan dengan beberapa tambang logam, kondisi tersebut tetap berada di luar batas aman yang ditetapkan oleh regulasi lingkungan di Indonesia. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI Nomor 5 Tahun 2022, air limbah pertambangan batubara wajib memenuhi standar baku mutu dengan rentang pH antara 6 hingga 9 sebelum dilepaskan ke badan air penerima seperti sungai. Kegagalan dalam menetralkan air ini dapat mengakibatkan mobilisasi logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn), yang memiliki toksisitas tinggi bagi ekosistem akuatik dan kesehatan manusia di hilir.

Proses netralisasi di PT BSE menggunakan kapur tohor sebagai agen alkalin utama. Kapur tohor dipilih karena efektivitasnya yang tinggi dalam menaikkan pH dan kemampuannya untuk mengendapkan logam berat melalui pembentukan

hidroksida logam yang stabil. Namun, tantangan operasional utama yang dihadapi adalah menentukan dosis yang tepat guna menghindari pemborosan biaya sekaligus memastikan kepatuhan terhadap hukum lingkungan. Tanpa perhitungan yang presisi, perusahaan berisiko mengalami *underdosing*, di mana pH target tidak tercapai, atau *overdosing*, yang akan meningkatkan volume lumpur endapan dan biaya material secara tidak perlu.

4.2.1 Analisis Karakteristik Hidrologi dan Beban Pencemaran pada Fasilitas KPL Pit

Fasilitas KPL Pit di PT BSE dirancang sebagai sistem pengolahan aktif yang mengintegrasikan proses sedimentasi fisik dengan netralisasi kimiawi. Sistem ini terdiri dari satu unit *box control* dan tiga kompartemen yang disusun secara zig-zag untuk mengoptimalkan waktu retensi dan pencampuran bahan kimia. Efektivitas netralisasi sangat bergantung pada pemahaman yang akurat mengenai debit air yang masuk ke dalam sistem, yang berasal dari dua sumber utama: pemompaan dari dasar pit aktif dan limpasan air hujan langsung dari area tangkapan (*catchment area*).

Data operasional menunjukkan bahwa pemompaan dilakukan menggunakan unit Mitsubishi dengan spesifikasi *input* 8 inci dan *output* 6 inci, yang beroperasi rata-rata selama 20 jam per hari untuk menjaga pit tetap kering bagi aktivitas penambangan. Debit pompa yang tercatat sebesar 192,45/jam menghasilkan volume air harian sebesar 3,849 m³/hari. Selain itu, kontribusi curah hujan di area tangkapan KPL, meskipun secara numerik lebih kecil dibandingkan hasil pompa, tetap menjadi faktor krusial karena fluktuasinya yang dapat mengubah beban keasaman secara mendadak. Dengan luas *catchment area* sebesar 72,70 m² dan intensitas hujan rata-rata 15,5 mm/hari, volume tambahan yang masuk adalah 1,13 /hari, sehingga total volume harian yang harus diproses adalah 4,979 m³/hari.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Parameter Hidrologi KPL Pit PT BSE

Komponen Hidrologi	Rumus / Metode	Nilai
Debit Pompa (Q_p)	Pengukuran Aktual	192,45 m ³ /jam
Durasi Operasional (T)	Rata-rata Harian	20 jam/hari
Volume Pompa (V_p)	$Q_p \times T$	3,849 m ³ /hari
Curah Hujan (R)	Data Perusahaan	15,5 mm/hari
Area Tangkapan (A)	Pemetaan	72,70 m ²
Volume Limpasan (V_r)	$A \times R$	1,13 m ³ /hari
Total Volume Harian	$V_p + V_r$	4,979 m ³ /hari

Sumber: Hasil olah data penelitian (2026)

Tabel 4.1 menunjukkan perhitungan total volume air harian ditinjau dari dua komponen utama, yaitu sistem penyaliran mekanis dan air limpasan permukaan. Komponen pertama adalah volume air dari pompa (V_p) dengan debit aktual 192,45 m³/jam dan durasi operasional 20 jam/hari, menghasilkan volume pemompaan sebesar 3.849 m³/hari. Komponen kedua adalah volume limpasan (V_r) akibat curah hujan sebesar 15,5 mm/hari pada area tangkapan hasil pemetaan seluas 72,70 m², yang menghasilkan nilai 1,13 m³/hari. Akumulasi dari kedua komponen tersebut ($V_p + V_r$) menghasilkan total volume air harian yang dikelola sebesar 4.979 m³/hari.

Analisis terhadap volume statis KPL juga diperlukan untuk memahami kapasitas tampung sistem. Total kapasitas dari tiga kompartemen di KPL Pit adalah 2.208 m³ atau 2.208.000 liter. Jika dibandingkan dengan volume harian yang masuk (4,979 m³), terlihat bahwa air dalam kolam mengalami pergantian total (*turnover*) sebanyak lebih dari 1,7 kali dalam 24 jam. Hal ini mengimplikasikan bahwa waktu retensi air di dalam KPL relatif singkat, sehingga proses netralisasi harus dilakukan dengan kecepatan reaksi yang tinggi dan distribusi kapur yang merata agar air yang keluar dari *outlet* benar-benar memenuhi standar baku mutu.

4.2.2 Metode Penentuan Dosis Kapur Tohor Skala Laboratorium

Untuk menentukan dosis kapur tohor yang paling efektif, dilakukan serangkaian pengujian skala laboratorium menggunakan sampel air yang

diambil langsung dari titik *inlet* pit penambangan. Pengambilan sampel awal sebesar 10 liter memberikan data dasar mengenai kualitas air mentah, di mana pH tercatat sebesar 4,88. Angka ini menunjukkan bahwa air berada pada kondisi asam moderat, yang secara kimiawi disebabkan oleh adanya asam sulfat (H_2SO_4) hasil dari reaksi oksidasi *pyrite*

Eksperimen dilakukan dengan metode titrasi atau penambahan kapur secara bertahap ke dalam sampel air sebanyak 1 liter (1.000 ml) untuk mengamati respon perubahan nilai pH. Penggunaan unit 1 liter memudahkan proses konversi hasil laboratorium ke skala lapangan (gram/liter). Kapur tohor yang digunakan ditimbang dengan ketelitian per gram dan dilarutkan ke dalam sampel, diikuti dengan pengadukan konstan dan waktu pengendapan selama 5 hingga 10 menit untuk memastikan reaksi netralisasi telah mencapai kesetimbangan.

Tabel 4.2 Hasil Uji Kapur Tohor untuk pH Sampel 1.000 ml

No	Volume sampel (ml)	Dosis kapur tohor (gr)	pH awal	pH akhir
1	1000 ml	1 gr	4,88	6,44
2	1000 ml	1,5 gr	4,88	6,56
3	1000 ml	2 gr	4,88	6,66
4	1000 ml	2,5 gr	4,88	6,80
5	1000 ml	3 gr	4,88	6,93
6	1000 ml	3,5 gr	4,88	7,01

Sumber: Hasil olah data penelitian (2026)

Berdasarkan Tabel 4.2, setiap penambahan dosis kapur tohor menunjukkan peningkatan nilai pH air asam tambang. Hal ini menunjukkan bahwa kapur tohor mampu mengurangi tingkat keasaman air melalui proses penetralan. Namun, penentuan dosis optimum tidak hanya didasarkan pada hasil pengamatan setiap variasi dosis, melainkan dianalisis menggunakan persamaan regresi linier agar diperoleh hubungan matematis antara dosis kapur dan nilai pH.

Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan regresi linier sebagai berikut.

$$y = ax + b \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan:

y = Nilai pH air

x = Dosis kapur tohor (g/L)

a = Koefisien regresi (kemiringan garis)

b = Konstanta (intersep)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Microsoft Excel diperoleh persamaan regresi sebagai berikut.

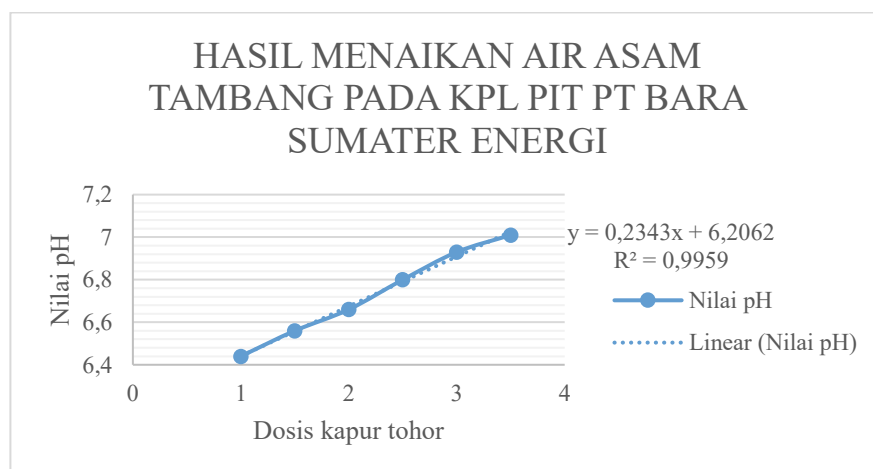
$$y = 0,2343x + 6,2062$$

dengan nilai koefisien determinasi

$$R^2 = 0,9959$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara dosis kapur tohor dan nilai pH air asam tambang. Artinya, setiap penambahan dosis kapur akan meningkatkan nilai pH air. Nilai R^2 menunjukkan tingkat keeratn hubungan antara kedua variabel. Semakin mendekati nilai 1, maka semakin baik persamaan regresi dalam menggambarkan hubungan antara dosis kapur dan perubahan nilai pH.

Hubungan antara dosis kapur tohor dan nilai pH ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Sumber : Hasil olah data penelitian (2026)

Gambar 4.2 Hubungan Dosis Kapur Tohor Terhadap Kenaikan pH

Berdasarkan grafik hasil uji lapangan tersebut diketahui bahwa hubungan antara tingkat kenaikan pH dengan dosis kapur mendapatkan persamaan linier yaitu $y = 0,2343x + 6,2062$. variabel y merupakan nilai pH dan variabel x merupakan dosis kapur yang dibutuhkan. Berdasarkan persamaan linier yang diperoleh bahwa x dan y berbanding lurus, semakin meningkatnya dosis kapur tohor semakin meningkat pula kenaikan pH dari penetralan (Gambar 4.2).

Untuk mengetahui kualitas persamaan linier dapat dilihat dari nilai kekuatan hubungan (R) dan regresi nilai tersebut. Nilai hubungan kekuatan (R) diketahui $R^2 = 0,9959$ berarti pengaruh kekuatan hubungan antara kenaikan pH dengan penambahan berbagai varian kapur tohor sangat kuat

Dosis kapur tohor yang dibutuhkan untuk menaikkan nilai pH dengan nilai 6 berdasarkan persamaan regresi linier diatas adalah:

$$x = \frac{6 - 0,2343}{0,2343} = 0,93 \text{ gr/liter}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka terlihat kebutuhan dosis kapur yang dibutuhkan agar pH air asam tambang dapat memenuhi baku mutu lingkungan sesuai permen nomor 5 tahun 2022 dengan nilai pH 6-9. maka dari persamaan regresi linier sesuai baku mutu lingkungan berkisaran 0,93 gr/liter. Jumlah minimal untuk pemberian dosis kapur tohor agar memenuhi baku mutu lingkungan adalah 0,93 gr/liter sesuai dengan penelitian ini yang pH awalnya adalah 4,88.

4.2.3 Metode Penentuan Dosis Kapur Tohor Skala Lapangan

Penentuan dosis kapur tohor pada skala lapangan dilakukan berdasarkan dosis optimum yang diperoleh melalui pengujian laboratorium sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 4.2.2. Berdasarkan hasil analisis regresi linier diperoleh persamaan:

$$y = 0,2343x + 6,2062$$

Keterangan:

y = nilai pH hasil penetralan

x = dosis kapur tohor (g/L)

Persamaan regresi tersebut digunakan untuk menentukan dosis kapur yang mampu menghasilkan nilai pH sesuai baku mutu lingkungan (pH 6–9) berdasarkan Permen LHK Nomor 5 Tahun 2022.

Berdasarkan hasil substitusi nilai pH target ke dalam persamaan regresi diperoleh dosis optimum sebesar 0,93 g/L. Dosis tersebut selanjutnya dijadikan dasar dalam menghitung kebutuhan kapur tohor pada kondisi aktual di lapangan. Kebutuhan kapur dihitung berdasarkan hubungan antara dosis optimum hasil laboratorium dengan volume air yang akan dinetralkan menggunakan persamaan:

$$M = V \times D$$

Keterangan:

M = kebutuhan kapur tohor (gram)

V = volume air yang akan dinetralkan (liter)

D = dosis optimum kapur tohor (g/L)

Perhitungan dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu:

1. Berdasarkan total volume air yang masuk ke Kolam Pengendap Lumpur (KPL), dan
2. Berdasarkan volume tampung Kolam Pengendap Lumpur.

Pendekatan tersebut digunakan agar diperoleh estimasi kebutuhan kapur baik berdasarkan kondisi operasional harian maupun kapasitas aktual kolam penampungan.

Pada Subbab 4.2.1 telah diperoleh total volume air yang masuk ke KPL sebesar:

$$V = 3.850,13 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Atau

$$V = 3.850.130 \text{ liter/hari}$$

Sedangkan volume tampung Kolam Pengendap Lumpur sebesar:

$$V = 2.208 \text{ m}^3$$

Atau

$$V = 2.208.000 \text{ liter}$$

Data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan kapur tohor pada kondisi lapangan.

4.2.4 Jumlah Kebutuhan Kapur Tohor Yang Digunakan Untuk Meningkatkan Nilai pH

Perhitungan kebutuhan kapur tohor dilakukan menggunakan dosis optimum hasil pengujian laboratorium sebesar 0,93 g/L. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kapur tohor yang diperlukan agar air asam tambang yang masuk ke Kolam Pengendap Lumpur dapat mencapai pH sesuai baku mutu lingkungan.

1. Kebutuhan Kapur Berdasarkan Volume Air Masuk ke KPL

Total volume air yang masuk ke KPL sebesar:

$$V = 3.850.130 \text{ liter/hari}$$

Dosis maksimum (0,93 g/L)

$$M = 3.850.130 \times 0,93$$

$$M = 3.580.620,9 \text{ gram}$$

$$M = 3.580.62 \text{ kg/hari}$$

Jumlah karung:

$$\frac{3.580,62}{50} = 71,61$$

$$= 72 \text{ karung/hari}$$

Dengan demikian kebutuhan kapur berdasarkan volume air masuk ke KPL berkisar antara 3.580,62 kg/hari atau sekitar 72 karung per hari.

2. Kebutuhan Kapur Berdasarkan Volume Tampung KPL

Volume Kolam Pengendap Lumpur sebesar:

$$V = 2.208.000 \text{ liter}$$

Dosis maksimum (0,93 g/L)

$$M = 2.208.000 \times 0,93$$

$$M = 2.053.440 \text{ gram}$$

$$M = 2.053.44 \text{ kg}$$

Jumlah karung:

$$\frac{2.053,44}{50} = 41,07$$

= 41 karung

Sehingga kebutuhan kapur berdasarkan volume tampung Kolam Pengendap Lumpur berada pada kisaran 2.053,44 kg, atau setara dengan 41 karung.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa kebutuhan kapur tohor berdasarkan volume air yang masuk ke KPL lebih besar dibandingkan kebutuhan berdasarkan volume tampung kolam. Hal ini disebabkan volume air yang harus dinetralkan setiap hari mencapai 3.850,13 m³/hari, sedangkan kapasitas tampung KPL hanya sebesar 2.208 m³.

4.3 Biaya Kapur Tohor Yang Di Keluarkan Untuk Penetralkan Air Asam Tambang di KPL Pit

Berdasarkan pengujian skala laboratorium, penentuan kebutuhan kapur tohor untuk menetralkan AAT di PT BSE dihitung berdasarkan target pH dan volume air yang akan diolah.

1. Parameter Perhitungan

Berdasarkan hasil pengujian, parameter yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

a. Dosis Optimum (D)

Untuk mencapai pH 6 dibutuhkan 0,93 g/L

b. Volume Air (V)

Volume air pada Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit 2.208.000L

Debit air masuk (Q): 3.850,13 m³/hari atau 3.850.130 L/hari

c. Parameter Biaya (P)

Harga per Kilogram Rp 1.600 /kg

Harga per Karung (50): Rp 80.000/karung

2. Rumus Dasar Perhitungan

Kebutuhan massa kapur (*M*) dan total biaya (*C*) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$M = V \times D$$

Dimana:

M = Massa Kapur yang dibutuhkan (gram)

V = Volume Air (Liter)

D = Dosis Kapur (g/L)

Untuk menghitung total biaya per hari (C):

$$C = \left(\frac{M}{1000}\right) \times P$$

Dimana :

C = Total Biaya (Rp)

P = Harga Kapur per kg (Rp/kg)

3. Hasil Perhitungan Reaktualisasi

Mengacu pada dosis hasil uji laboratorium sebesar 0,93 g/L (untuk pH 6), berikut adalah perbandingan kebutuhan berdasarkan volume statis KPL dan debit harian:

a. Berdasarkan Volume KPL Pit (2.208.000 L):

$$\begin{aligned} M &= 2.208.000 \text{ L} \times 0,93 \text{ g/L} \\ &= 2.053.440 \text{ gram} \\ &= 2.053,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Karung} &= \frac{2.053,44 \text{ kg}}{50 \text{ kg / karung}} \\ &= 41 \text{ karung} \end{aligned}$$

b. Berdasarkan Debit Air Masuk (3.850.130 L / hari):

$$\begin{aligned} M &= 3.850.130 \text{ L / hari} \times 0,93 \text{ g/L} \\ &= 3.580,62 \text{ gram/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Karung} &= \frac{3.580,62 \text{ kg}}{50 \text{ kg / karung}} \\ &= 72 \text{ karung / hari} \end{aligned}$$

Perbandingan biaya operasional antara kondisi aktual (penggunaan 41 - 72 karung/hari) dengan kebutuhan teoretis berdasarkan debit air yang masuk menunjukkan adanya perbedaan signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa fluktuasi debit air sangat memengaruhi efisiensi biaya penetralan harian.

Tabel 4.3 Kebutuhan Biaya Antara Volume KPL dan Debit Air Pada KPL Pit

Perbandingan	Volume KPL	Volume Debit Air
Dosis kapur tohor (gr/L)	0,93	0,93
Kebutuhan kapur (kg/hari)	2.053,44	3.580,62
Harga (Rp.1.600/kg)	Rp. 3.285.504	Rp. 5.728.992

Sumber: Hasil olah data penelitian (2026)

Keterangan:

Harga kapur/hari = V_{kpl} atau $V_{debit} \times \text{Harga kapur/kg}$

perbandingan biaya penggunaan kapur tohor setelah dilakukan pengujian dalam skala lapangan perhitungan volume serta dengan jumlah penggunaan dosis kapur tohor yang dibutuhkan, yang dapat menghemat biaya (Tabel 4.2.)



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data lapangan, dan analisis perhitungan biaya penetralan Air Asam Tambang (AAT) menggunakan kapur tohor (CaO) pada Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit di PT Bara Sumatera Energi (BSE), diperoleh beberapa kesimpulan yang menjawab rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Sistem penanganan AAT di PT BSE dilakukan secara aktif (*active treatment*) dengan membubuhkan kapur tohor (CaO) langsung pada unit pengendap. Fasilitas KPL Pit memiliki kapasitas tampung statis total sebesar 2.208.000 liter yang terdistribusi ke dalam tiga kompartemen utama bermodel zig-zag, dengan rincian kapasitas Kompartemen 1 sebesar 644.000 liter, Kompartemen 2 sebesar 748.000 liter, Kompartemen 3 sebesar 816.000 liter, serta didukung satu unit *box control*. Sementara itu, aliran air asam yang masuk (*inflow*) bersifat dinamis dengan total volume harian mencapai 3.850,13 m³/hari atau setara dengan 3.850.130 liter/hari yang bersumber dari aktivitas pemompaan pit sebesar 3.849 m³/hari dan limpasan air hujan langsung sebesar 1,13 m³/hari.
2. Hasil pengujian skala laboratorium terhadap sampel air asam dengan pH awal 4,88 menghasilkan persamaan regresi linear $y = 0,2343x + 6,2062$ dengan tingkat korelasi yang sangat kuat ($R^2 = 0,9959$). Untuk menaikkan keasaman air hingga memenuhi standar baku mutu lingkungan berdasarkan Permen LHK No. 5 Tahun 2022 (pH 6 - 9), diperoleh dosis kapur optimal berkisar hingga 0,93 g/L (untuk mencapai target pH 6). Berdasarkan kalkulasi dosis tersebut ke skala lapangan, perhitungan kebutuhan menggunakan pendekatan volume dinamis (debit air masuk harian) adalah sebesar 3.580,62 kg/hari (setara 72 karung/hari), sedangkan perhitungan menggunakan pendekatan volume statis KPL menghasilkan kebutuhan sebesar 2.053,44 kg/hari (setara 41 karung/hari).

3. Dengan mengacu pada harga satuan material kapur tohor sebesar Rp1.600/kg atau setara dengan Rp80.000 per karung ukuran 50 kg, proyeksi biaya operasional harian berdasarkan volume dinamis (debit air) berkisar antara Rp5.728.992 hari untuk target pH 6. Di sisi lain, proyeksi biaya harian berdasarkan volume statis KPL adalah sebesar Rp3.285.504 hari untuk target pH 6. Jika dibandingkan dengan alokasi anggaran riil perusahaan saat ini yang sebesar Rp64.000.000 per bulan dengan pasokan material 25,6 ton/bulan.

5.2 Saran

Guna meningkatkan efisiensi biaya operasional sekaligus memastikan kepatuhan kualitas air buangan terhadap regulasi lingkungan di PT BSE, penulis memberikan 3 saran strategis sebagai berikut:

1. Penerapan sistem pengapuran dinamis (*dynamic dosing*) Disarankan beralih dari dosis harian tetap (*flat rate*) ke pengapuran dinamis berdasarkan kondisi hidrologi lapangan. Pada saat curah hujan tinggi atau pemompaan maksimum harian, pengapuran ditingkatkan hingga 72 karung/hari untuk mencegah penurunan pH mendadak (*underdosing*). Sebaliknya, pada kondisi cuaca kering atau pompa tidak aktif, pengapuran diturunkan ke batas minimum 41 karung/hari untuk menghemat pengeluaran biaya material harian.
2. Optimasi pengadukan reaktan dan pengerukan lumpur berkala untuk mencegah pemborosan kapur akibat menggumpal dan mengendap di dasar kolam sebelum bereaksi, perusahaan sebaiknya mengoptimalkan sistem pengadukan mekanis atau hidrolis di area *inlet* / Kompartemen 1. Selain itu, pengerukan lumpur sedimentasi kalsium sulfat wajib dijadwalkan secara berkala setiap 14–30 hari sekali agar kapasitas tampung efektif KPL Pit tetap stabil di angka 2.208.000 liter.
3. Pemasangan Sensor pH *Real-Time* dan Pengawasan Mutu Kapur Tohor Untuk memitigasi risiko denda lingkungan, disarankan memasang alat sensor pemantau pH otomatis (*real-time pH transmitter*) pada titik penataan *outlet* menuju Sungai Benakat. Selain itu, pengawasan mutu (*quality*

control) kelarutan dan tingkat kemurnian CaO kapur dari penyuplai perlu diuji berkala agar kebutuhan dosis di lapangan tidak membengkak melebihi rentang teoretis hasil laboratorium (0,93 g/L).



DAFTAR PUSTAKA

- Amsya, R. M., Zakri, R. S., Pertambangan, T., Tinggi, S., Industri, T., Pertambangan, T., Padang, U. N., Pauh, K., Sarolangun, K., & Tohor, K. (2021). *ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN KAPUR TOHOR PADA PENETRANALAN PH AIR ASAM TAMBANG DI PT. 21*(1), 109–116.
- ANUNGSTRI, R. (2023). *Penurunan Sulfat dan Logam dari Air Asam Tambang dengan Teknik Permeable Reactive Barrier*. etd.repository.ugm.ac.id.
- Azizah, N., Onwardana, E., & Naibaho, B. S. M. (2025). STUDI PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN KAPUR TOHOR DI TAMBANG BATUBARA KECAMATAN PERANAP KABUPATEN *Jurnal Ruang Luar Dan Dalam*.
- Farhan, M., & Nugraha, C. (2021). ... Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash sebagai Cover dalam Pencegahan Pembentukan Air Asam Tambang Menggunakan Metode Free Draining Column Leach Test. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi*.
- Ferdian, I. (2020). Analisis Keberhasilan Penanganan Air Asam Tambang Berdasarkan Parameter pH, TSS, Fe dan Mn pada KPL AL 01 PT Bukit Asam, Tbk.
- Guntoro, W., Widayati, S., & Usman, D. N. (2023). Analisis Kebutuhan Kapur Tohor dalam Menetralkan Air Asam Tambang di PT ABC Kalimantan Timur.
- Kurniawan, A., Pi, S., Kurniawan, A., & Pi, S. (2023). Interaction of organisms in abandoned tin mining pits: Perspective of life in acid mine drainage
- Naufal, R. (2026). ... AIR ASAM TAMBANG: EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AKTIF-PASIF KAPUR DAN WETLAND TERHADAP PARAMETER pH DAN MANGAN AIR ASAM TAMBANG. *KURVATEK*.
- Nugraha, F. A., Kirmi, H., & Haryanto, B. (2020). Analisis pengolahan air asam tambang pada media tandan sawit dan kompos dengan sistem anaerobic wetland aliran bawah permukaan di PT. Berau Coal.
- Nursani, R. (2025). EFEKTIVITAS PENGGUNAAN KAPUR TOHOR DALAM MENETRANALISASI AIR ASAM TAMBANG DI PT BUMI MERAPI ENERGI. *Jurnal Mitra*.
- Prastyo, A. E., & Firdaus, N. (2024). Analisis Biaya Penggunaan Kapur dan Tawas pada Pengolahan Air Asam Tambang di Settling pond 03 Pit Paku PT. Rimau. *Jurnal Sosial Dan Sains*.
- Rayana, G., & Widayati, S. (2023). Studi Pendahuluan Pengaruh Fly Ash pada Netralisasi Air Asam Tambang di Penambangan Batubara PT XYZ,

Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi *Bandung Conference Series: Mining Engineering*.

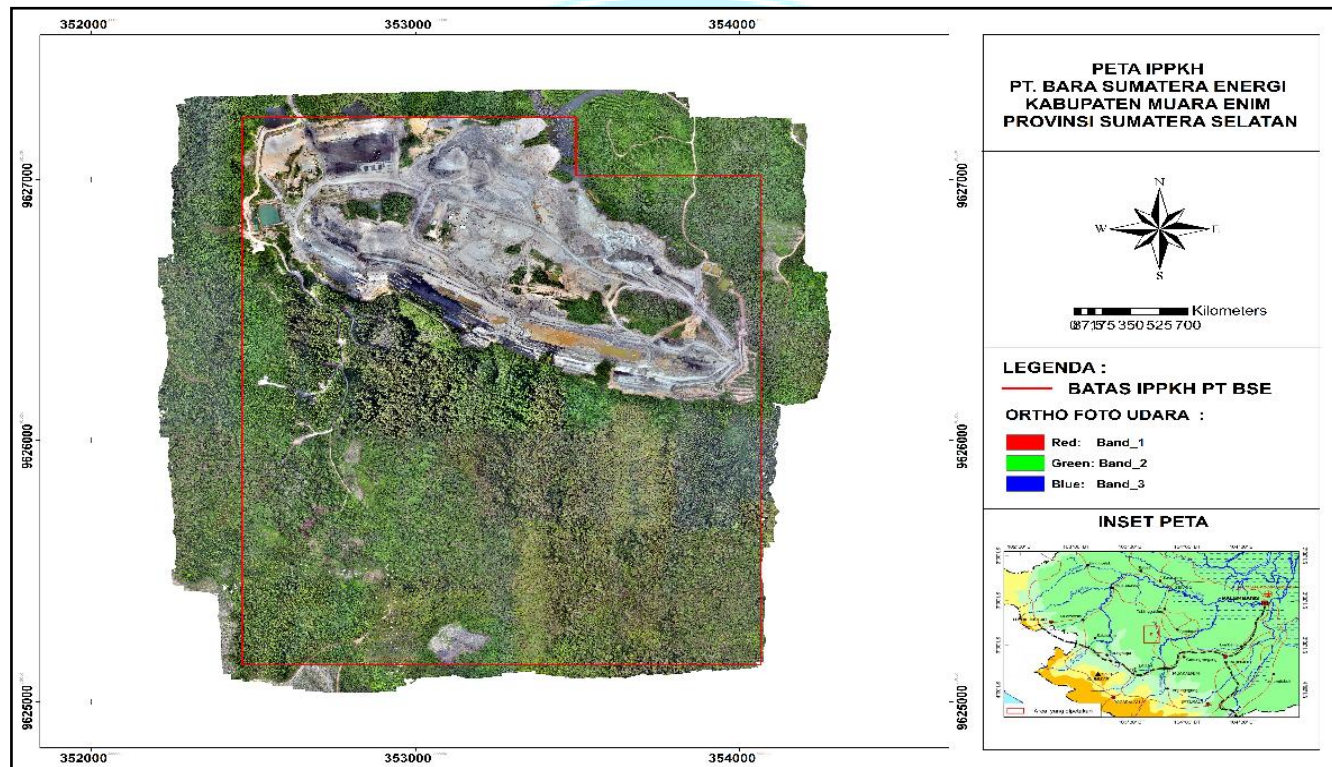
Rianti, L., & Saputra, D. (2022). Analisis Penetralan Air Asam Tambang Dengan Metode Aktif Menggunakan Powerbase Di Pit Timur Pt Dizamatra Powerindo Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera *Jurnal Ilmiah Hospitality*.

Susanto, D., Arlay, Y. S., & Ratminah, W. D. (2019). Kajian Teknis Penanganan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Metode Active Treatment Di Kolam Pengendapan Lumpur (Kpl) Pit 3 Barat Baru Pt. Bukit Asam.



LAMPIRAN 1

PETA IPPKH PT BARA SUMATERA ENERGI

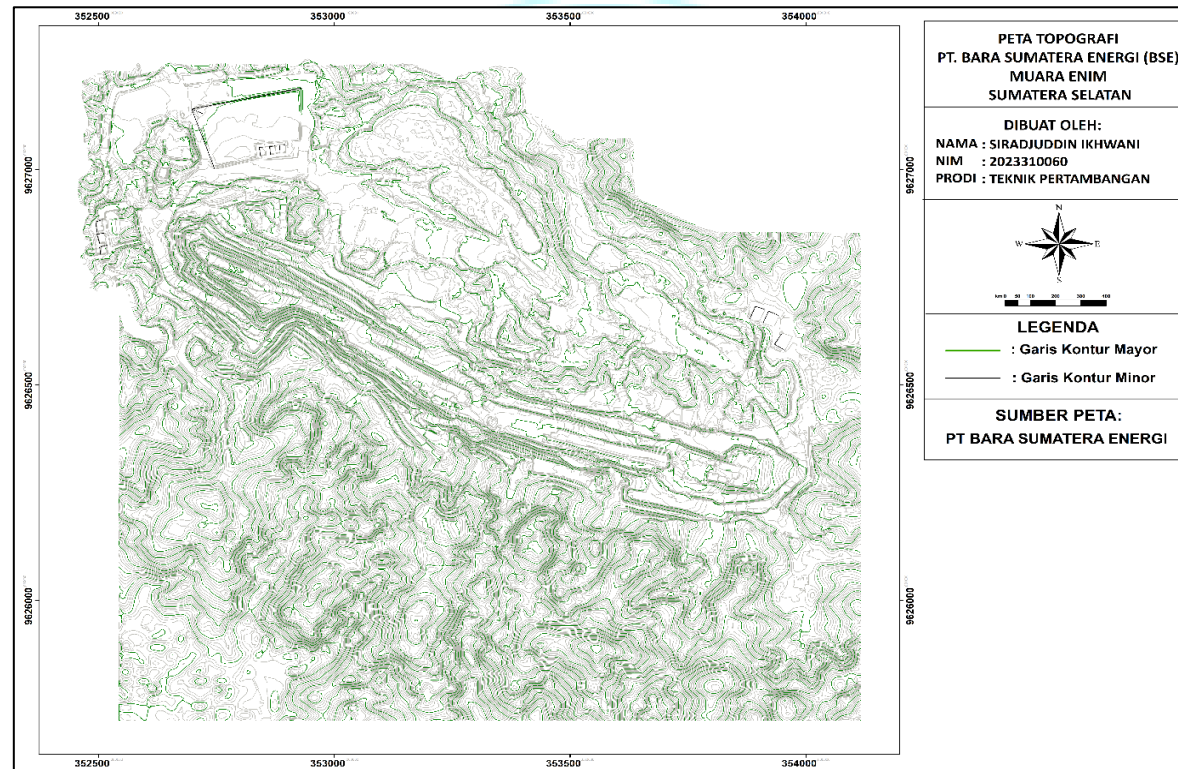


Sumber: Dok.Perusahaan (2026)

Gambar 1.1 Peta IPPKH

LAMPIRAN 2

PETA TOPOGRAFI PT BARA SUMATERA ENERGI

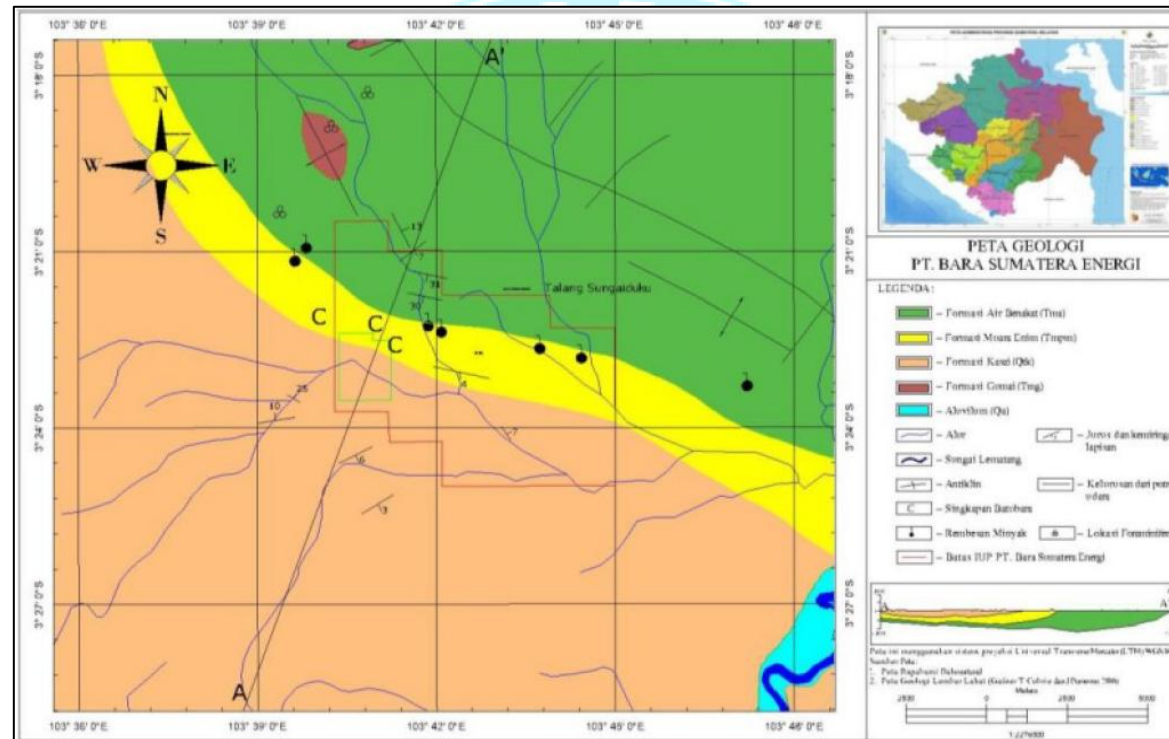


Sumber : Dok. Perusahaan (2026)

Gambar 2.1 Peta Topografi

LAMPIRAN 3

PETA GEOLOGI PT BARA SUMATERA ENERGI



Sumber: Dok. Perusahaan (2026)

Gambar 3.1 Peta Geologi

LAMPIRAN 4

CURAH HUJAN

Tabel 4.1 Curah Hujan 1 Tahun Terakhir

Summary Rain And Slippery Of Year													
Year	Rainfall (mm)												Total
	Jan 31	Feb 29	Mar 31	Apr 30	May 31	Jun 30	Jul 31	Aug 31	Sep 30	Oct 31	Nov 30	Dec 31	
Average Of Gumbel And Rainfall Record (mm)	509,7	301,5	296,3	284,6	219,5	129,7	100,0	65,0	92,6	244,5	209,7	357,5	2.810,9
Rain Falls/ Day (mm/ day)	22,0	15,5	14,7	16,0	14,8	11,0	11,3	8,0	8,5	19,0	10,7	21,4	172,8
Year	Raintime (hours)												Total
	Jan 31	Feb 29	Mar 31	Apr 30	May 31	Jun 30	Jul 31	Aug 31	Sep 30	Oct 31	Nov 30	Dec 31	
Metode Gumbel By Raintime Average Record (hours)	208,3	149,9	141,3	100,0	90,2	64,3	57,9	35,9	61,8	76,5	95,7	106,3	1.188,1
Rain Hour/ Day (hours/ day)	9,0	7,7	7,0	5,6	6,1	5,4	6,6	4,4	5,7	6,0	4,9	6,4	74,6

Sumber: Dok. Perusahaan (2026)

Untuk mencari nilai rata-rata curah hujan bulanan selama masa penelitian, kita menggunakan rumus rata-rata aritmatika sederhana:

$$\begin{aligned} \text{Rerata Bulanan} &= \frac{\text{Curah Hujan Februari} + \text{Curah Hujan Maret}}{2} \\ \text{Rerata Bulanan} &= \frac{301.55 \text{ mm} + 296.32 \text{ mm}}{2} \\ &= 298.93 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mencari rata-rata curah hujan harian gabungan selama periode 2 bulan (60 hari penelitian):

$$\begin{aligned} \text{Rerata Bulanan} &= \frac{\text{Total Curah Hujan}}{\text{Total Hari}} \\ &= \frac{597.87}{60 \text{ Hari}} \\ &= 9.96 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan data histori curah hujan (*Average of Gumbel and Rainfall Record*) yang diperoleh dari dokumen acuan, berikut adalah rincian data curah hujan untuk bulan Februari dan Maret 2026, Secara kumulatif, selama total masa penelitian 60 hari, wilayah studi menerima pasokan curah hujan total sebesar 597.87mm. Dari seluruh rangkaian data harian tersebut, diperoleh rata-rata curah hujan harian gabungan sebesar 9.96mm/hari.

LAMPIRAN 5

REKAPITULASI PENGGUNAAN KAPUR TOHOR

Lokasi Penaburan : Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit — PT Bara Sumatera Energi (BSE)

Periode Pengamatan : 09 Februari 2026 s.d. 09 April 2026 (2 Bulan)

Frekuensi Kerja : 4 Kali per Minggu (Senin, Rabu, Jumat, Sabtu)

Kapasitas Statis KPL : 2.208.000 Liter

Tabel 5.1 Rekapitulasi Bulan I (Februari – Maret 2026)

Hari / Tanggal	Titik Penaburan	pH Awal	Jumlah Kapur	Total Berat	Dosis Lapangan	pH Akhir	Kondisi Cuaca
Senin, 09 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,88	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,65	Cerah (Kondisi Normal)
Rabu, 11 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,75	43 Karung	2.150 kg	0,97 g/L	7,42	Berawan
Jumat, 13 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,50	46 Karung	2.300 kg	1,04 g/L	7,15	Hujan ringan
Sabtu, 14 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,92	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,92	Cerah
Senin, 16 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,80	42 Karung	2.100 kg	0,95 g/L	7,55	Cerah
Rabu, 18 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,60	44 Karung	2.200 kg	1,00 g/L	7,22	Gerimis
Jumat, 20 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,10	48 Karung	2.400 kg	1,09 g/L	6,88	Hujan Lebat
Sabtu, 21 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,70	41 Karung	2.150 kg	0,97 g/L	7,38	Berawan
Senin, 23 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,85	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,60	Cerah
Rabu, 25 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,88	46 Karung	2.300 kg	1,04 g/L	7,10	Hujan Ringan

Jumat, 27 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,15	48 Karung	2.400 kg	1,09 g/L	6,92	Hujan Lebat
Sabtu, 28 Feb 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,68	43 Karung	2.150 kg	0,97 g/L	7,35	Berawan
Senin, 02 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,90	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,85	Cerah
Rabu, 04 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,55	44 Karung	2.200 kg	1,00 g/L	7,18	Gerimis
Jumat, 06 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,30	47 Karung	2.350 kg	1,06 g/L	7,02	Hujan Sedang
Sabtu, 07 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,82	42 Karung	2.100 kg	0,95 g/L	7,58	Cerah

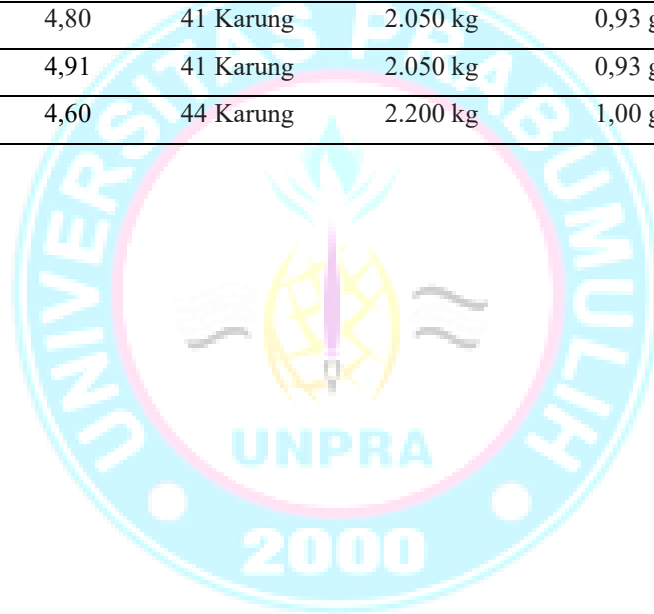
Sumber: Hasil olah data penelitian (2026)

Tabel 5.2 Rekapitulasi Bulan II (Maret – April 2026)

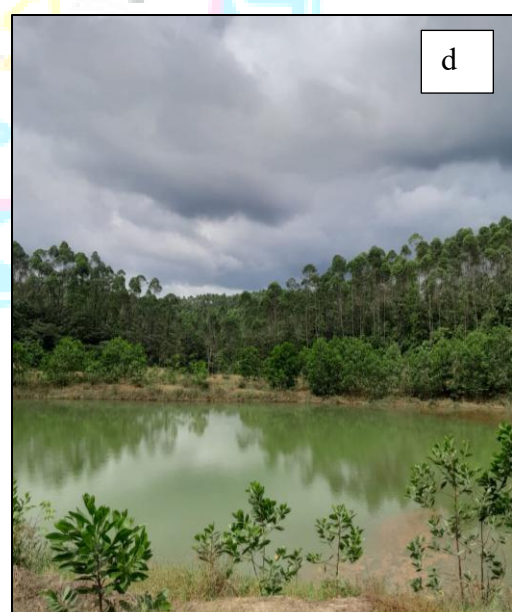
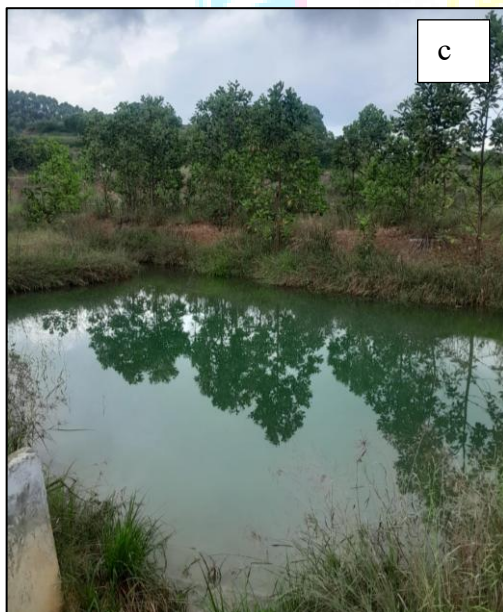
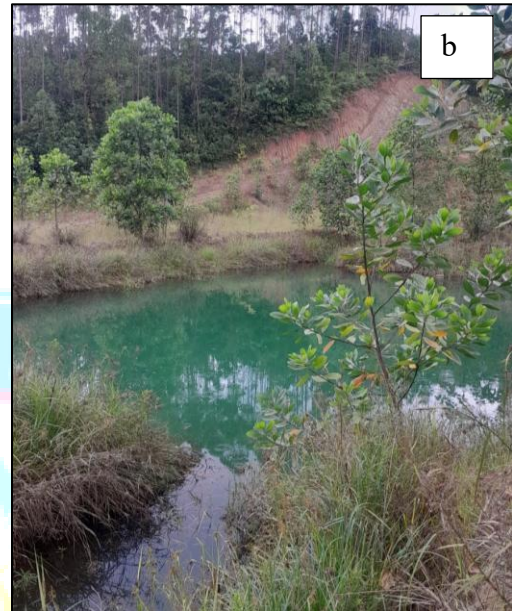
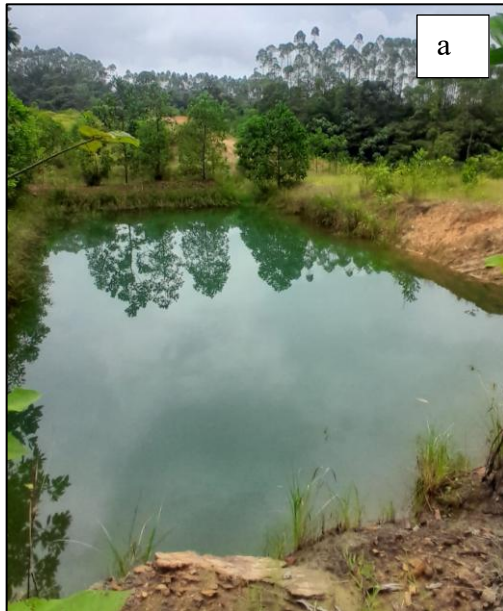
Hari / Tanggal	Titik Penaburan	pH Awal	Jumlah Kapur	Total Berat	Dosis Lapangan	pH Akhir	Kondisi Cuaca
Senin, 09 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,88	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,65	Cerah (Kondisi Normal)
Rabu, 11 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,78	42 Karung	2.100 kg	0,95 g/L	7,48	Berawan
Jumat, 13 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,48	46 Karung	2.300 kg	1,04 g/L	7,12	Hujan ringan
Sabtu, 14 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,92	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,92	Cerah
Senin, 16 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,85	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,60	Cerah
Rabu, 18 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,62	43 Karung	2.150 kg	0,97 g/L	7,28	Gerimis
Jumat, 20 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,28	47 Karung	2.350 kg	1,06 g/L	7,05	Hujan Sedang
Sabtu, 21 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,72	42 Karung	2.100 kg	0,95 g/L	7,40	Berawan
Senin, 23 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,89	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,68	Cerah
Rabu, 25 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,58	44 Karung	2.200 kg	1,00 g/L	7,20	Hujan Ringan
Jumat, 27 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,12	48 Karung	2.400 kg	1,09 g/L	6,90	Hujan Lebat

Sabtu, 28 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,65	42 Karung	2.100 kg	0,95 g/L	7,32	Berawan
Senin, 30 Mar 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,90	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,82	Cerah
Rabu, 01 Apr 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,70	43 Karung	2.150 kg	0,97 g/L	7,36	Gerimis
Jumat, 03 Apr 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,40	46 Karung	2.300 kg	1,04 g/L	7,08	Hujan Sedang
Sabtu, 04 Apr 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,80	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,52	Cerah
Senin, 06 Apr 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,91	41 Karung	2.050 kg	0,93 g/L	7,88	Cerah
Rabu, 08 Apr 2026	Kompartemen 1, 2, 3	4,60	44 Karung	2.200 kg	1,00 g/L	7,22	Gerimis

Sumber : Hasil olah data penelitian (2026)



LAMPIRAN 6
KOLAM PENGENDAP LUMPUR





Keterangan gambar: (a) Kompartemen 1. (b) Kompartemen 2. (c) Kompartemen 3. (d) Box Control. (e) Pengapuran di Kompartemen 2. (f) Pengecekan di Saluran Outlet.

Sumber: Dok. Penulis (2026)

Gambar 6. Kolam Pengendapan Lumpur

LAMPIRAN 7

PENGUKURAN DEBIT POMPA



Keterangan gambar: (a) Mengukur celah kosong air. (b) Mengukur panjang air yang keluar
(c) Mengukur diameter dalam pompa (d) Mengukur diameter luar pompa

Sumber: Dok, Penulis (2026)

Gambar 7.1 Pengukuran debit pompa

LAMPIRAN 8

DEBIT POMPA

										1500 rpm						
										Diameter Luar	26	cm				
											10,23	inch				
										Diameter Dalam	15,5	cm				
											6,10	inch				
											2,541	inch/cm				
RPM	X(meter)	Y(meter)	D2	0,00283	2Y	9,81	$0.00283 \cdot D2^2 \cdot X \cdot \sqrt{(2\pi/9.81)}$					DEBIT (m3/jam)	DEBIT (L/S)			
1.500	0,70	0,3	24025	0,00283	0,600	9,81	47,593525	0,247309683			192,45	53,46				

Sumber: Hasil olah data penelitian, 2026

Gambar 8.1 Debit pompa



LAMPIRAN 9

PERHITUNGAN ULANG DOSIS KAPUR TOHOR





Keterangan gambar: (a) Sampel Awal Air Asam Tambang. (b) Kapur tohor. (CaO)
(c) Timbangan Per Gram Untuk Dosis Kapur Tohor. (d) Pengetesan pH.
(e) Sampel Hasil uji Ulang Kapur Tohor.

Sumber: Dok. Penulis (2026)

Gambar 9.1 Perhitungan Ulang Dosis Kapur Tohor