

**ANALISIS PROSEDUR PERAWATAN PENYANGGA PADA
LUBANG SAWAH LUWUNG DI TAMBANG DALAM
UNIT PENAMBANGAN OMBILIN
PT BUKIT ASAM TBK**

LAPORAN TUGAS AKHIR



**IMAN AKBAR
2023310038**

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

**ANALISIS PROSEDUR PERAWATAN PENYANGGA PADA
LUBANG SAWAH LUWUNG DI TAMBANG DALAM
UNIT PENAMBANGAN OMBILIN
PT BUKIT ASAM TBK**

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



**IMAN AKBAR
2023310038**

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

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PROSEDUR PERAWATAN PENYANGGA PADA LUBANG SAWAH LUWUNG DI TAMBANG DALAM UNIT PENAMBANGAN OMBILIN PT BUKIT ASAM TEK

LAPORAN TUGAS AKHIR

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

Oleh:

IMAN AKBAR

2023310038

Prabumulih, 20 Mei 2026

Pembimbing I



Rendi Arisanti, S.T., M.T.

NUPTK. 1439755655300002

Pembimbing II



Ridho Yovanda, S.T., M.T.

NIUPTK. 5250771672130283



Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan



Ridho Yovanda, S.T., M.T.

NUPTK. 5250771672130283

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir berupa laporan tugas akhir ini dengan judul "Analisis Prosedur Perswatan Penyangga Lubang Bawah Lintang Pada Tambung Dalam Unit Pemnambahan Ombilin PT. Buloh Asam Tbk" telah dipertahankan dihadapan Tim Pengaji Tugas Akhir Program Studi Teknik Perambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih pada Rabu 20 Mei 2026.

Prabumulih, 20 Mei 2026

Tim Penguji Sidang Proposal Tugas Akhir

Ketua :

1. Reni Arisanti, S.T., M.T.
NUPTK. 1439755655300002

()

Anggota :

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

()

3. Ahmad Husni, S.T., M.T.
NUPTK. 6338747650200003

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



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

Ketua Program Studi
Teknik Perambangan



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

PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Iman Akbar

NIM : 2023310038

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, 20 Mei 2026

Yang membuat pernyataan,



Iman Akbar

NIM. 2023310038

ABSTRAK

ANALISIS PROSEDUR PERAWATAN PENYANGGA PADA LUBANG SAWAH LUWUNG DI TAMBANG DALAM UNIT PENAMBANGAN OMBILIN PT BUKIT ASAM TBK

Iman Akbar, 2023310038, 2026

Stabilitas lubang bukaan pada tambang bawah tanah sangat bergantung pada efektivitas sistem penyangga yang digunakan. Lubang sawah luwung di PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin merupakan bukaan lama yang saat ini difungsikan sebagai laboratorium alam dan destinasi wisata tambang. Seiring bertambahnya usia terowongan, material penyangga mengalami degradasi akibat faktor alami maupun lingkungan, sehingga diperlukan prosedur perawatan yang sistematis untuk menjamin keamanan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi fisik penyangga eksisting, mengevaluasi prosedur perawatan yang diterapkan di lapangan, serta mengidentifikasi kendala-kendala dalam proses pemeliharaan. Metode penelitian dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara, dan studi literatur terkait standar operasional prosedur (SOP) perawatan penyangga. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kerusakan penyangga dan efektivitas tindakan perawatan yang telah dilakukan, serta memberikan rekomendasi perbaikan prosedur guna mempertahankan stabilitas Lubang sawah luwung dalam jangka panjang.

Kata Kunci: Tambang Dalam, Lubang sawah luwung, Perawatan Penyangga, Stabilitas Terowongan, Lubang Tambang.

ABSTRACT

ANALYSIS OF MAINTENANCE PROCEDURES FOR SUPPORTING IN THE LUWUNG RICE FIELD HOLES AT THE OMBILIN MINING UNIT OF PT BUKIT ASAM TBK

Iman Akbar, 2023310038, 2026

The stability of underground mine openings depends heavily on the effectiveness of the support systems installed. tunnel sawah luwung at PT Bukit Asam Tbk Ombilin Mining Unit is a long-standing opening currently utilized as a natural laboratory and mining tourism destination. As the tunnel ages, support materials undergo degradation due to both natural and environmental factors, necessitating systematic maintenance procedures to ensure operational safety. This study aims to analyze the physical condition of existing supports, evaluate the maintenance procedures implemented in the field, and identify constraints in the maintenance process. The research method involves field observations, interviews, and literature studies regarding the standard operating procedures (SOP) for support maintenance. The results are expected to provide an overview of the level of support damage and the effectiveness of maintenance actions taken, as well as offer recommendations for procedural improvements to maintain the long-term stability of tunnel sawah luwung.

Keywords: *Underground Mine, Tunnel Sawah Luwung, Support Maintenance, Tunnel Stability, Mine Tunnel .*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Prosedur Perawatan Penyangga Lubang Sawah Luwung Pada Tambang Dalam Unit Penambangan Ombilin PT. Bukit Asam Tbk” Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Ahli Madya di Program Studi D3 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. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
3. Bapak Ridho Yovanda, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan sekaligus pembimbing II.
4. Ibu Reni Arisanti, S.T., M.T. sebagai pembimbing I
5. Bapak Ahmad Husni, S.T., M.T. sebagai Tim Penguji
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
7. Bapak dan Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
8. Kepala Perusahaan, Pimpinan, dan seluruh Staf PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan penelitian.

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

Prabumulih, 20 Mei 2026



Iman Akbar

2023310038

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	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
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	14
2.2.1 Pertambangan Bawah Tanah	14
2.2.2 Terowongan (<i>Tunnel</i>) Tambang	15
2.2.3 Jenis-jenis Terowongan Berdasarkan Fungsinya	16
2.2.4 Geometri Terowongan	17
2.3 Penyangga Terowongan (<i>Ground Support</i>)	20
2.3.1 Prinsip Kerja Sistem Penyangga	21
2.3.2 Jenis-jenis Penyangga Terowongan	21
2.3.3 Desain dan Pemilihan Sistem Penyangga	23
2.4 Perawatan Sistem Penyangga	24

	Halaman
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.2 Tahapan Penelitian	30
3.3 Bagan Alir Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Prosedur Perawatan Saat Ini (<i>Existing Procedure</i>)	39
4.1.1 Analisis Kondisi Penyangga pada Titik J4 – J3 (Baja Profil I / I Beam)	39
4.1.2 Analisis Kondisi Penyangga pada Titik J6 – J7 (Baja <i>Archis</i> dan Genangan Air)	41
4.1.3 Analisis Kondisi Penyangga pada Titik J14 – J37 (Baja <i>Archis</i> pada Area Tanjakan)	43
4.2 Identifikasi Faktor Penyebab Degradasi Penyangga	45
4.2.1 Analisis Efektivitas Prosedur Perawatan	46
4.2.2 Pengaruh Beban Operasional dan Aktivitas Wisata	46
4.2.3 Evaluasi Kendala Operasional di Lapangan	47
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian	30
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Aktual Penyangga I Beam J3-J4.....	40
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Aktual Penyangga Archis J6-J7.....	42
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Aktual Penyangga J14-J37	43
Tabel C1. Hasil pengukuran Aktual Penyangga J4 - J3	61
Tabel C2. Hasil pengukuran Aktual Penyangga J6 – J7	62
Tabel C3. Hasil pengukuran Aktual Penyangga J14 – J37	63
Tabel D.1 Rekapitulasi laporan Kerja Harian.....	64



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah PT Bukit Asam UPO	6
Gambar 2.2 Peta Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk	8
Gambar 2.3 Struktrur Organisasi Perusahaan	11
Gambar 2.4 Metode <i>Room and Pillar</i>	15
Gambar 2.5 Penampang Segi Empat	17
Gambar 2.6 Penampang Trapesium	18
Gambar 2.7 Penampang Busur/Tapal Kuda	19
Gambar 2.8 Penampang Lingkaran	19
Gambar 2.9 Kabel Batuan	22
Gambar 3.1 Peta Tambang Dalam Ombilin <i>Mining Site</i>	28
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	35
Gambar 4.1 Kondisi Aktual Penyangga Pada Titik J4 – J3	40
Gambar 4.2 Kondisi Aktual Penyangga J6 – J7	42
Gambar 4.3 Kondisi Aktual Pada Titik J14 – J37	44
Gambar E.1 Peta Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk	66
Gambar F.1 Peta Geologi Area IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk	67
Gambar G.1 Tampak Atas Lokasi Penelitian	68

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Pedoman Wawancara	52
Lampiran B Sop Perawatan Penyangga	55
Lampiran C Rekapitulasi Laporan Harian Kerja	61
Lampiran D Pengukuran Dimensi dan Geometri	64
Lampiran E Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk.....	66
Lampiran F Geologi Area IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk.....	67
Lampiran G Tampak Atas Lokasi Penelitian	68



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
APD	: Alat Pelindung Diri
BDTBT	: Balai Diklat Tambang Bawah Tanah
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
IUP	: Izin Usaha Pertambangan
J	: Junction
K3L	: Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan
KTT	: Kepala Teknik Tambang
LB	: Lubang Buka
LHD	: <i>Load Haul Dump</i>
MDPL	: Meter Diatas Permukaan Laut
PN TABA	: Perusahaan Negara Tambang Arang Bukit Asam
RMR	: <i>Rock Mass Rating</i> (Sistem klasifikasi massa batuan)
SOP	: Standar Operasional Prosedur
Tamda	: Tambang Dalam
TBM	: <i>Tunnel Boring Machine</i>
UNESCO	: <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
SL	: Sawah Luwung
UPO	: Unit Penambangan Ombilin

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan, khususnya batubara, memegang peranan vital sebagai salah satu penopang utama ketahanan energi dan perekonomian nasional Indonesia. Seiring dengan menipisnya cadangan yang mudah dijangkau di permukaan, kegiatan penambangan bergerak menuju kondisi yang lebih kompleks, salah satunya melalui metode tambang bawah tanah (underground mining) (Putri et al., 2019).

PT Bukit Asam Tbk (PTBA) Unit Penambangan Ombilin (UPO) memegang peranan historis yang krusial sebagai salah satu pertambangan batubara bawah tanah tertua di Indonesia. Namun, perlu digarisbawahi bahwa saat ini aktivitas ekstraksi atau produksi batubara secara komersial di lokasi ini telah dihentikan sepenuhnya. Kini, fungsi terowongan telah beralih menjadi laboratorium alam, pusat pelatihan (diklat) pertambangan bawah tanah, serta destinasi wisata edukasi warisan tambang (World Heritage). Meskipun tidak ada lagi aktivitas penggalian aktif, kondisi penyangga di sepanjang lorong terowongan (tunnel) harus tetap dipastikan dalam kondisi prima dan optimal (Murad & Ningsih, 2018).

Urgensi aktivitas perawatan (maintenance) sistem penyangga tidak berkurang sedikitpun, melainkan bertransformasi menjadi upaya vital demi menjamin keselamatan manusia baik para peserta diklat, peneliti, maupun wisatawan yang memasuki area tersebut. Tanpa adanya produksi, tantangan geoteknik beralih dari pengendalian tekanan akibat penggalian menjadi pengendalian degradasi alami akibat usia dan pelapukan. Oleh karena itu, program perawatan yang komprehensif, mencakup inspeksi berkala terhadap korosi penyangga baja atau pelapukan kayu, deteksi dini pergerakan massa batuan, serta metode perkuatan yang relevan, menjadi kunci utama. Hal ini semata-mata dilakukan untuk menjaga integritas struktural lubang tambang sebagai aset edukasi jangka panjang, memastikan bahwa warisan teknologi tambang ini dapat terus dipelajari dengan aman tanpa risiko keruntuhan (Murad & Ningsih, 2018).

Pemasangan sistem penyangga bukanlah solusi permanen. Seiring berjalannya waktu, penyangga akan mengalami potensi degradasi akibat berbagai faktor, seperti perubahan kondisi tegangan batuan (rock stress) dan terjadinya korosi pada material logam seperti rock bolt. Kegagalan pada sistem penyangga dapat berakibat fatal, tidak hanya menyebabkan kerugian material akibat terhentinya produksi, tetapi juga mengancam keselamatan pekerja secara langsung melalui insiden seperti runtuh (collapse) atau jatuhnya batuan (rockfall) (Rahim & Putri, 2023).

Operasional tambang bawah tanah ini sangat bergantung pada keandalan infrastruktur bawah tanah, terutama terowongan (tunnel) yang berfungsi sebagai akses utama, jalur transportasi, dan saluran ventilasi karena ini berpengaruh pada keselamatan, dan kelancaran produksi. Untuk menjaga integritas dan keamanan terowongan selama umur tambang, pemasangan sistem penyangga (ground support system) yang memadai merupakan sebuah keharusan. Penyangga ini, baik berupa steel set, rock bolt, shotcrete, atau kombinasi lainnya, berfungsi untuk menahan beban dari massa batuan di sekitarnya dan mencegah terjadinya keruntuhan (Ginting et al., 2017).

Berdasarkan uraian tersebut, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian guna menganalisis perawatan yang diterapkan pada penyangga. Oleh karena itu, penelitian ini mengambil judul "Analisis Perawatan Penyangga pada Lubang Sawah Luwung di Tambang Dalam PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana prosedur perawatan sistem penyangga serta metode inspeksi yang saat ini diterapkan pada lubang sawah luwung di PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin?
2. Apa saja faktor-faktor dominan yang menyebabkan terjadinya kerusakan atau penurunan fungsi pada penyangga di lubang sawah luwung?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dibahas dalam penulisan proposal untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis prosedur perawatan penyangga serta metode inspeksi yang saat ini diterapkan oleh perusahaan.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang dapat menyebabkan kerusakan penyangga di lubang sawah luwung.

1.4 Manfaat Penelitian

Sebagai sebuah proses untuk memecahkan masalah dan dasar pengambilan keputusan, penelitian ini mencakup dua manfaat yaitu:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan menambah wawasan dalam disiplin ilmu Teknik Pertambangan, khususnya terkait bidang perawatan infrastruktur tambang bawah tanah. Hasil penelitian ini dapat memperkaya literatur akademik mengenai metode analisis kondisi, pola degradasi penyangga terowongan, dan penerapan strategi perawatan yang efektif untuk menjaga stabilitas lubang bukaan di lingkungan tambang dalam.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini akan memberikan gambaran teknis yang jelas mengenai kondisi aktual dan efektivitas program perawatan sistem penyangga di lubang sawah luwung PT Bukit Asam Tbk UPO. Hasil analisis ini dapat menjadi dasar evaluasi bagi manajemen untuk mengidentifikasi titik-titik kritis di sepanjang terowongan yang memerlukan perbaikan segera. Penelitian ini juga bertujuan memberikan rekomendasi teknis untuk optimalisasi strategi perawatan guna menjamin keamanan, keandalan, dan keberlangsungan operasional lubang sawah luwung.

1.5 Batasan Masalah

Fokus utama analisis dari penelitian ini adalah hanya mencakup kegiatan dan program yang berkaitan dengan perawatan penyangga, seperti jenis dan kondisi kerusakan atau degradasi penyangga yang teridentifikasi, metode inspeksi yang saat ini diterapkan, prosedur dan jadwal perawatan yang dijalankan, serta faktor-faktor utama yang mempengaruhi tingkat kerusakan penyangga di lokasi penelitian



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

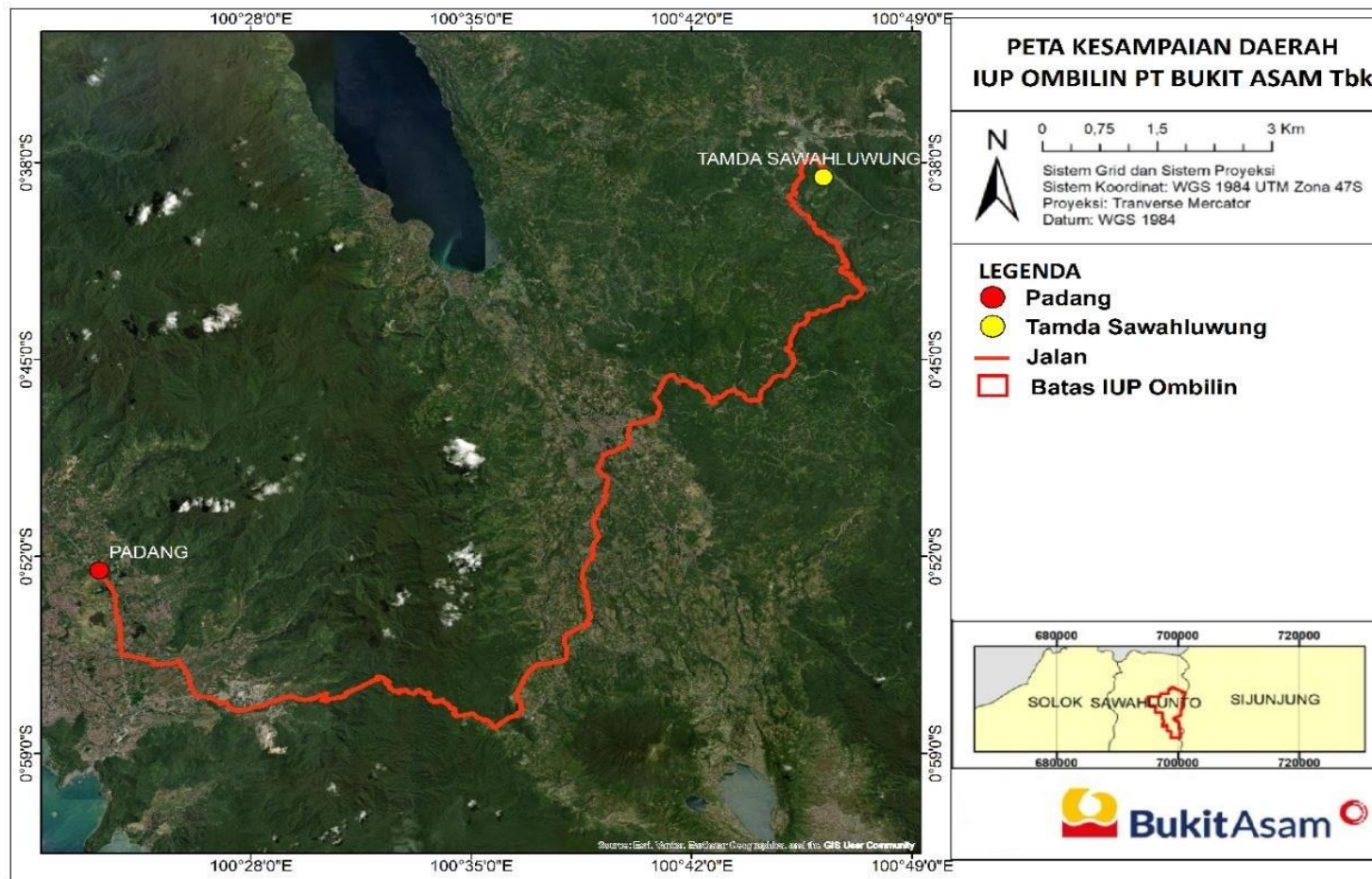
2.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di dalam wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Ombilin PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin (UPO), yang secara administratif terletak di kawasan Sawahluwung, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Untuk mencapai lokasi lubang tambang dalam Sawah Luwung, rute perjalanan darat dapat ditempuh secara langsung dari pusat Kota Padang, yang bertindak sebagai gerbang transportasi udara utama via Bandar Udara Internasional Minangkabau maupun transportasi laut via Pelabuhan Teluk Bayur. Berdasarkan Peta Kesampaian Daerah IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk, jalur darat merupakan satu-satunya akses penghubung utama yang digunakan untuk memobilisasi seluruh kebutuhan operasional menuju lokasi penelitian.

Mobilisasi perjalanan darat dimulai dari Kota Padang yang terletak pada koordinat geografis sekitar 0°52' Lintang Selatan (LS) dan 100°21' Bujur Timur (BT). Perjalanan dapat ditempuh menggunakan moda transportasi darat, baik kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat seperti mobil pribadi, kendaraan dinas operasional perusahaan, atau angkutan umum lintas kabupaten/kota.

Kawasan Tambang Dalam (Tamda) Sawahluwung yang ditandai dengan simbol lingkaran berwarna kuning pada peta, tepatnya pada koordinat geografis sekitar 0°38'LS dan 100°46'BT. Lokasi ini merupakan akses masuk utama (Adit) menuju Lubang Pendidikan Sawah Luwung PT Bukit Asam Tbk UPO. Jarak total yang ditempuh dari Kota Padang hingga lokasi Tamda Sawahluwung berkisar antara 90 km hingga 100km dengan estimasi waktu tempuh sekitar 2,5 jam hingga 3,5 jam di bawah kondisi arus lalu lintas normal dan cuaca cerah. Dengan demikian, tingkat aksesibilitas menuju Lubang Sawah Luwung dinilai sangat baik karena didukung oleh infrastruktur jalan raya nasional dan jalan tambang yang memadai.

Bukaan tambang bawah tanah ini berada di bawah pengawasan teknis dan kepemilikan aset oleh PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin (PTBA UPO), yang terletak di wilayah administrasi Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat



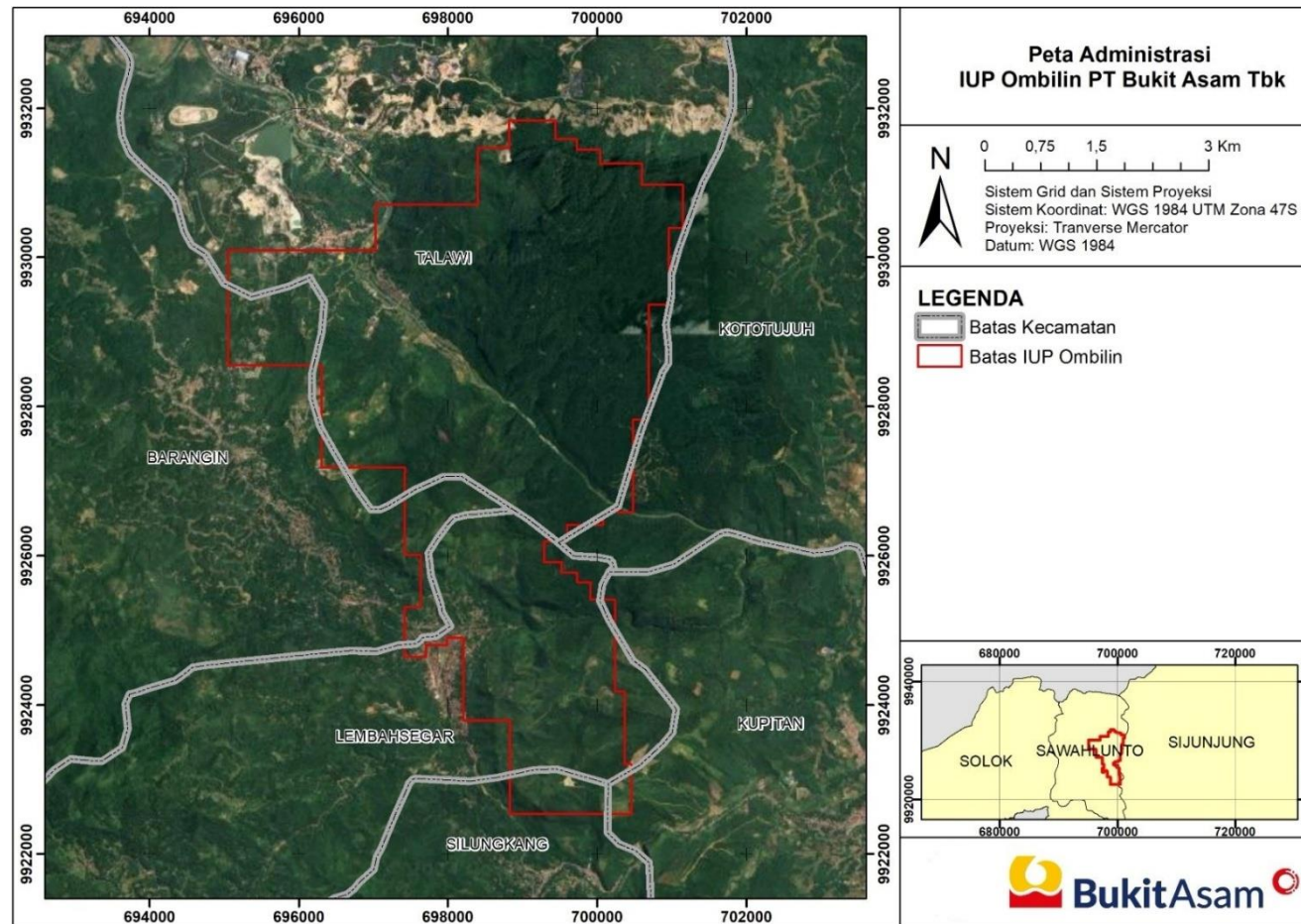
Sumber : Perusahaan, (2026)

Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah PT Bukit Asam UPO

Izin Usaha Pertambangan (IUP) Ombilin milik PT Bukit Asam Tbk merupakan kawasan konsesi pertambangan batubara historis yang secara administratif terletak di dalam lingkup Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Berdasarkan Peta Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk, batas wilayah konsesi yang ditandai dengan garis batas berwarna merah tebal menunjukkan luasan area yang memotong dan mencakup beberapa wilayah kecamatan sekaligus. Lokasi IUP ini membentang dari wilayah Kecamatan Talawi di sebelah utara hingga ke selatan menyentuh perbatasan Kecamatan Lembah Segar dan Kecamatan Silungkang. Wilayah sekeliling IUP ini juga berbatasan langsung dengan area luar konsesi seperti Kecamatan Barangin di sebelah barat, Kecamatan Koto Tujuh di sebelah timur, serta Kecamatan Kupitan di sebelah tenggara.

Pembagian wilayah administrasi kecamatan di dalam batas IUP ini sangat penting karena memengaruhi regulasi pengawasan lingkungan, tanggung jawab sosial perusahaan (*Corporate Social Responsibility*), serta koordinasi teknis operasional pemeliharaan aset pascatambang. Dari keseluruhan area konsesi, bagian utara dan tengah yang didominasi oleh Kecamatan Talawi merupakan kawasan di mana cadangan batubara bawah tanah terdahulu dieksploitasi secara masif. Berdampingan dengan area tersebut, wilayah selatan yang berbatasan dengan Kecamatan Lembah Segar memuat titik-titik lubang bukaan tambang dalam bersejarah, termasuk Lubang Sawah Luwung yang menjadi objek utama penelitian Tugas Akhir ini. Wilayah-wilayah ini secara geomekanika memiliki karakteristik lereng, topografi perbukitan, dan pola penyaliran air tanah khas yang langsung memengaruhi kondisi fisik lubang terowongan.

Apabila ditinjau dari peta indeks regional (*inset map*) di sudut kanan bawah, letak keseluruhan konsesi IUP Ombilin berada di bawah administrasi Kota Sawahlunto yang terjepit di antara Kabupaten Solok di sebelah barat dan Kabupaten Sijunjung di sebelah timur. Lokasi terowongan Sawah Luwung yang berada di dalam wilayah administratif Kecamatan Talawi ini secara topografis dikelilingi oleh morfologi pegunungan bergelombang tajam.



Sumber : Perusahaan, (2026)

Gambar 2.2 Peta Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk

2.1.1 Sejarah Perusahaan

Eksistensi PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin (PTBA UPO) tidak dapat dipisahkan dari sejarah panjang pertambangan batubara di Indonesia. Penemuan cadangan batubara di daerah aliran sungai Ombilin pertama kali dilaporkan oleh geolog Belanda, Willem Hendrik de Greve, pada tahun 1868. Hasil penelitian de Greve menunjukkan adanya deposit batubara berkualitas tinggi dalam jumlah besar di Cekungan Ombilin, yang kemudian memicu pemerintah Hindia Belanda untuk memulai proyek ambisius penambangan bawah tanah (Panjaitan, 2017)..

1. Era Hindia Belanda (1892 – 1942)

Produksi batubara secara komersial dimulai pada tahun 1892. Untuk mendukung logistik, dibangun jaringan kereta api yang menghubungkan Sawahlunto dengan Pelabuhan Teluk Bayur (Emma Haven) di Padang. Tambang Ombilin menjadi pemasok utama kebutuhan energi untuk kapal uap dan industri di wilayah kolonial.

2. Era Kemerdekaan dan Nasionalisasi (1945 – 1990)

Setelah kemerdekaan, pengelolaan tambang mengalami beberapa kali perubahan nama dan status badan hukum, mulai dari Perusahaan Negara Tambang Arang Bukit Asam (PN TABA) hingga menjadi bagian dari Perusahaan Negara Tambang Batubara (PN Tambang Batubara).

3. Penggabungan dengan PT Bukit Asam (1990 – Sekarang)

Pada tahun 1990, Unit Penambangan Ombilin secara resmi bergabung dengan PT Bukit Asam (Persero) Tbk yang berpusat di Tanjung Enim. Sejak saat itu, manajemen operasional disesuaikan dengan standar korporasi PTBA.

4. Situs Warisan Dunia UNESCO (2019)

Pasca berakhirnya operasional produksi batubara secara masif di beberapa lubang tambang, pada 6 Juli 2019, Tambang Batubara Ombilin Sawahlunto ditetapkan sebagai Situs Warisan Dunia UNESCO. Hal ini mengubah orientasi perusahaan di Unit Ombilin

dari unit produksi menjadi unit yang berfokus pada edukasi, pemeliharaan aset sejarah, dan laboratorium tambang bawah tanah.

2.1.2 Profil Perusahaan PT Bukit Asam UPO

Sebagai bagian dari anggota Holding Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Industri Pertambangan Indonesia yang dikenal dengan nama MIND ID (*Mining Industry Indonesia*), PT Bukit Asam Tbk secara konsisten menerapkan prinsip-prinsip praktik pertambangan yang baik (*Good Mining Practice*). Meskipun korporasi ini memiliki pusat kegiatan penambangan terbuka (*open pit*) skala besar di Tanjung Enim, Sumatera Selatan, Unit Penambangan Ombilin di Sawahlunto memiliki posisi historis dan teknis yang unik karena memfokuskan reputasi dan spesialisasinya pada aspek rekayasa, pemeliharaan, serta mitigasi risiko kestabilan struktur tambang bawah tanah (*underground mining*).

Dalam menjalankan kegiatan operasional dan pemeliharaan jangka panjang di wilayah Sawahlunto, PTBA UPO menyelaraskan seluruh programnya dengan visi dan misinya :

1. Visi

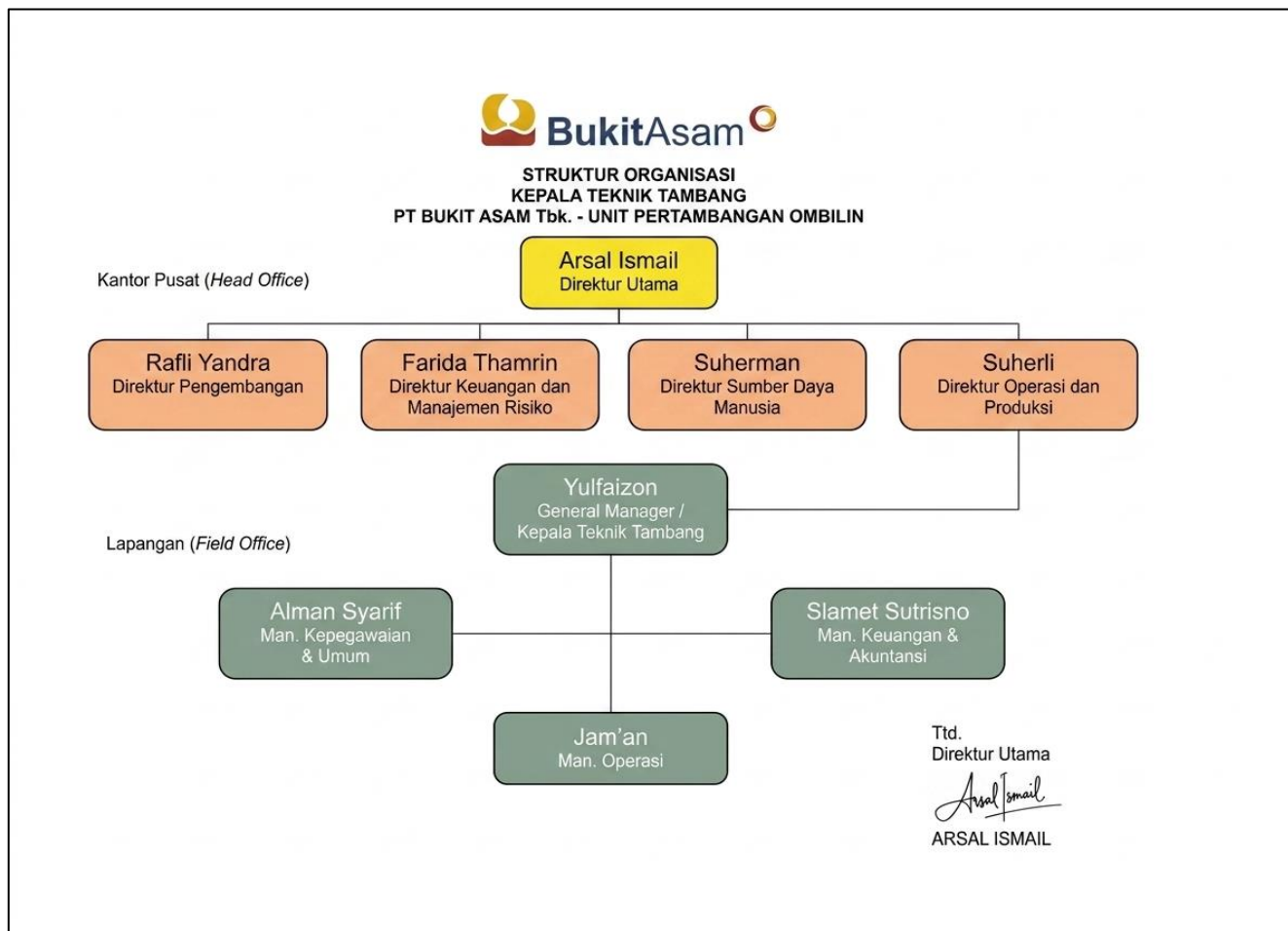
"Menjadi perusahaan energi dan kimia kelas dunia yang peduli lingkungan."

2. Misi

Mengelola sumber daya energi dengan mengembangkan kompetensi korporasi dan keunggulan kompetitif untuk memberikan nilai tambah maksimal bagi pemangku kepentingan (*stakeholders*) dan lingkungan.

Menerapkan praktik pertambangan yang baik dengan komitmen tinggi terhadap keselamatan, kesehatan kerja, lingkungan hidup, dan tanggung jawab sosial.

Budaya kerja di lingkungan PTBA UPO berlandaskan pada nilai-nilai inti BUMN, yaitu AKHLAK, yang mencakup Amanah, Kompeten, Harmonis, Loyal, Adaptif, dan Kolaboratif. Nilai kolaboratif diwujudkan melalui kemitraan yang erat dengan institusi pendidikan, seperti Balai Diklat Tambang Bawah Tanah (BDTBT).



Sumber : Perusahaan, (2026)

Gambar 2.3 Struktrur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi PT Bukit Asam Tbk (PTBA) memisahkan kepengurusan menjadi dua bagian utama, yaitu Kantor Pusat (*Head Office*) dan Kantor Lapangan (*Field Office*). Pemisahan ini bertujuan agar seluruh keputusan penting yang dirumuskan di pusat dapat diterapkan secara langsung dan aman di lapangan, khususnya dalam menjaga kelayakan dan keselamatan operasional di area tambang bawah tanah Ombilin, Sawahlunto.

Di tingkat Kantor Pusat, kepemimpinan tertinggi dipegang oleh Direktur Utama, Aarsal Ismail. Dalam menjalankan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh empat orang direktur dengan fokus kerja yang berbeda. Direktur Pengembangan (Rafli Yandra) bertugas merencanakan kemajuan bisnis masa depan perusahaan. Direktur Keuangan dan Manajemen Risiko (Farida Thamrin) mengelola anggaran belanja dan mengantisipasi risiko keuangan. Direktur Sumber Daya Manusia (Suherman) mengurus pembinaan seluruh karyawan, sedangkan Direktur Operasi dan Produksi (Suherli) mengawasi seluruh kegiatan teknis dan pemeliharaan tambang di lapangan.

Di tingkat Kantor Lapangan Sawahlunto, operasional dipimpin oleh Yulfaizon yang menjabat sebagai *General Manager* sekaligus Kepala Teknik Tambang (KTT). Jabatan ganda ini membuatnya memegang tanggung jawab tertinggi atas kelancaran administrasi wilayah Ombilin serta keselamatan kerja di terowongan bawah tanah. Dalam kegiatan harian, KTT dibantu oleh tiga manajer, yaitu Alman Syarif (Manager Kepegawaian dan Umum) yang mengurus administrasi dan humas, Slamet Sutrisno (Manager Keuangan dan Akuntansi) yang mengelola anggaran belanja lapangan, serta Jam'an (Manager Operasi) yang memimpin langsung pengerjaan teknis di lapangan, termasuk program perawatan penyangga di terowongan Sawah Luwung.

2.1.3 Geologi Daerah Penelitian

Kondisi geologi pada wilayah IUP Ombilin, khususnya di area Sawah Luwung, sangat dipengaruhi oleh dinamika pembentukan Cekungan Ombilin. Secara fisiografis, daerah ini terletak di jajaran Pegunungan Bukit Barisan dengan morfologi perbukitan bergelombang tajam pada elevasi 250 m hingga 450 m di atas permukaan laut. Karakteristik topografi yang tidak rata ini menghasilkan ketebalan tanah penutup (*depth of cover*) di atas terowongan

Sawah Luwung yang bervariasi. Hal tersebut secara langsung memengaruhi distribusi tegangan vertikal yang harus ditanggung oleh sistem penyangga bawah tanah.

Berdasarkan Peta Geologi Area IUP Ombilin (Lampiran D, Gambar D.1), daerah Sawah Luwung tersusun atas batuan sedimen Tersier yang termasuk dalam Formasi Sawahlunto. yang secara selaras berada di atas Formasi Sangkarewang dan di bawah Formasi Sawahtambang, urutan stratigrafi dari tua ke muda di daerah ini adalah:

1. Formasi Sangkarewang, terdiri dari serpih hitam dan batulanau, diendapkan pada lingkungan danau.
2. Formasi Sawahlunto (Formasi Pembawa Batubara), inilah formasi tempat Lubang Sawah Luwung berada. Litologinya terdiri dari batupasir kuarsa, batulanau, batu lempung, dan beberapa lapisan (*seam*) batubara.
 - a. Seam A
Lapisan batubara paling atas dengan ketebalan 1,5 – 2 m.
 - b. Seam B
Lapisan tengah yang cenderung tipis dan tidak menerus.
 - c. Seam C
Lapisan batubara utama di Sawah Luwung dengan ketebalan mencapai 6 – 10 meter. Lubang Sawah Luwung menembus lapisan ini, sehingga batuan atap (*roof*) dan dinding (*rib*) terowongan didominasi oleh batubara Seam C dan batu lempung kelabu.
3. Formasi Sawahtambang, terdiri dari batupasir konglomeratan dengan struktur silang siur, berada di atas Formasi Sawahlunto.

Kondisi geoteknik di area ini semakin kompleks akibat pengaruh tektonik Cekungan Ombilin yang merupakan cekungan *pull-apart* akibat aktivitas Sesar Sumatera. Pengaruh tektonik ini dicirikan oleh keberadaan Sinklin Rantih yang melipat lapisan batubara hingga memiliki kemiringan (*dip*) berkisar antara 8°- 15°.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Penambangan Bawah Tanah

Pertambangan bawah tanah (*underground mining*) merupakan metode penambangan yang dilakukan dengan membuat lubang-lubang bukaan dan terowongan dari permukaan menuju endapan bahan galian yang terletak di bawah permukaan bumi (Juenda et al., 2022). Metode ini diterapkan ketika kedalaman endapan sudah tidak ekonomis atau tidak memungkinkan untuk ditambang dengan metode tambang terbuka (*open pit mining*).

Tambang bawah tanah didefinisikan sebagai kegiatan pengambilan sumber daya mineral atau batu bara yang melibatkan penggalian massa batuan di bawah permukaan, yang diakses melalui terowongan, *shaft*, atau *ramp* (Putri et al., 2019). Lingkungan kerjanya sangat bergantung pada stabilitas massa batuan di sekitarnya, sehingga memerlukan perencanaan sistem penyangga yang matang untuk menjamin keselamatan dan kelancaran operasi. Karakteristik utama dari tambang bawah tanah meliputi:

1. Akses Terbatas

Akses menuju zona penambangan hanya melalui bukaan-bukaan sempit, membatasi ukuran alat dan laju produksi.

2. Kebutuhan Penyanggaan

Struktur bukaan dan terowongan harus secara terus-menerus didukung untuk mencegah keruntuhan atap dan dinding.

3. Masalah Ventilasi dan Drainase

Memerlukan sistem ventilasi yang kompleks untuk menyuplai udara bersih dan menghilangkan gas berbahaya, serta sistem drainase untuk mengeluarkan air tambang.

Pemilihan metode penambangan bawah tanah sangat bergantung pada parameter geologi endapan, seperti bentuk, kemiringan, ketebalan, dan kekuatan bijih atau lapisan batu bara, serta kekuatan batuan induk (*host rock*) (Juenda et al., 2022). Metode-metode utama dikelompokkan berdasarkan cara penambangan dan penanganan *void* (lubang bekas galian) untuk penambangan batubara menggunakan dua metode yaitu metode *room and pillar* dan *longwall mining* Metode Penyanggaan Terbuka (*Unsupported*

Methods). Digunakan pada deposit yang berada di batuan yang sangat kuat (*competent rock*). *Room and Pillar* (untuk deposit datar) dan *Stope and Pillar* (untuk deposit miring).



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 2.4 Metode *Room and Pillar*

Metode *Room and Pillar* merupakan salah satu teknik penambangan bawah tanah (*underground mining*). Metode ini melibatkan penggalian "kamar" (ruangan) dan meninggalkan sebagian dari bijih atau batubara sebagai "pilar" (tiang) untuk menopang atap tambang. Material di bagian atas digali terlebih dahulu, kemudian material di bawahnya digali atau diledakkan secara bertingkat membentuk jenjang/*bench* secara vertikal. (Putri et al., 2019).

2.2.2 Terowongan (*Tunnel*) Tambang

Terowongan atau *tunnel* merupakan struktur fundamental dalam operasi penambangan di bawah tanah. Terowongan adalah penggalian horizontal atau hampir horizontal yang dibuat di dalam massa batuan untuk berbagai keperluan operasional (Isnaini, 2015). Terowongan (*tunnel*) di lingkungan pertambangan didefinisikan sebagai bukaan (*excavation*) bawah tanah yang memiliki dua ujung terbuka atau satu ujung terbuka (*adit*) dan digunakan sebagai jalan penghubung permanen atau semi-permanen. Berbeda

dengan *shaft* (lubang vertikal), terowongan umumnya digali sejajar atau sedikit miring terhadap permukaan.

Terowongan dalam operasi tambang bawah tanah memiliki fungsi vital yang saling terintegrasi, dimulai sebagai jalur akses dan transportasi utama untuk mobilitas pekerja maupun pengangkutan material hasil tambang. Selain itu, terowongan berperan penting dalam menjaga keselamatan dan kelancaran operasional melalui sistem ventilasi yang mengalirkan udara segar serta membuang gas berbahaya, sekaligus menyediakan saluran drainase agar air tanah tidak mengganggu aktivitas (Danuartha, 2022). Struktur ini juga dimanfaatkan sebagai koridor infrastruktur untuk pemasangan jaringan listrik, komunikasi, dan perpipaan, serta menjadi jalan pengembangan untuk mengakses dan mempersiapkan blok-blok endapan baru yang akan ditambang.

2.2.3 Jenis-jenis Terowongan Berdasarkan Fungsinya

Terowongan dalam tambang bawah tanah diklasifikasikan berdasarkan fungsi dalam mendukung siklus penambangan, di antaranya adalah (Pribadi & Hariyadi, 2015):

1. *Haulage/Main Entry (Terowongan Angkut)*

Merupakan terowongan utama yang dibangun untuk jalur transportasi produk tambang (batubara atau bijih) dari area penambangan ke permukaan atau lokasi penampungan (*ore pass*). Terowongan ini biasanya memiliki dimensi terbesar untuk mengakomodasi peralatan berat dan sistem pengangkutan berkapasitas tinggi.

2. *Ventilation Entry (Terowongan Ventilasi)*

Terdiri dari *intake* (memasukkan udara segar) dan *return* (membuang udara kotor). Terowongan ini esensial untuk menjaga kualitas udara dan suhu kerja di dalam tambang. Dalam sistem penyanggaan, kondisi terowongan ventilasi sering dipantau karena perbedaan tekanan dapat memengaruhi stabilitas massa batuan.

3. *Manway/Escapeway (Jalur Orang/Jalur Darurat)*

Jalur khusus yang diperuntukkan bagi lalu lintas pekerja dan sebagai jalur evakuasi darurat. Jalur ini harus selalu terjaga keamanannya dan dipelihara secara rutin sesuai dengan standar keselamatan tambang.

4. *Crosscut*

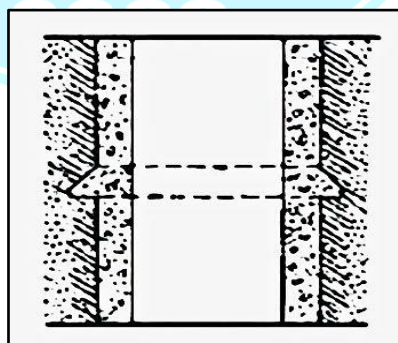
Terowongan yang digali tegak lurus terhadap terowongan utama (seperti *haulage* atau *ventilation entry*). Berfungsi menghubungkan terowongan paralel untuk sirkulasi udara atau memindahkan peralatan.

2.2.4 Bentuk Penampang Terowongan

Geometri terowongan mengacu pada bentuk dan dimensi penampang lintang (*cross-section*) bukaan. Pemilihan geometri sangat dipengaruhi oleh kondisi geomekanika batuan, tekanan yang bekerja, metode penggalian, serta fungsi terowongan itu sendiri (Ardianto et al., 2015). Bentuk penampang terowongan yang umum digunakan dalam tambang meliputi:

1. Segi Empat (*Rectangular*)

Umumnya digunakan pada batuan yang sangat keras dan stabil atau pada terowongan yang relatif kecil. Bentuk ini memiliki kelemahan karena sudut-sudutnya mudah mengalami konsentrasi tegangan, yang dapat menyebabkan keruntuhan sudut (*corner failure*) (Koesnaryo et al., 2022)



Sumber: Koesnaryo (2022)

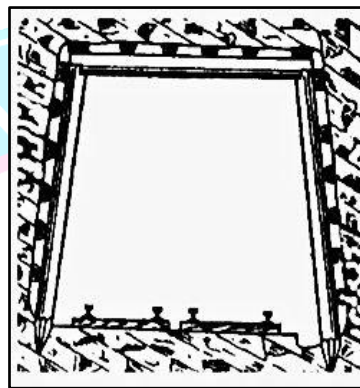
Gambar 2.5 Penampang segi empat

Penampang segi empat umum digunakan dalam terowongan tambang yang membutuhkan penyanggaan permanen yang kuat,

seperti terowongan bijih atau *drift* utama. Terowongan ini memiliki dinding (*wall*) dan atap (*back*) yang rata untuk menahan tekanan batuan di sekitarnya ditunjukkan oleh pola garis-garis (Gambar 2.7).

2. Trapesium (*Trapezoidal*)

Variasi dari segi empat, dengan sisi samping miring ke luar, sering digunakan untuk meminimalkan beban vertikal dan memberikan sedikit peningkatan stabilitas dibandingkan bentuk segi empat murni (Koesnaryo et al., 2022).



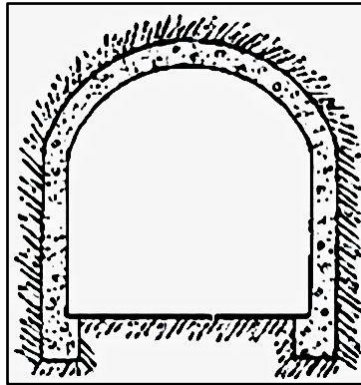
Sumber: Koesnaryo (2022)

Gambar 2.6 Penampang Trapesium

Memiliki dasar yang lebih lebar dari atap, dengan dinding samping yang miring, membentuk trapesium. Bentuk ini sering memberikan stabilitas yang lebih baik daripada segi empat di bawah tekanan vertikal dan lateral, karena dinding miring lebih efektif menahan tekanan samping. Penyanggaan (seperti kerangka kayu) lebih mudah dipasang di penampang ini (Gambar 2.8).

3. Busur/Tapal Kuda (*Arch/Horseshoe*)

Bentuk yang paling umum dan stabil karena mampu mendistribusikan tegangan yang berasal dari batuan di sekitarnya secara merata. Bentuk melengkung (*arch*) di atap (lingkup) terowongan sangat efektif dalam menahan beban kompresi (Koesnaryo et al., 2022).



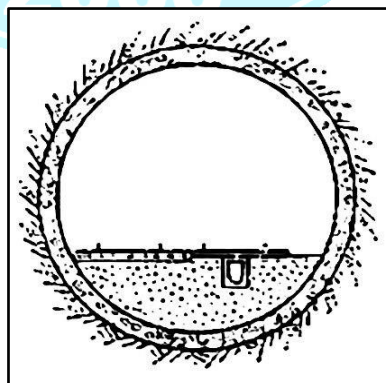
Sumber: Koesnaryo (2022)

Gambar 2.7 Penampang Busur/Tapal Kuda

Memiliki lantai datar dan atap berbentuk busur setengah lingkaran. Bentuk busur secara inheren lebih kuat dan lebih tahan terhadap tekanan atap dibandingkan penampang rata. Umum digunakan pada batuan yang lemah dan memerlukan penyanggaan busur baja (Gambar 2.9).

4. Lingkaran (*Circular*)

Bentuk paling stabil secara geomekanika karena distribusi tegangan paling merata. Bentuk ini sering digunakan pada terowongan permanen yang besar, pada kondisi batuan yang lemah atau pada terowongan yang digali menggunakan *Tunnel Boring Machine* (TBM) (Koesnaryo et al., 2022).



Sumber: Koesnaryo (2022)

Gambar 2.8 Penampang Lingkaran

Penampang Lingkaran | Penampang yang paling kuat dan paling tahan terhadap tekanan seragam dari semua sisi (tekanan hidrostatik). Umum digunakan pada terowongan dalam atau di batuan yang sangat lunak dan memerlukan lining beton melingkar (Gambar 2.10).

Penentuan geometri mencakup penetapan lebar (span), tinggi (height), dan luas penampang terowongan, yang semuanya harus dipertimbangkan dalam analisis perawatan penyangga.

2.3 Penyangga Terowongan (*Ground Support*)

Sistem penyangga terowongan (*ground support*) adalah struktur yang dipasang pada bukaan tambang bawah tanah untuk menjaga stabilitas massa batuan di sekitarnya (Purwanto, 2020). Pemasangan penyangga adalah langkah mitigasi yang esensial dan menjadi bagian integral dari siklus penambangan, terutama pada terowongan permanen dengan masa pakai yang lama, seperti lubang sawah luwung di PT Bukit Asam.

Penyangga terowongan adalah material konstruksi yang digunakan untuk memperkuat massa batuan di sekeliling bukaan terowongan, bukan hanya untuk menahan beban batuan dari atas. Konsep utamanya adalah memaksimalkan kemampuan *self-supporting* batuan dengan cara mengikat batuan yang retak dan menahan deformasi (Koesnaryo et al., 2022). Fungsi utama dari sistem penyangga meliputi:

1. Mencegah Keruntuhan Struktural

Mengikat blok-blok atau baji-baji batuan yang tidak stabil yang terbentuk oleh bidang diskontinuitas (kekar, sesar) agar tidak jatuh ke dalam bukaan terowongan.

2. Mengendalikan Deformasi

Memberikan tekanan pengekan (*confining pressure*) pada massa batuan agar pergerakan dan konvergensi dinding serta atap terowongan tetap dalam batas yang dapat diterima (terkendali).

3. Mempertahankan Dimensi Terowongan

Memastikan penampang terowongan tetap stabil dan dapat dilalui oleh peralatan, ventilasi, dan personel.

4. Keamanan dan Keselamatan

Peningkatan utama dalam aspek keselamatan kerja dengan mencegah *roof fall* (atap runtuh) dan *rib slide* (dinding longsor).

2.3.1 Prinsip Kerja Sistem Penyangga

Sistem penyangga bekerja berdasarkan dua prinsip utama, yaitu penguatan massa batuan dan penahanan deformasi, yang sering kali digunakan secara kombinasi:

Strategi stabilisasi lubang bukaan tambang bawah tanah pada dasarnya beroperasi melalui integrasi dua mekanisme fundamental yang saling melengkapi, yaitu prinsip penguatan (*reinforcement*) dan prinsip penahanan (*support*). Prinsip penguatan bekerja secara internal dengan menginstalasi elemen seperti *rock bolt* ke dalam massa batuan untuk memobilisasi dan meningkatkan properti mekanik batuan itu sendiri; sebagaimana dipaparkan oleh (Said et al., 2020)

Teknik ini bertujuan meningkatkan kohesi serta kekuatan geser pada bidang lemah, sehingga menciptakan efek *beam building* yang mengikat lapisan batuan terfraktur menjadi satu kesatuan balok yang kokoh dan memungkinkan batuan di sekitar bukaan untuk menopang tegangan in-situ secara mandiri. Di sisi lain, prinsip penahanan berfokus pada intervensi eksternal melalui pemasangan lapisan permukaan (*liner*) seperti *shotcrete* atau struktur rangka *steel set*, yang berfungsi memberikan tekanan pengekan (*confining pressure*) langsung pada dinding terowongan guna menahan deformasi plastis, mencegah material lepas (*ravelling*), dan menyangga beban mati dari blok batuan yang telah kehilangan kemampuan penyangga dirinya sendiri.

2.3.2 Jenis-jenis Penyangga Terowongan

Penyangga dikategorikan menjadi dua jenis utama berdasarkan mekanisme kerjanya terhadap massa batuan aktif dan pasif (Rahim & Putri, 2023).

1. Penyangga aktif (*active support*)

Penyangga aktif adalah sistem yang memberikan gaya (tekanan pengekan) ke massa batuan *sebelum* batuan bergerak secara signifikan atau *segera* setelah dipasang. Tujuannya adalah mencegah pergerakan batuan sejak dini.

a. *Rock bolt* (baut batuan)

Penyangga aktif yang paling umum. Bekerja dengan cara mengikat blok-blok batuan yang tidak stabil ke lapisan batuan yang lebih kompeten (*anchorage*). Beberapa jenis *rock bolt* yang umum adalah *Swelllex*, *Split Set*, dan *Grouted Rebar* (dengan semen atau resin). Penyangga ini bekerja dengan cara menguatkan massa batuan.

b. *Cable bolt* (kabel batuan)

Mirip dengan *rock bolt*, namun memiliki panjang dan kapasitas menahan beban yang jauh lebih besar, digunakan pada kondisi massa batuan yang sangat terganggu atau membutuhkan ikatan pada kedalaman yang lebih jauh.

TYPE	LONGITUDINAL SECTION	CROSS SECTION
Multi-wire tendon (Clifford, 1974)		
Birdcaged multi-wire tendon (Jirovec, 1978)		Antinode Node
Single strand (Hunt & Askew, 1977)		Normal Indented Drawn
Coated single strand (Hunt & Askew, 1977)		Sheathed Coated Encapsulated
Barrel and wedge anchor on strand (Mathews et al, 1984)	Double-acting twin anchor Single anchor	3 component 2 component
Swaged anchor on strand (Schmuck, 1979)		Square Circular
High capacity shear dowel (Mathews et al, 1986)		Steel tube Concrete
Birdcaged strand (Hutchins et al, 1990)		Antinode Node
Bulbed strand (Garford, 1990)		Antinode Node
Feruled strand (Windsor, 1990)		Antinode Node

Sumber : Windsor (1992)

Gambar 2.9 Kabel Batuan

Gambar tersebut mengorganisasi informasi menjadi tiga kolom utama untuk membandingkan karakteristik setiap jenis tendon/kabel Kabel Batuan (*Stone Cable/Rock Cable*) (Gambar 2.11)

2. Penyangga Pasif (*Passive Support*)

Penyangga pasif adalah sistem yang hanya akan memberikan gaya penahanan setelah batuan mulai bergerak dan bersentuhan dengan penyangga tersebut. Penyangga pasif menahan gerakan, namun membiarkan deformasi kecil terjadi terlebih dahulu.

a. *Steel set* (rangka baja)

Merupakan struktur rangka baja yang dipasang secara periodik di sepanjang terowongan, membentuk penampang yang kokoh. *Steel set* sangat efektif pada batuan yang sangat lemah (*squeezing ground*) atau terowongan dengan umur layanan yang sangat panjang. Penyangga ini menahan beban akibat gerakan atap dan dinding yang besar.

b. *Shotcrete* (beton semprot)

Adalah campuran semen, agregat halus, dan air yang disemprotkan dengan kecepatan tinggi ke permukaan terowongan. *Shotcrete* membentuk lapisan tipis yang kaku, berfungsi untuk mencegah pelapukan, mengikat batuan permukaan (*sealing*), dan memberikan tekanan pengekan permukaan.

c. *Lagging* (papan penutup)

Material (biasanya kayu atau panel baja) yang dipasang di belakang *steel set* dan menempel pada massa batuan. Fungsinya adalah untuk menahan batuan-batuan kecil agar tidak jatuh di antara celah-celah rangka baja.

2.3.3 Desain dan Pemilihan Sistem Penyangga

Pemilihan sistem penyangga yang tepat adalah proses teknis yang kritis dan harus didasarkan pada analisis geomekanika yang komprehensif (Pebrianto et al., 2022). Desain penyangga bertujuan untuk mencapai

kestabilan yang memadai dengan biaya serendah mungkin. Faktor-faktor utama yang memengaruhi desain penyangga meliputi:

1. Klasifikasi massa batuan

Ini adalah dasar utama. Massa batuan yang berkualitas buruk memerlukan sistem penyangga yang lebih intensif dan kaku (misalnya kombinasi *rock bolt*, *shotcrete* tebal, dan *steel set*).

2. Dimensi dan geometri terowongan

Terowongan dengan dimensi lebar memerlukan penyangga yang lebih kuat karena bentang atap yang lebih besar lebih rentan runtuh.

3. Umur layanan (*service life*)

Terowongan utama yang bersifat permanen memerlukan penyangga yang lebih tahan lama dan *low maintenance* (perawatan rendah), seringkali menggunakan *shotcrete* dan *steel set* berlapis.

4. Tekanan *in-situ*

Pada kedalaman yang sangat dalam, tegangan yang tinggi mungkin memerlukan penyangga yang mampu terdeformasi secara terkontrol (*yielding support*).

Proses desain penyangga harus menghasilkan spesifikasi yang jelas mengenai: jenis penyangga yang digunakan, spasi antar penyangga (misal: jarak antar *rock bolt*), panjang penyangga, ketebalan *shotcrete*, dan persyaratan instalasi.

2.4 Perawatan Sistem Penyangga

Sistem penyangga terowongan (*ground support*) yang telah terpasang, terutama pada tambang dalam yang beroperasi dalam jangka waktu panjang seperti di PT Bukit Asam Unit Penambangan Ombilin, harus diperlakukan sebagai aset kritis yang memerlukan manajemen perawatan terstruktur. Tanpa perawatan yang memadai, integritas struktural penyangga dapat menurun seiring waktu akibat beban dinamis, korosi, dan perlemahan massa batuan, yang berujung pada potensi kegagalan terowongan.

Perawatan (*Maintenance*) adalah serangkaian tindakan terencana yang dilakukan untuk mempertahankan atau mengembalikan kondisi sistem penyangga

pada batas kinerja yang dapat diterima, sehingga menjamin operasi yang aman dan efisien (Astika, 2013).

Pelaksanaan pemeliharaan dan pemantauan penyangga secara berkala merupakan strategi vital dalam manajemen operasional tambang bawah tanah yang bertujuan utama untuk mempertahankan fungsi keselamatan secara berkelanjutan, dengan memastikan setiap komponen penyangga tetap mampu menahan beban massa batuan yang tidak stabil serta mengendalikan laju deformasi guna memitigasi risiko kecelakaan fatal akibat runtuh (*fall of ground*) (Riza, 2019).

Langkah preventif ini berjalan beriringan dengan upaya memperpanjang umur layanan (*service life*) terowongan, di mana perlindungan terhadap elemen penyangga vital khususnya material baja seperti *rock bolt* dan *steel set* dari degradasi lingkungan ekstrem, termasuk korosi dan keausan, menjadi prioritas untuk menjaga integritas struktur dalam jangka panjang (Riza, 2019).

Kondisi penyangga yang terawat ini perusahaan dapat melakukan optimalisasi biaya operasi secara signifikan karena mampu mencegah terjadinya kegagalan geoteknik mayor yang menuntut tindakan rehabilitasi korektif yang tidak hanya berbiaya tinggi tetapi juga menghentikan produksi. Seluruh rangkaian kegiatan ini pada akhirnya menegaskan komitmen perusahaan dalam memastikan kepatuhan terhadap regulasi dan standar teknis pertambangan yang berlaku (seperti Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018), yang mewajibkan adanya monitoring ketat terhadap stabilitas struktur penopang demi terciptanya operasional tambang yang aman, efisien, dan taat hukum.

Perawatan sistem penyangga dapat dikelompokkan menjadi beberapa strategi utama, yang harus diintegrasikan dalam suatu Sistem Manajemen Perawatan Terpadu (*Integrated Maintenance Management System*).

1. Perawatan preventif (*preventive maintenance*)

Perawatan preventif adalah tindakan yang dilakukan secara terencana dan terjadwal berdasarkan waktu atau interval operasi, tanpa menunggu adanya tanda-tanda kerusakan. Tujuannya adalah mencegah kegagalan sebelum terjadi. Contoh Perawatan Preventif pada Penyangga seperti pengaplikasian pelapis anti-korosi tambahan (*protective coating*) pada *steel set* di area dengan kelembapan tinggi diperlukan pengencangan ulang

mur *rock bolt* secara periodik atau penambalan retakan kecil pada *shotcrete* sebelum retakan tersebut berkembang.

2. Perawatan korektif (*corrective maintenance*)

Perawatan korektif adalah tindakan perbaikan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kegagalan, kerusakan, atau kondisi abnormal pada sistem penyangga. Aplikasi pada penyangga seperti Pemasangan penyangga tambahan (*re-support*) pada segmen terowongan yang mengalami deformasi melebihi batas toleransi, penggantian *steel set* yang bengkok atau injeksi semen (*grouting*) pada area di belakang *shotcrete* yang retak besar atau mengalami kebocoran air.

3. Perawatan prediktif (*predictive maintenance*)

Perawatan prediktif adalah strategi modern yang didasarkan pada pemantauan kondisi aktual penyangga secara terus-menerus. Keputusan perawatan diambil berdasarkan analisis tren data pengukuran, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan tepat sebelum kegagalan diprediksi terjadi. Pengaplikasian perawatan prediktif pada penyangga adalah tindakan perawatan yang dipicu ketika hasil pemantauan deformasi (misalnya dari ekstensometer atau survei konvergensi) menunjukkan laju pergerakan batuan yang melampaui ambang batas peringatan, bukan hanya berdasarkan waktu.

Perawatan, baik preventif maupun prediktif, tidak dapat berjalan tanpa adanya program inspeksi dan pemantauan yang ketat. Program ini bertujuan untuk mendeteksi tanda-tanda awal kegagalan massa batuan atau kerusakan pada penyangga itu sendiri. Diperlukan beberapa kegiatan yang meliputi:

1. Inspeksi visual harian

Dilakukan oleh operator atau supervisor tambang untuk mengidentifikasi kerusakan yang jelas, seperti retakan baru pada *shotcrete*, air yang mengalir deras, atau *steel set* yang mulai melengkung.

2. Pemantauan deformasi (konvergensi)

Mengukur pergerakan relatif dinding dan atap terowongan menggunakan instrumen seperti *tape extensometer* atau perangkat survei. Data laju konvergensi adalah indikator kritis stabilitas jangka panjang. Rumus dan

parameter yang digunakan untuk pemantauan konvergensi adalah untuk mengetahui kondisi aktual yaitu:

Rumus penurunan atap :

$$\Delta h = h_{\text{awal}} - h_{\text{akhir}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

Δh = Besar penurunan atap

h_{awal} = tinggi bukaan awal

h_{akhir} = tinggi bukaan akhir

Rumus Penyempitan dinding :

$$\Delta W = W_{\text{awal}} - W_{\text{akhir}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

W_{awal} = Lebar bukaan awal

W_{akhir} = lebar bukaan akhir

ΔW = besar penyempitan dinding

3. Pemantauan beban penyangga

Mengukur tegangan yang bekerja pada komponen penyangga, misalnya menggunakan *load cell* pada *rock bolt* atau *steel set*. Peningkatan beban menunjukkan bahwa batuan di sekitarnya sedang aktif bergerak dan berpotensi mencapai kapasitas batas penyangga.

Data dari program inspeksi dan pemantauan ini menjadi input utama dalam analisis perawatan. Dengan membandingkan kondisi penyangga saat ini dengan kriteria desain awal, manajemen dapat menentukan apakah penyangga yang terpasang masih efektif, memerlukan perbaikan korektif segera, atau perlu digantikan dengan sistem yang lebih kuat.

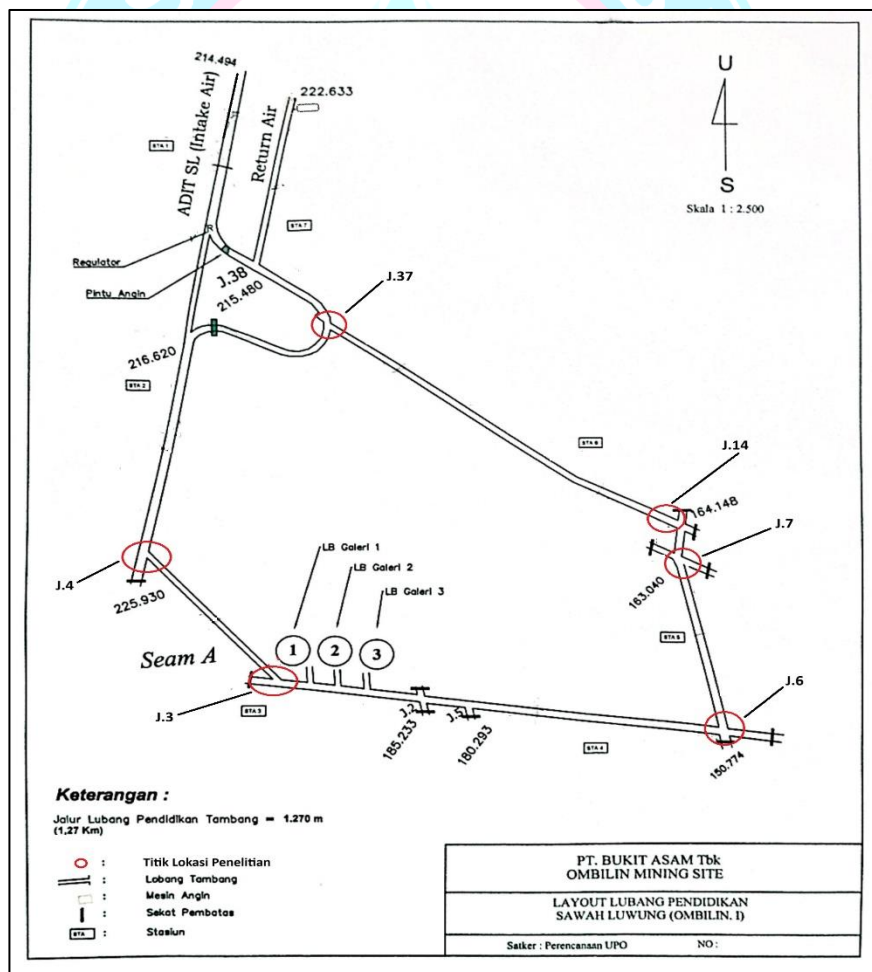
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan secara spesifik pada jaringan terowongan bawah tanah Lubang Pendidikan Sawah Luwung, yang dikelola secara teknis oleh PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin (UPO), Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Deskripsi lokasi penelitian ini didasarkan pada visualisasi teknis dengan skala garis sebesar 1:2.500 (Gambar 3.1).



Sumber : Perusahaan (2026)

Gambar 3.1 Peta Layout Lubang Pendidikan Sawah Luwung

Terowongan Sawah Luwung memiliki total panjang bukaan 1.270 m (1,27 km) yang membentuk sistem sirkulasi tertutup. Akses udara bersih dimulai dari ADIT SL (*Intake*) pada elevasi +214,494 mdpl, sedangkan pembuangan udara kotor mengalir melalui jalur Return Air pada elevasi +222,633 mdpl.

Di dalam terowongan ini terdapat sisa infrastruktur penambangan batubara historis pada lapisan Seam A yang meliputi tiga galeri buntu, yaitu LB Galeri 1, 2, dan 3. Meskipun operasional produksi batubara telah dihentikan sepenuhnya sejak penetapan kawasan ini sebagai Situs Warisan Dunia UNESCO pada tahun 2019, stabilitas bukaan terowongan tetap harus dipertahankan secara berkelanjutan untuk kebutuhan edukasi dan riset geoteknik.

Pengamatan visual dan pengukuran deformasi aktual difokuskan pada tiga stasiun dengan karakteristik geoteknik yang berbeda:

1. Stasiun J4 – J3

Terletak di antara titik J.4 (+225,930) hingga pertigaan J.3. Segmen ini berondisi kering (*dry*) dan disangga oleh baja profil I (*I-Beam*) dengan penampang trapesium/segi empat.

2. Stasiun J6 – J7

Menghubungkan titik J.6 (+150,774) ke pertigaan J.7 (+163,040). Area ini berupa cekungan yang mengakumulasikan genangan air tanah, ditopang oleh baja busur (*Steel Archis*) dan kayu penutup (*lagging*).

3. Stasiun J14 – J37

Jalur tanjakan miring (*incline*) dari titik J.14 (+164,148) ke J.37 (+215,480). Area ini mengalami rembesan air (*seepage*) aktif dari atap terowongan yang membasahi penyangga *Steel Archis* dan anyaman kawat (*wiremesh*).

Ketiga stasiun ini representatif untuk menganalisis pengaruh kelembapan, air, dan kemiringan terhadap laju degradasi material penyangga secara presisi.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan dari tanggal 10 Maret – 10 April 2026. Agar seluruh rangkaian kegiatan di PT Bukit Asam Tbk UPO ini dapat berjalan lancar dan terarah, penulis membagi jadwal kerja ke dalam rencana mingguan. Rincian program kerja yang akan dilakukan selama penelitian ini dapat dilihat pada matriks jadwal berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian

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

Sumber : Penulis (2026)

3.2 Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian untuk menganalisis perawatan penyangga lubang sawah luwung di PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin melalui pendekatan kuantitatif dan kualitatif dirancang secara sistematis untuk menjawab tujuan penelitian. Langkah - langkahnya sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan dengan mengunjungi langsung lokasi lubang sawah luwung untuk mengamati kondisi aktual sistem penyangga yang terpasang. Observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara visual adanya deformasi, korosi, kerusakan material penyangga (seperti baut kendur, *lagging* patah), serta kondisi lingkungan sekitar terowongan (seperti rembesan air, kondisi batuan).

2. Pengambilan data

dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian, khususnya mengenai jenis penyangga yang digunakan dan korelasinya dengan kondisi di perusahaan. Data yang diambil diklasifikasikan menjadi data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari lapangan di PT Bukit Asam Tbk UPO. Data primer yang akan diambil pada lubang sawah luwung meliputi:

- 1) Panjang lubang yang akan diamati
- 2) Ketinggian lubang yang akan diamati
- 3) Bentuk penampang lubang yang akan diamati
- 4) Material penyangga yang digunakan
- 5) Jenis penyangga yang digunakan
- 6) Dokumentasi kondisi penyangga di sepanjang lubang sawah luwung.

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari dokumen dan arsip perusahaan. Data sekunder yang akan diambil meliputi:

- 1) Peta lokasi penelitian
- 2) Peta topografi
- 3) Peta geologi
- 4) Data desain asli penyangga lubang sawah luwung
- 5) Data riwayat perawatan lubang sawah luwung
- 6) SOP perawatan penyangga lubang sawah luwung

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi akurat mengenai kondisi aktual di lapangan serta data pendukung dari perusahaan. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan survei lapangan (observasi) dan studi literatur/dokumen instansi. Berikut adalah rincian langkah dan teknik pengumpulan data berdasarkan jenis datanya:

a. Pengumpulan Data Primer Data primer merupakan data yang diambil secara langsung oleh peneliti di lokasi lubang Sawah luwung PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin. Teknik yang digunakan meliputi:

1) Observasi Lapangan (Pengamatan Visual)

- a) Mengidentifikasi kondisi fisik penyangga secara langsung untuk melihat adanya cacat, kerusakan, atau penurunan fungsi.
- b) Peneliti menelusuri sepanjang lorong lubang sawah luwung yang menjadi objek penelitian. Fokus pengamatan meliputi deteksi korosi pada *steel set* atau *rock bolt*, pelapukan pada *lagging* (papan penutup), adanya rembesan air tanah yang mempengaruhi penyangga, serta kondisi batuan di sekitar penyangga.
- c) Jenis penyangga yang terpasang, material penyangga, dan dokumentasi foto kondisi aktual kerusakan.

2) Pengukuran Geometri (Dimensi)

- a) Mendapatkan data dimensi aktual terowongan untuk dibandingkan dengan desain awal guna mendeteksi adanya deformasi (penyempitan atau penurunan atap).
- b) Menggunakan alat ukur (meteran) untuk mengukur lebar dan tinggi terowongan pada titik-titik sampel tertentu di sepanjang lubang sawah luwung.
- c) Data yang dihasilkan berupa Panjang lubang yang diamati, ketinggian lubang, dan bentuk penampang lubang.

b. Pengumpulan Data Sekunder Data sekunder diperoleh dari arsip, dokumen, dan laporan yang tersedia di Departemen Perencanaan atau Geoteknik PT Bukit Asam Tbk UPO. Teknik yang digunakan adalah studi dokumentasi.

1) Studi Dokumentasi Perusahaan

- a) Tujuan Mendapatkan dasar acuan standar (baseline) dan sejarah area penelitian.

- b) Langkah-langkah: Mengajukan permohonan data kepada pembimbing lapangan atau staf terkait untuk mengakses arsip teknis.
- c) Data yang dihasilkan berupa Peta lokasi penelitian, peta topografi, dan peta geologi untuk memahami kondisi lingkungan dan struktur batuan, Data desain asli penyangga lubang sawah luwung (spesifikasi awal) untuk dibandingkan dengan kondisi actual, Data riwayat perawatan sebelumnya dan *Standard Operating Procedure* (SOP) perawatan penyangga yang berlaku saat ini.

4. Analisis hasil

Setelah seluruh data terkumpul, tahap selanjutnya adalah analisis data. Analisis hasil data dirancang secara sistematis untuk menjawab tujuan penelitian melalui integrasi pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pada tahap awal, analisis kuantitatif dilakukan melalui perhitungan aktual tingkat kerusakan fisik (konvergensi) pada lubang sawah luwung, yang kemudian diselaraskan dengan analisis kualitatif terkait kesesuaian implementasi prosedur di lapangan terhadap Standar Operasional Prosedur (SOP). Berikut adalah tahapan analisis data yang dilakukan:

a. Reduksi dan Pengelompokan Data

Langkah pertama adalah menyeleksi data yang relevan. Pada tahap awal, analisis kuantitatif dilakukan melalui perhitungan aktual tingkat kerusakan fisik (konvergensi) pada lubang sawah luwung, yang kemudian diselaraskan dengan analisis kualitatif terkait kesesuaian implementasi prosedur di lapangan terhadap Standar Operasional Prosedur (SOP).

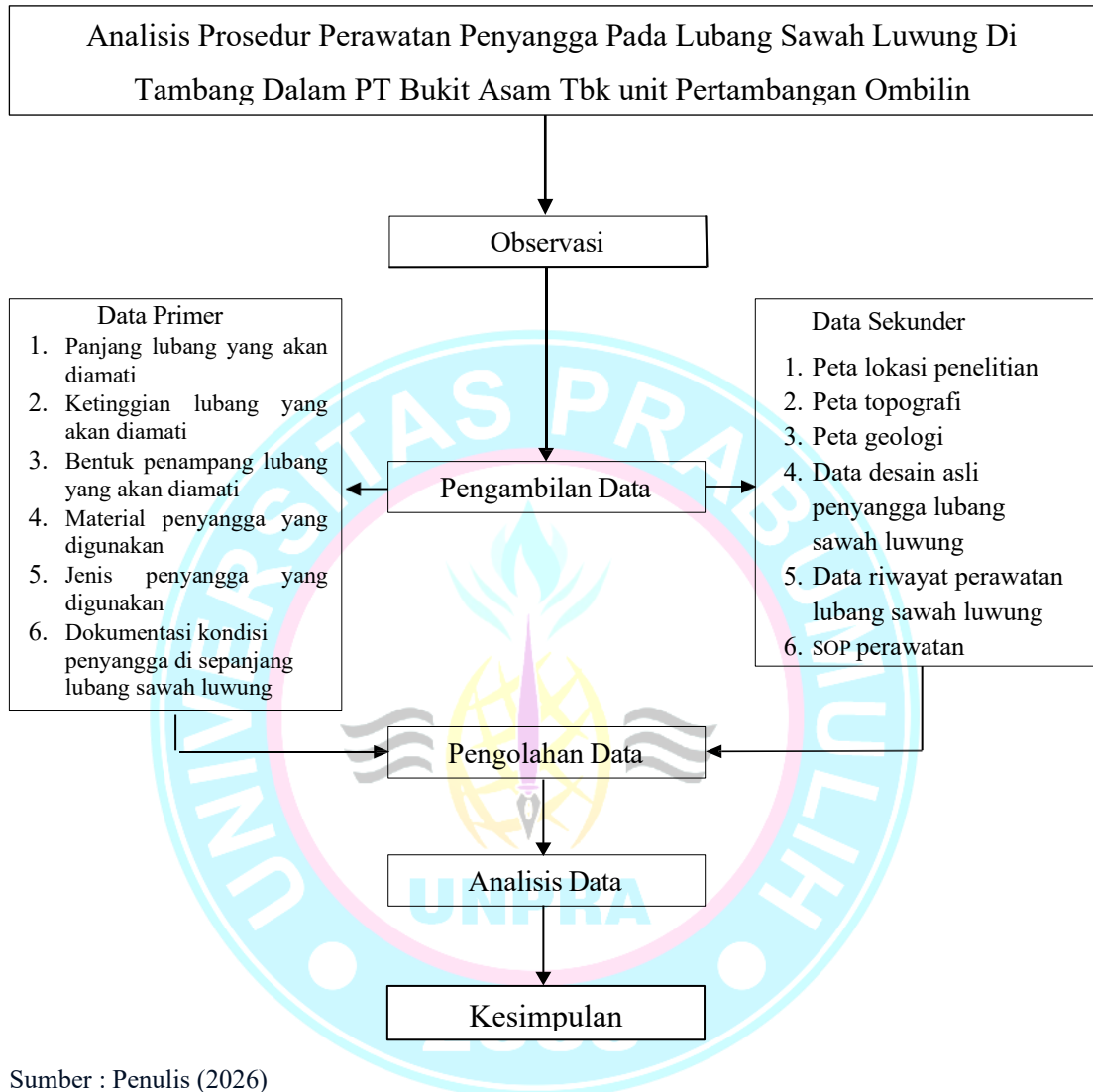
b. Analisis Komparatif (Evaluasi Geometri dan Kondisi)

- 1) Membandingkan data aktual lapangan (Data Primer) dengan data desain asli dan standar perusahaan (Data Sekunder).
- 2) Bertujuan Untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang terjadi.

- 3) Prosesnya, Membandingkan dimensi aktual (tinggi/lebar) dengan desain asli untuk melihat indikasi konvergensi (penyempitan). Serta membandingkan prosedur perawatan yang dilakukan di lapangan dengan SOP Perawatan Penyangga yang dimiliki perusahaan. Apakah frekuensi inspeksi dan metode perbaikan sudah sesuai standar atau belum.
- c. Analisis Identifikasi Faktor Kerusakan
 - 1) Menghubungkan temuan kerusakan fisik (korosi, bengkok, retak) dengan data lingkungan (air tanah, jenis batuan, umur penyangga).
 - 2) Menjawab rumusan masalah kedua mengenai faktor-faktor dominan penyebab kerusakan.
 - 3) Menganalisis hubungan sebab-akibat, misalnya apakah korosi pada *steel set* disebabkan oleh tingginya keasaman air tanah di area tersebut, atau apakah deformasi penyangga disebabkan oleh beban batuan yang melebihi kapasitas desain.
 - d. Penarikan Kesimpulan dan Rekomendasi Berdasarkan hasil analisis di atas, ditarik kesimpulan mengenai efektivitas perawatan saat ini. Selanjutnya, disusun rekomendasi teknis untuk strategi perawatan yang lebih baik (apakah perlu peningkatan ke arah *Preventive* atau *Predictive Maintenance*) guna memastikan stabilitas jangka panjang lubang sawah luwung.
5. Rekomendasi dan Kesimpulan Berdasarkan hasil analisis data, akan dirumuskan kesimpulan mengenai kondisi dan efektivitas perawatan penyangga lubang sawah luwung.

3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir dari kegiatan penelitian yang dilakukan disesuaikan dengan tahapan dari penelitian.



Sumber : Penulis (2026)

Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini menyajikan alur kerja yang sistematis, dimulai dari Observasi lapangan, diikuti oleh Pengambilan Data yang komprehensif, mencakup Data Primer dan Data Sekunder. Setelah data terkumpul, dilanjutkan dengan Pengolahan Data untuk menyiapkan informasi, kemudian dilakukan Analisis Data untuk interpretasi temuan, yang puncaknya adalah penarikan Kesimpulan sebagai jawaban atas tujuan penelitian (Gambar 3.1).

3.4 Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

3.4.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data primer dilakukan secara langsung di dalam Lubang Pendidikan Sawah Luwung melalui serangkaian observasi lapangan dan inspeksi visual yang mendalam. Penulis melakukan penelusuran menyusuri lorong sepanjang 1.270 meter tersebut dengan fokus utama pada tiga titik stasiun pengamatan kritis, yaitu J4–J3, J6–J7, dan J14–J37. Selama menyusuri stasiun-stasiun ini, penulis mengamati secara jeli setiap gejala kerusakan fisik pada tiang penyangga, seperti kemunculan karat pada permukaan baja profil I (*I-beam*) maupun baja busur (*steel archis*). Penulis juga memeriksa tingkat kelenturan atau retakan pada papan penutup kayu (*wood lagging*) serta mendeteksi ada tidaknya rembesan air tanah yang menetes dari atap terowongan atau genangan air yang mengumpul di lantai terowongan. Seluruh kondisi fisik ini dicatat secara detail dan didokumentasikan dalam bentuk foto aktual menggunakan kamera saku.

Di samping melakukan pengamatan visual, penulis juga melakukan pengukuran fisik secara langsung pada geometri terowongan menggunakan alat ukur meteran gulung baja (*steel tape*). Pengukuran ini sangat penting untuk mendeteksi ada tidaknya deformasi pada lubang bukaan tambang. Di setiap stasiun pengamatan, penulis mengukur lebar lantai terowongan dari dinding ke dinding (*span*) serta mengukur tinggi bersih terowongan dari permukaan lantai pijakan hingga ke bagian atap terdalam (*height*). Pengukuran ini dilakukan secara hati-hati untuk meminimalkan kesalahan baca dan memastikan data dimensi aktual yang diperoleh benar-benar presisi.

Guna melengkapi data fisik tersebut dengan aspek historis dan operasional, penulis melakukan wawancara semi-terstruktur bersama tim teknis di lapangan. Penulis berdiskusi langsung dengan para pengawas tambang, staf geoteknik, dan operator pemeliharaan (*maintenance*) PT Bukit Asam Tbk UPO. Wawancara ini sengaja dilakukan dengan pendekatan yang santai namun tetap fokus pada pedoman pertanyaan yang ada di Lampiran A. Melalui obrolan langsung ini, penulis berhasil menggali informasi berharga yang tidak terekam pada alat ukur, seperti sejarah pergeseran batuan di masa

lalu, kendala teknis saat melakukan perbaikan di area sempit atau becek, serta bagaimana pola pemeliharaan harian yang selama ini mereka terapkan.

Sebagai dasar acuan pembanding (*baseline data*), penulis juga mengumpulkan data sekunder melalui studi dokumentasi di kantor administrasi perusahaan. Penulis mengumpulkan dan mempelajari dokumen desain asli terowongan Sawah Luwung, peta geologi regional, peta topografi area IUP Ombilin, riwayat pemeliharaan terowongan dari tahun-tahun sebelumnya, serta dokumen Standar Operasional Prosedur (SOP) Perawatan Penyangga yang secara resmi berlaku di PTBA UPO. Data sekunder ini sangat penting untuk melihat sejauh mana terowongan telah berubah dari kondisi ideal saat pertama kali dibuat.

3.4.2 Pengolahan Data

Setelah seluruh data terkumpul dari lapangan, tahapan berikutnya adalah melakukan pengolahan data secara bertahap agar data tersebut dapat dianalisis secara logis dan runtut. Proses ini diawali dengan penyaringan dan pengelompokan data (*data cleaning*). Pada tahap ini, penulis menyeleksi data hasil pengukuran dimensi untuk memastikan tidak ada kesalahan input angka. Data hasil inspeksi visual kemudian diklasifikasikan berdasarkan lokasinya (stasiun J4–J3, J6–J7, atau J14–J37) dan dikelompokkan berdasarkan tingkat keparahan kerusakannya, mulai dari kategori kerusakan ringan, sedang, hingga rusak parah, baik untuk komponen penyangga baja maupun kayu penutupnya.

Langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan deformasi terowongan melalui analisis konvergensi. Penulis membandingkan data dimensi tinggi dan lebar terowongan hasil pengukuran aktual di lapangan dengan dimensi ideal yang tertera pada dokumen desain awal milik perusahaan. Untuk menghitung nilai penurunan atap (*roof sag*) dan penyempitan dinding terowongan (*wall narrowing*), digunakan dua persamaan matematika sederhana sebagai berikut:

Besar penurunan atap terowongan (Δh) dihitung dengan rumus:

$$\Delta h = h_{\text{awal}} - h_{\text{akhir}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Di mana Δh menyatakan besar penurunan atap terowongan, h_{awal} adalah tinggi terowongan berdasarkan desain awal, dan h_{akhir} merupakan tinggi terowongan berdasarkan pengukuran aktual di lapangan.

Sementara itu, untuk menghitung besar penyempitan dinding terowongan (ΔW) digunakan rumus:

$$\Delta W = W_{awal} - W_{akhir} \dots\dots\dots (4.1)$$

Di mana ΔW menyatakan besar penyempitan dinding terowongan, W_{awal} adalah lebar terowongan berdasarkan desain awal, dan W_{akhir} merupakan lebar terowongan berdasarkan pengukuran aktual di lapangan.

Setelah nilai deformasi diperoleh, penulis melakukan analisis komparatif fisik dan evaluasi SOP. Penulis menganalisis seberapa besar penyimpangan geometri yang terjadi di ketiga stasiun pengamatan dan menghubungkannya dengan kondisi mikroklimatologi setempat, seperti pengaruh tingkat kelembapan udara atau keberadaan genangan air. Pada saat yang sama, penulis membandingkan jalannya aktivitas pemeliharaan penyangga di lapangan dengan dokumen SOP Perawatan Penyangga (Lampiran B) untuk menilai sejauh mana efektivitas kerja tim perawatan di PTBA UPO, serta mengidentifikasi apakah program pemeliharaan mereka masih bersifat reaktif (*corrective*) atau sudah mengarah ke pencegahan (*preventive*).

Pada tahap akhir pengolahan data, penulis merumuskan rekomendasi teknis yang aplikatif. Rekomendasi ini disusun dengan mempertimbangkan kendala operasional yang dihadapi pekerja di lapangan, seperti keterbatasan ruang gerak di dalam terowongan miring atau basah. Dengan memadukan seluruh hasil pengolahan data ini, penulis dapat menyusun usulan strategi pemeliharaan yang paling aman, efektif, dan efisien demi menjaga stabilitas jangka panjang Lubang Sawah Luwung sebagai kawasan cagar budaya dan edukasi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosedur Perawatan Penyangga Saat Ini (*Existing Support Procedure*)

Berdasarkan analisis silang antara temuan lapangan dan wawancara dengan tim perawatan geoteknik PT Bukit Asam Tbk UPO, ditemukan bahwa *Standard Operating Procedure* (SOP) perawatan yang berjalan saat ini masih cenderung bersifat reaktif (*Corrective Maintenance*).

Metode inspeksi masih bertumpu pada pengamatan visual harian/mingguan tanpa penggunaan instrumen *predictive* mutakhir (seperti pembacaan ekstensometer secara *real-time*). Tindakan teknis berskala besar seperti penggantian baja profil atau *archis* secara utuh baru diinisiasi ketika ditemukan indikasi tekukan (*buckling*) yang melewati batas kritis toleransi ruang bebas, kayu *lagging* yang sudah jatuh menutupi akses, atau tingkat korosi yang telah mengeliminasi separuh dimensi penampang penyangga.

Sistem penyangga utama yang diaplikasikan pada lubang sawah luwung adalah kombinasi penyangga pasif berupa baja struktural (baik profil I maupun *arch*/busur) yang diintegrasikan dengan *lagging* kayu sebagai penahan material lepas (lapisan antar penyangga), serta penggunaan sistem *wiremesh*. Berdasarkan observasi dan pengukuran lapangan, ditemukan variasi degradasi yang sangat dipengaruhi oleh kondisi mikroklimatologi di masing-masing titik.

Berikut adalah penjabaran akademis secara rinci mengenai kondisi penyangga pada titik-titik penelitian:

4.1.1 Analisis Kondisi aktual Penyangga pada Titik J4 – J3 (Baja Profil I / *I-Beam*)

Karakteristik Lingkungan dan Penampang pada lorong antara titik J4 menuju J3 berada pada area yang secara hidrologis tergolong kering. Bentuk penampang terowongan di area ini menggunakan desain menyerupai segi empat atau trapesium yang ditopang menggunakan baja struktural berbentuk huruf I (*I-Beam* atau *H-Beam*). Profil I dipilih pada area ini karena kemampuannya menahan beban kompresi vertikal langsung yang kuat dari batuan atap yang relatif datar.

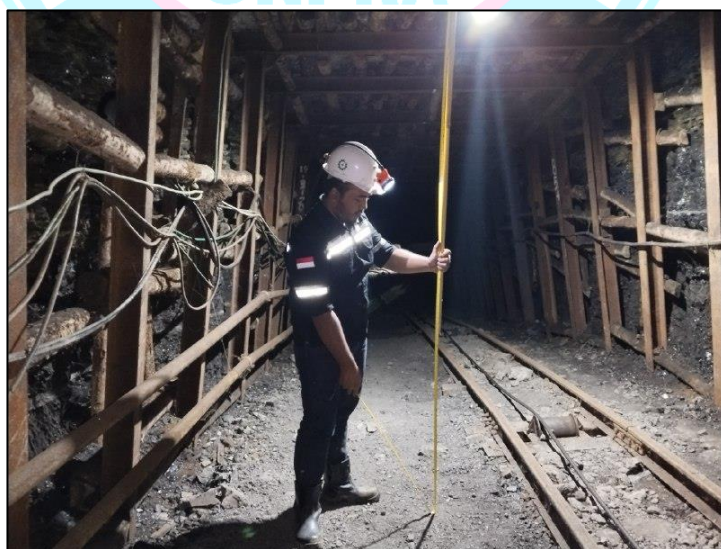
Berdasarkan data pengukuran dimensi pada interval jarak per 10 meter, terowongan ini memiliki target desain tinggi 2,8 meter dan lebar 3,2 meter (bagian bawah).

Tabel. 4.1 Hasil Pengukuran Aktual Penyangga I Beam J3-J4

No	Desain Penyangga	Tinggi Awal	Tinggi Aktual	Lebar Awal	Lebar Aktual
1	I Beam J4	2,8 m	2,72 m	3,2 m	3,14 m
2	I Beam J3	2,8 m	2,78 m	3,2 m	3,18 m

Sumber : Penulis (2026)

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran aktual adanya deformasi minor namun masih dalam batas aman. Lebar bawah aktual berada pada rentang 3,14 m hingga 3,18 m (terjadi penyempitan atau konvergensi dinding sekitar 2-6 cm). Sementara itu, tinggi aktual berada di kisaran 2,72 m adalah hasil pengukuran paling rendah di sepanjang titik pengukuran antara J4-J3 sementara tinggi aktual 2,78 m adalah hasil pengukuran paling tinggi yang ada di titik pengukuran antara J4-J3, yang mengindikasikan adanya penurunan atap (*roof sag*) atau pengangkatan lantai (*floor heave*) sekitar 2-8 cm dari desain awal.



Sumber : Penulis (2026)

Gambar 4.2 Kondisi Aktual Penyangga Pada Titik J4 – J3

Karena lingkungan yang kering, proses oksidasi berjalan sangat lambat dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Data inspeksi visual menunjukkan bahwa Penyangga Baja (*I-Beam*) Berada dalam kondisi Baik. Tidak ditemukan deformasi melengkung (tekukan/*buckling*) yang ekstrem, dan kondisi sambungan serta baut pengikat masih sangat kokoh. Tingkat korosi berada pada level Sedang, yang berarti hanya berupa karat permukaan (*surface rust*) yang belum merusak ketebalan penampang baja.

Karena kondisi kering di titik ini memberikan keuntungan besar bagi pengawetan alami struktur kayu penyangga. Kondisi kayu secara umum dinilai Sedang. Pelapukan dan retakan yang terjadi murni akibat usia (pelapukan kering), bukan akibat serangan jamur agresif atau pembusukan oleh air.

Secara mekanika batuan, penyangga *I-Beam* pada zona kering ini bekerja sangat efektif. Stabilitas struktur dan kelayakan fungsi penyangga dinilai Baik. Area ini dapat menjadi *benchmark* (tolok ukur) bahwa ketiadaan air tanah sangat memperpanjang umur teknis penyangga tambang.

4.1.2 Analisis Kondisi Penyangga pada Titik J6 – J7 (Baja *Archis* dan Genangan Air)

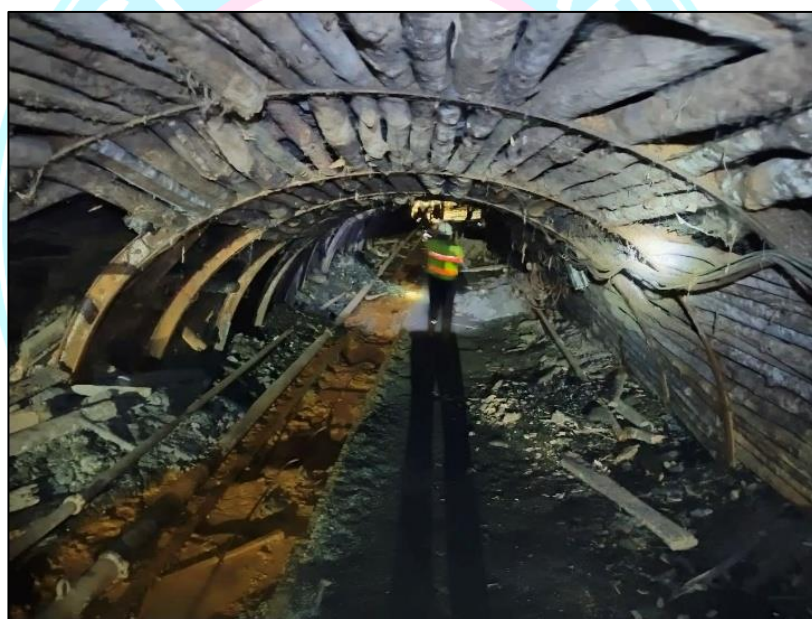
Karakteristik Lingkungan dan Penampang Berbeda kontras dengan J4-J3, zona J6 – J7 adalah titik kritis secara hidrologis. Area ini memiliki tingkat kelembapan udara yang sangat tinggi dan diperparah dengan adanya akumulasi genangan air yang membanjiri lantai lubang tambang secara masif. Bentuk penampang yang digunakan adalah *Archis* (busur atau setengah lingkaran/tapal kuda). Bentuk *arch* secara teoritis paling ideal untuk mendistribusikan beban tegangan *in-situ* dari batuan samping dan atap yang lemah.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Aktual Penyangga Archis J6-J7

No	Desain Penyangga	Tinggi Awal	Tinggi Aktual	Lebar Awal	Lebar Akhir
1	Archis J6	2,8 m	2,25 m	4,4 m	3,81 m
2	Archis J7	2,8 m	2,54 m	4,4 m	3,78 m

Sumber : Penulis (2026)

Dampak dari kondisi air yang ekstrem terlihat pada hasil pengukuran geometri. Terowongan dengan target desain tinggi 2,8 m dan lebar 4,4 m ini mengalami deformasi vertikal yang sangat signifikan. 2,54 m merupakan titik tertinggi di lokasi penelitian antar J6 dan J7, sementara 2,25 adalah titik ketinggian paling rendah yang ada di jalur J6 dan J7



Sumber : Penulis (2026)

Gambar 4.2 Kondisi Aktual Penyangga J6 – J7

Pengukuran tinggi aktual hanya mencatatkan angka antara 2,25 m hingga 2,54 m. Terjadi penurunan *clearance* ruang vertikal hingga 55 cm. Konvergensi ekstrem ini kemungkinan besar diakibatkan oleh melemahnya daya dukung lantai terowongan akibat genangan air yang terus-menerus, sehingga kaki-kaki baja *archis* perlahan ambles (*subsidence* pada *footing*)

atau terjadinya fenomena *floor heaving* akibat mineral lempung yang mengembang (*swelling clay*) saat jenuh air.

Data inspeksi visual menunjukkan bahwa kelembapan tinggi dan paparan air tanah menyebabkan kayu penyangga di area ini mengalami degradasi yang sangat cepat. Penilaian indikator kondisi fisik umum, tingkat pelapukan, dan kondisi akibat kelembapan seluruhnya dikategorikan Rusak. Serat kayu telah kehilangan kekuatan strukturalnya, membusuk, dan tidak lagi mampu mendistribusikan beban batuan lepas ke baja *archis*.

Baja penyangga *archis* cukup rentan terhadap air, terutama air tambang yang seringkali bersifat asam (*Acid Mine Drainage*). Kondisi korosi baja dinilai Sedang, namun yang perlu diwaspadai adalah hilangnya fungsi kayu yang membuat beban batuan kini membebani penyangga baja secara langsung dan asimetris (titik beban terpusat).

Stabilitas struktur di titik ini turun menjadi kategori Sedang. Kegagalan material penahan sekunder (kayu) akibat air berpotensi memicu batuan lepas (*ravelling*) yang dapat mengganggu aksesibilitas. Genangan air menjadi faktor perusak utama yang mematikan fungsi penyangga secara sistematis.

4.1.3 Analisis Kondisi Penyangga pada Titik J14 – J37 (Baja *Archis* pada Area Tanjakan)

Titik pengamatan J14 menuju J37 memiliki topografi berupa area tanjakan (*incline*). Sama seperti J6-J7, profil penyangga yang digunakan adalah *Archis* dengan target lebar 4,4 m dan tinggi 2,8 m. Karakteristik paling menonjol pada zona ini adalah tingginya kelembapan yang dipicu oleh rembesan air tanah (*groundwater seepage*) yang menetes langsung secara terus-menerus dari bagian atas (atap) penyangga.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Aktual Penyangga *Archis* J14-J37

No	Desain Penyangga	Tinggi Awal	Tinggi Aktual	Lebar Awal	Lebar Akhir
1	Archis J14	2,8 m	2,78 m	4,4 m	4,32 m
2	Archis J37	2,8 m	2,70 m	4,4 m	4,35 m

Sumber : Penulis (2026)

Dari segi dimensi, konvergensi di area tanjakan ini relatif lebih terkendali dibandingkan area genangan J6-J7. Tinggi aktual berada di rentang 2,70 m hingga 2,78 m (penyimpangan minor 2-10 cm dari desain awal), dan lebarnya di angka 4,32 m hingga 4,35 m. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan, beban massa batuan masih mampu ditahan oleh struktur baja *archis*, tanpa terjadi amblesan fondasi yang parah karena posisi tanjakan memungkinkan air untuk mengalir turun dan tidak menggenang di titik ini.

Meskipun secara dimensi lebih stabil, rembesan air dari atap menciptakan masalah integritas material yang paling kompleks di antara semua titik.



Sumber : Penulis (2026)

Gambar 4.3 Kondisi Aktual Pada Titik J14 – J37

Kayu *Lagging* yang ada pada J14 – J37 ini terdapat rembesan air dari atap secara konstan membasahi kayu *lagging*. Akibatnya, kondisi fisik umum, tingkat pelapukan, retak/pecah, dan kerusakan akibat kelembaban dinilai Rusak. Kayu bertindak seperti spons yang menahan air limbah tambang, mempercepat pembusukan secara eksponensial.

Interaksi antara air rembesan, kayu yang membusuk basah, dan oksigen menciptakan lingkungan oksidasi yang sangat korosif bagi baja penyangga.

Form data lapangan mencatat bahwa deformasi (melengkung/geser) pada struktur baja mulai terjadi dan dikategorikan Sedang, dengan tingkat korosi juga berada pada level Sedang. Tekanan batuan yang dikombinasikan dengan melemahnya kekuatan luluh (*yield strength*) baja akibat korosi yang terus menggerus ketebalan penampang, menyebabkan deformasi perlahan pada *archis*.

Titik J14-J37 Area ini merepresentasikan kondisi di mana pelapukan material penyangga terjadi dari atas ke bawah. Kelayakan fungsi penyangga dan stabilitas struktur dikategorikan Sedang. Jika rembesan air atap tidak ditangani misalnya dengan meyisipkan *waiststrap* pada lapisan atas kayu lagging, korosi akan berlanjut ke tahap *severe* (parah) yang dapat mematahkan struktur *archis* akibat beban lengkung.

4.2 Identifikasi Faktor Penyebab Degradasi Penyangga

Berdasarkan sintesis data dari ketiga titik pengamatan, dapat dipastikan bahwa degradasi pada material penyangga di lubang sawah luwung tidak disebabkan oleh fenomena tekanan geologi ekstrem (karena tambang tidak lagi menambang/melakukan peledakan), melainkan didominasi oleh faktor-faktor berikut:

1. Faktor Lingkungan (Kelembapan dan Korosi)

Ini adalah faktor perusak paling dominan. Tingginya tingkat kelembapan udara di dalam terowongan bawah tanah, dikombinasikan dengan rembesan air tanah (terutama di area J14-J37) dan genangan (di area J6-J7), memicu proses oksidasi. Air tanah di area bekas tambang batubara seringkali membawa sifat asam (*Acid Mine Drainage* - AMD) yang melipatgandakan kecepatan korosi pada penyangga baja dan menghancurkan selulosa pada *lagging* kayu.

Infiltrasi *runoff*

2. Kondisi Hidrologi dan Genangan

Tata air (hidrologi) bawah tanah yang buruk terbukti menurunkan dimensi lubang bukaan (seperti pada J6-J7). Air yang menggenang melemahkan kekuatan alas (lantai) pijakan penyangga, menyebabkan *subsidence* lokal

pada *steel set*. Selain itu, air yang menetes dari atap membawa material pelumpuran yang menumpuk pada *wiremesh*, menambah beban mati (*dead load*) hidrostatik pada sistem penyangga.

3. Pengaruh Usia Bukaan (Faktor Waktu)

Mengingat lubang sawah luwung merupakan bukaan tambang peninggalan lama, massa batuan di sekitarnya mengalami relaksasi jangka panjang. Fenomena deformasi merayap (*rock creep*) secara perlahan memberikan tekanan konstan pada penyangga baja, yang memicu munculnya indikasi deformasi (*bending*) ringan, terutama pada baja yang penampangannya sudah menipis akibat korosi.

Peledakan terowongan, kenapa usia

4.2.1 Analisis Efektivitas Prosedur Perawatan

Pendekatan *Corrective Maintenance* yang diterapkan saat ini terbukti masih mampu mempertahankan fungsi utama terowongan: mencegah terjadinya keruntuhan atap masif (*major roof collapse*). Secara teknis, terowongan masih aman dilalui. Namun, dari perspektif keberlanjutan ekonomi aset dan efisiensi tenaga kerja jangka panjang, strategi reaktif ini tidak optimal.

Membiarkan pelapukan kayu dan korosi baja berlanjut hingga rusak berarti perusahaan harus mengeluarkan biaya perbaikan yang sangat besar (biaya material baja baru, tenaga kerja khusus, logistik rumit) ketika kerusakan terjadi. Pergeseran paradigma perawatan menuju *Preventive Maintenance* adalah sebuah keharusan. Tindakan sederhana seperti melumasi sambungan baut, menyemprotkan lapisan *anti-rust/epoxy* pada baja yang terindikasi awal korosi di zona kering (seperti di J4-J3), dan membersihkan lumpur di atas *wiremesh* akan secara drastis memperpanjang *service life* (umur layanan) penyangga yang ada saat ini.

4.2.2 Pengaruh Beban Operasional dan Aktivitas Wisata

Dahulu, lubang sawah luwung menerima tekanan dinamis dari getaran operasional alat berat (seperti LHD) dan *stress redistribution* akibat ekstraksi batubara di *Seam A*. Saat ini, fungsi terowongan telah beralih sepenuhnya menjadi jalur edukasi dan wisata.

Hasil observasi menyimpulkan bahwa aktivitas lalu-lalang manusia (pekerja dan peserta diklat) tidak memberikan tegangan dinamis maupun statis yang berarti terhadap struktur geomekanika batuan maupun penyangga. Kerusakan material penyangga murni diakibatkan oleh interaksi fluida (air-udara) dan degradasi material karena waktu. Oleh sebab itu, tidak ada urgensi untuk melakukan penebalan dimensi penyangga atau modifikasi desain struktural yang lebih masif. Fokus perbaikan murni berada pada aspek metalurgi (pencegahan karat) dan perbaikan kualitas kayu.

4.2.3 Evaluasi Kendala Operasional di Lapangan

Kendala operasional menunjukkan bahwa kelambatan perawatan penyangga di Lubang Sawah Luwung bukan disebabkan oleh kurangnya kompetensi pekerja, melainkan akibat tantangan fisik terowongan tua yang sangat ekstrem. Para pekerja harus berhadapan langsung dengan ruang gerak yang sangat sempit pada area yang mengalami deformasi, tantangan logistik pemindahan material berat secara manual sepanjang lebih dari satu kilometer, serta kondisi lingkungan bawah tanah yang basah, gelap, dan memiliki kelembapan udara yang sangat tinggi.

Selain faktor fisik tersebut, ketatnya penerapan prosedur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) serta keterbatasan stok material kayu pelindung (lagging) berkualitas tinggi turut memperpanjang durasi pemeliharaan di lapangan. Oleh karena itu, sintesis evaluasi ini menekankan pentingnya transisi ke pendekatan yang lebih humanis melalui penyediaan alat bantu mekanis portabel, perbaikan sistem parit drainase untuk meminimalkan genangan air, dan penyediaan ruang istirahat yang layak guna menjaga kesehatan serta produktivitas pekerja di kedalaman tambang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil observasi lapangan serta analisis mendalam mengenai kondisi dan perawatan sistem penyangga pada lubang sawah luwung di tambang dalam PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin yang telah dijabarkan pada Bab IV, dapat ditarik beberapa kesimpulan

1. Prosedur perawatan dan metode inspeksi yang saat ini diimplementasikan oleh pihak manajemen sudah mampu menjaga stabilitas terowongan secara umum sehingga tidak terjadi keruntuhan fatal. Namun, metode perawatan masih didominasi oleh pendekatan reaktif (*Corrective Maintenance*), di mana penggantian material penyangga baru dilakukan ketika kerusakan (korosi parah, kayu patah, baja melengkung) sudah mencapai batas toleransi maksimal. Inspeksi masih bertumpu kuat pada pengamatan visual.
2. Faktor utama penyebab kerusakan penyangga di lubang sawah luwung bukanlah beban akibat aktivitas operasional manusia atau wisata, melainkan faktor Lingkungan dan Hidrologi. Adanya rembesan air tanah secara terus-menerus (seperti pada tanjakan J14-J37) dan genangan air (seperti pada J6-J7), dikombinasikan dengan kelembapan udara tambang bawah tanah yang tinggi, menjadi katalis utama terjadinya korosi masif pada struktur penyangga baja dan pembusukan yang sangat cepat pada lapisan penahan kayu (*lagging*). Hal ini berbanding terbalik dengan kondisi penyangga di zona kering (J4-J3) yang cenderung awet.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil kesimpulan yang diperoleh dari evaluasi lapangan, adapun saran-saran teknis dan strategis yang direkomendasikan untuk peningkatan sistem perawatan di lubang sawah luwung Adalah

1. Pihak manajemen disarankan untuk menginisiasi jadwal pelapisan anti-korosi pelindung (seperti *epoxy* tahan asam atau pengecatan ulang) pada

baja *I-Beam* maupun *Archis* yang saat ini tingkat korosinya masih dalam kategori ringan atau sedang. Langkah pencegahan ini jauh lebih ekonomis dibandingkan harus memobilisasi dan memasang penyangga baja baru.

2. Mengingat air adalah agen perusak utama struktur penyangga di tambang ini, diperlukan revitalisasi sistem paritan (drainase) lantai terowongan, khususnya pada zona cekungan J6-J7. Selain itu, diupayakan pembuatan saluran penangkap rembesan (*gutter*) di bagian atap pada area tanjakan J14-J37 agar air asam tidak menetes langsung menembus kayu dan baja penyangga.
3. Pada saat perawatan korektif harus dilakukan, disarankan untuk mengganti kayu *lagging* yang rawan membusuk dengan *wiremesh* berlapis galvanis tebal atau material komposit polimer khusus tambang pada zona-zona yang telah dipetakan memiliki intensitas paparan air tanah yang sangat tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, A., Pramusandi, S., & ... (2015). Analisis Penanganan Longsor Pada Diversion Tunnel Waduk Jatigede, Sumedang Jawa Barat. *Seminar Nasional Teknik*
- Astika, H. (2013). Aplikasi Sistem Monitoring Terpadu pada Tambang Batubara Bawah Tanah. *Jurnal M&E*, 11(3): 63-72.
- Danuartha, M. S. H., & Widiyanto, H. (2022). Analisis Kekuatan Massa Batuan dan Stabilitas Lereng Intake Bendungan Bener Berdasarkan Metode Empiris, Analitis, dan Numerik. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(1), 16-25.
- Ginting, A., Purba, A., & Sjadat, A. (2017). Inovasi Sistem Penyanggaan Di Tambang Bawah Tanah Dmlz Pt. Freeport Indonesia. *Simposium II UNIID 2017*, 2(1): 429-435.
- Isnaini, F. (2015). Evaluasi Sistem Penyanggaan Berdasarkan Q-System Pada Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah Cibitung Pt. Cibaliung. UPN Veteran Yogyakarta.
- Juenda, P. P., Harnani, H., & Setiawan, B. (2022). Identifikasi Peningkatan Strength Factor Dengan Metode Q-System Pada Terowongan Tambang Bawah Tanah Daerah Perambahan, Kota Sawahlunto, Sumatera, *MINERAL*, 7(2): 29-36.
- Koesnaryo, S., Vera, T. V., Arindry, A. P. P., & . (2022). Tinjauan Aspek Kerekayasaan Pada Rancangan Terowongan Untuk Sipil dan Tambang. *Jurnal Teknologi*, 8(1): 48-55.
- Murad, M. S., & Ningsih, I. S. (2018). Analisis Kuat Tekan Terhadap Waktu Stand-up C1-g Pertambangan Bawah Tanah PT. Nal Sawahlunto Sumatera Barat. *Jurnal Sains*, 18(1): 1-8.
- Panjaitan, E. M. M. (2017). Evaluasi sistem ventilasi untuk lubang pendidikan tambang bawah tanah Sawahluwung di PT Bukit Asam (persero), Tbk. Unit Pertambangan Ombilin. *SKRIPSI-2017*.
- Pebrianto, R., Ibrahim, E., Sutriyono, E., & . (2022). Sistem Penyanggan Berdasarkan Rock Mass Rating (Rmr) Dan Slake Durability Tests Batuan Pada Tambang Batubara Bawah Tanah. *of Engineering and*, 14(1): 72-80.
- Pribadi, R. S., & Hariyadi, S. (2015). Kajian Geologi Teknik Pada Rencana Pembuatan Tunnel Tambang Bawah Tanah. *Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*, 1(17): 57-66.
- Purwanto, P. (2020). Peningkatan Kestabilan Pilar Tambang Bawah Tanah Marmer di PT Gunung Marmer Raya. *JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan Untuk*, 3(1): 27-38.
- Putri, R. H. K., Pradani, D., Tobing, R., & ... (2019). Kajian Geoteknik Tambang Bawah Tanah Batubara Metode Longwall. 1(1): 15-21.

- Rahim, A., & Putri, N. S. (2023). Analisis Geoteknik Penyanggah Batuan Development Biggosan Tambang Bawah Tanah PT. Freeport Indonesia, Kabupaten Mimika, Papua Tengah. *Jurnal Sosial Dan Teknologi Terapan*, 2(2): 1-8.
- Riza, I. (2019). Geologi dan analisis klasifikasi masa batuan untuk penentuan penyanggan awal terowongan Kebasen dengan merode RMR dan Q-syatem, Kabupaten. *SKRIPSI-2018*.
- Said, M., Adnyano, A., Putra, B. P., & ... (2020). Analisis Teknis Penggunaan Shotcrete Pada Tambang Bawah Tanah Grasberg Block Cave (GBC) di PT. Freeport Indonesia Provinsi Papua. *Prosiding TPT XXIX*, 619-628.



LAMPIRAN A

PEDOMAN WAWANCARA

Judul Penelitian : Analisis Prosedur Perawatan Penyangga pada lubang sawah
luwung di Tambang Dalam PT Bukit Asam Tbk Unit
Penambangan Ombilin

Peneliti : Iman Akbar

Target Narasumber : Pengawas Tambang / Tim Geoteknik / Tim Perawatan
(*Maintenance*)

1. Tujuan Wawancara

Wawancara ini bertujuan untuk mendapatkan data kualitatif mengenai implementasi prosedur perawatan penyangga, metode inspeksi yang dijalankan, serta faktor-faktor teknis maupun non-teknis yang mempengaruhi kondisi penyangga di lubang sawah luwung, guna melengkapi analisis data sekunder dan observasi lapangan.

2. Daftar Pertanyaan

a. Validasi standar operasional prosedur (sop)

"Bisa Bapak jelaskan secara garis besar, bagaimana alur atau standar operasional prosedur (SOP) perawatan penyangga yang saat ini diberlakukan di lubang sawah luwung? Apakah terdapat perbedaan perlakuan antara lubang sawah luwung dengan terowongan lain mengingat fungsinya saat ini sebagai sarana edukasi/diklat?"

b. Metode inspeksi (visual vs instrumental)

"Metode inspeksi apa yang menjadi prioritas utama tim Bapak saat memantau kondisi penyangga? Apakah inspeksi tersebut masih didominasi oleh pengamatan visual, atau sudah dikombinasikan secara rutin dengan instrumen pemantauan deformasi (seperti *convergence meter* atau *extensometer*)?"

c. Frekuensi dan jadwal perawatan

"Bagaimana pengaturan jadwal pemeliharaan (*maintenance schedule*) yang diterapkan saat ini? Apakah kegiatan perawatan lebih bersifat preventif

(berkala/terjadwal) atau korektif (menunggu adanya laporan kerusakan/insiden)?"

d. Tindak lanjut temuan inspeksi

"Ketika tim inspeksi menemukan indikasi awal kerusakan, seperti baut batuan (*rock bolt*) yang kendor atau *steel set* yang mulai bengkok, bagaimana prosedur pengambilan keputusannya? Berapa lama *response time* rata-rata dari pelaporan hingga eksekusi perbaikan dilakukan?"

e. Identifikasi faktor kerusakan utama

"Berdasarkan pengalaman Bapak selama mengawasi area lubang sawah luwung, apa faktor yang paling dominan menyebabkan penurunan fungsi penyangga? Apakah lebih disebabkan oleh faktor geologi (tekanan batuan/struktur geologi) atau faktor lingkungan (seperti korosi akibat air asam tambang/kelembapan)?"

f. Kondisi hidrologi dan pengaruh air tanah

"Mengingat ini adalah tambang dalam, bagaimana pengaruh rembesan air tanah terhadap material penyangga yang digunakan (khususnya *steel set* atau *wiremesh*)? Seberapa sering ditemukan kasus korosi yang signifikan yang mengharuskan penggantian material secara total?"

g. Dampak usia terowongan

"Mengingat lubang sawah luwung merupakan bukaan lama, apakah Bapak mengamati adanya fenomena deformasi batuan karena pengaruh waktu? Bagaimana strategi tim perawatan dalam menghadapi degradasi alami akibat usia penyangga ini?"

h. Pengaruh aktivitas manusia (beban operasional)

"Meskipun tidak ada lagi aktivitas produksi batubara, lubang sawah luwung digunakan sebagai laboratorium alam dan wisata. Apakah aktivitas kunjungan atau pelatihan memberikan dampak beban tertentu terhadap stabilitas penyangga, ataukah pengaruhnya relatif dapat diabaikan?"

i. Kendala operasional di lapangan

"Apa saja kendala atau hambatan utama yang sering dihadapi tim perawatan di lapangan? (Misalnya: keterbatasan alat, aksesibilitas lokasi yang sulit, atau ketersediaan material pengganti)?"

j. Efektivitas sistem penyangga eksisting

"Menurut penilaian Bapak, apakah jenis penyangga yang terpasang saat ini (*existing support*) masih dinilai efektif dan ekonomis untuk mempertahankan stabilitas lubang sawah luwung dalam jangka panjang, ataukah Bapak melihat perlunya modifikasi desain penyangga di masa depan?"



LAMPIRAN B



STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PERAWATAN PENYANGGA

NO. DOKUMEN :
NO. REVISI :

Dibuat Oleh :	Diperiksa Oleh :	Disahkan Oleh :
Spv Keselamatan Pertambangan & K3L	Koord Security & K3L	Ombilin Mining Site General Manager
Slamet Sutrisno	Arif Naldi	Yulfaizon
Tanggal :	Tanggal :	Tanggal :

	SOP PERAWATAN PENYANGGA	No. Dok. :
		No. Revisi :
		Halaman :

1. Tujuan

- Memastikan setiap personel yang melakukan inspeksi dan perawatan penyangga tambang dalam terhindar dari kecelakaan kerja (seperti tertimpa batuan runtuh) dan memastikan penyangga berfungsi optimal untuk menjaga kestabilan lubang bukaan tambang.

2. Ruang Lingkup

- SOP ini berlaku untuk semua personel, khususnya tim *maintenance* dan geoteknik, yang terlibat dalam pemasangan, pemeriksaan, perawatan, dan perbaikan penyangga (*steel arch*, *rock bolt*, *wire mesh*, *shotcrete*, kayu, dll) di area tambang dalam.
- SOP ini mencakup persiapan, pelaksanaan perawatan, dan tindakan setelah perawatan.

3. Dasar hukum

- UU No 1 tahun 1970 tentang keselamatan kerja.
- UU No 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas UU No 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Kepmen ESDM No 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik (khususnya Lampiran III terkait Geoteknik dan Penyanggaan Tambang Bawah Tanah).
- Permenaker No 8 tahun 2010 tentang APD.
- Permenaker No 5 tahun 2018 tentang K3 lingkungan kerja.

	SOP PERAWATAN PENYANGGA	No. Dok :
		No. Revisi :
		Halaman :

1. Pemeriksaan sebelum pengoperasian (Persiapan Pekerjaan)

- Peralatan dan keselamatan: Pastikan APD lengkap (termasuk Helm Tambang, *Safety Shoes*, Kacamata, *Earplug*, Masker, *Cap Lamp* / Lampu Kepala, dan *Self-Rescuer*), area kerja aman, dan semua peralatan kerja dalam kondisi baik.
- Pemeriksaan Gas dan Ventilasi: Sebelum memasuki *front* kerja/area penyangga yang akan dirawat, pastikan ventilasi udara memadai dan lakukan pengecekan gas berbahaya (metana, karbon monoksida, dll) menggunakan *gas detector*.
- Scaling (Pembersihan Atap): Lakukan *scaling* untuk menjatuhkan batuan gantung (*hanging rock*) atau batuan lepas di atap dan dinding sebelum memulai pemeriksaan fisik penyangga.
- Kondisi penyangga awal: Lakukan observasi visual terhadap kondisi penyangga secara keseluruhan sebelum melakukan intervensi.

2. Pelaksanaan Perawatan

- Inspeksi Fisik: Periksa *steel arch* dari kebengkokan, retakan, atau patahan akibat tekanan batuan. Monitoring selama operasi:
 - Periksa rock bolt dan pastikan plate tidak melengkung berlebihan; uji torsi mur pada rock bolt untuk memastikannya tidak kendor.
 - Periksa wire mesh dari robekan atau tonjolan batuan yang berlebihan.
 - Periksa kondisi tiang kayu penyangga (jika menggunakan) dari tanda-tanda pelapukan, retak, atau patah.
- Tindakan Perbaikan dan Perawatan
 - Kencangkan kembali baut-baut pada *steel arch* dan *rock bolt* yang ditemukan kendor menggunakan kunci yang sesuai.
 - Lakukan penggantian atau penambahan penyangga baru di area di mana penyangga lama telah rusak parah atau kehilangan daya dukungnya (misalnya memasang *stand up support* tambahan).

	SOP PERAWATAN PENYANGGA	No. Dok :
		No. Revisi :
		Halaman :
- o Bersihkan tumpukan material/lumpur yang menutupi kaki-kaki penyangga (<i>steel arch base</i>) agar tidak mempercepat korosi. • Monitoring selama perawatan: Perhatikan selalu kondisi atap dan dinding tambang selama melakukan perbaikan. Dengarkan suara-suara pergerakan batuan (anomali) yang bisa menjadi tanda bahaya keruntuhan. 3. Prosedur setelah operasi dan pemeliharaan • Pembersihan: Pastikan area kerja dibersihkan dari sisa-sisa material perbaikan (seperti potongan besi, kawat, atau kayu bekas) agar tidak mengganggu jalur transportasi dan evakuasi. • Pengecekan Akhir: Lakukan pengecekan kestabilan akhir pada area penyangga yang baru saja dirawat/diperbaiki. • Pencatatan dan Pelaporan: Lakukan pencatatan parameter kerusakan awal, jenis perbaikan yang dilakukan, dan lokasi titik perawatan. Laporkan segera kepada Supervisor/Departemen Geoteknik jika ditemukan area dengan deformasi/konvergensi batuan yang terus bergerak dan tidak dapat diatasi dengan perawatan standar.		

	SOP PERAWATAN PENYANGGA	No. Dok : _____
		No. Revisi : _____
		Halaman : _____

- 1. Pemeriksaan sebelum pengoperasian (Persiapan Pekerjaan)**

 - **Peralatan dan keselamatan:** Pastikan APD lengkap (termasuk Helm Tambang, *Safety Shoes*, Kacamata, *Earplug*, Masker, *Cap Lamp* / Lampu Kepala, dan *Self-Rescuer*), area kerja aman, dan semua peralatan kerja dalam kondisi baik.
 - **Pemeriksaan Gas dan Ventilasi:** Sebelum memasuki *front* kerja/area penyangga yang akan dirawat, pastikan ventilasi udara memadai dan lakukan pengecekan gas berbahaya (metana, karbon monoksida, dll) menggunakan *gas detector*.
 - **Scaling (Pembersihan Atap):** Lakukan *scaling* untuk menjatuhkan batuan gantung (*hanging rock*) atau batuan lepas di atap dan dinding sebelum memulai pemeriksaan fisik penyangga.
 - **Kondisi penyangga awal:** Lakukan observasi visual terhadap kondisi penyangga secara keseluruhan sebelum melakukan intervensi.
- 2. Pelaksanaan Perawatan**

 - **Inspeksi Fisik:** Periksa *steel arch* dari kebengkokan, retakan, atau patahan akibat tekanan batuan. Monitoring selama operasi:
 - Periksa rock bolt dan pastikan plate tidak melengkung berlebihan; uji torsi mur pada rock bolt untuk memastikannya tidak kendur.
 - Periksa wire mesh dari robekan atau tonjolan batuan yang berlebihan.
 - Periksa kondisi tiang kayu penyangga (jika menggunakan) dari tanda-tanda pelapukan, retak, atau patah.
 - **Tindakan Perbaikan dan Perawatan**
 - Kencangkan kembali baut-baut pada *steel arch* dan *rock bolt* yang ditemukan kendur menggunakan kunci yang sesuai.
 - Lakukan penggantian atau penambahan penyangga baru di area di mana penyangga lama telah rusak parah atau kehilangan daya dukungnya (misalnya memasang *stand up support* tambahan).

	SOP PERAWATAN PENYANGGA	No. Dok : _____
		No. Revisi : _____
		Halaman : _____
- o Bersihkan tumpukan material/lumpur yang menutupi kaki-kaki penyangga (<i>steel arch base</i>) agar tidak mempercepat korosi. • Monitoring selama perawatan: Perhatikan selalu kondisi atap dan dinding tambang selama melakukan perbaikan. Dengarkan suara-suara pergerakan batuan (anomali) yang bisa menjadi tanda bahaya keruntuhan. 3. Prosedur setelah operasi dan pemeliharaan • Pembersihan: Pastikan area kerja dibersihkan dari sisa-sisa material perbaikan (seperti potongan besi, kawat, atau kayu bekas) agar tidak mengganggu jalur transportasi dan evakuasi. • Pengecekan Akhir: Lakukan pengecekan kestabilan akhir pada area penyangga yang baru saja dirawat/diperbaiki. • Pencatatan dan Pelaporan: Lakukan pencatatan parameter kerusakan awal, jenis perbaikan yang dilakukan, dan lokasi titik perawatan. Laporkan segera kepada Supervisor/Departemen Geoteknik jika ditemukan area dengan deformasi/konvergensi batuan yang terus bergerak dan tidak dapat diatasi dengan perawatan standar.		

LAMPIRAN C

PENGUKURAN DIMENSI & GEOMETRI

Pengukuran Dimensi Aktual Pada Jarak Tertentu Per 10m

Lokasi Pengukuran : J4 – J3

Bentuk Penampang : I Beam

Tabel C1. Hasil pengukuran Aktual Penyangga J4 - J3

No.	Lokasi	Lebar Awal (m)	Lebar Aktual (m)	Tinggi Awal (m)	Tinggi Aktual (m)
1.	J4 – J3	3 m	3,18 m	2,8 m	2,78 m
2.	J4 – J3	3 m	3,18 m	2,8 m	2,76 m
3.	J4 – J3	3 m	3,17 m	2,8 m	2,76 m
4.	J4 – J3	3 m	3,17 m	2,8 m	2,75 m
5.	J4 – J3	3 m	3,14 m	2,8 m	2,73 m
6.	J4 – J3	3 m	3,14 m	2,8 m	2,72 m
7.	J4 – J3	3 m	3,18 m	2,8 m	2,75 m
8.	J4 – J3	3 m	3,18 m	2,8 m	2,76 m
9.	J4 – J3	3 m	3,18 m	2,8 m	2,78 m
10.	J4 – J3	3 m	3,18 m	2,8 m	2,78 m

Sumber : Penulis (2026)

Berdasarkan data pengukuran dimensi pada interval jarak per 10 meter, terowongan ini memiliki target desain tinggi 2,8 meter dan lebar 3,2 meter (bagian bawah).

Lokasi Pengukuran : J6 – J7

Bentuk Penampang : Archis

Tabel C2. Hasil pengukuran Aktual Penyangga J6 – J7

No.	Lokasi	Lebar Awal (m)	Lebar Aktual (m)	Tinggi Awal (m)	Tinggi Aktual (m)
1.	J6 – J7	4,4 m	4,38 m	2,8 m	2,28 m
2.	J6 – J7	4,4 m	4,38 m	2,8 m	2,28 m
3.	J6 – J7	4,4 m	4,37 m	2,8 m	2,25 m
4.	J6 – J7	4,4 m	4,35 m	2,8 m	2,25 m
5.	J6 – J7	4,4 m	4,37 m	2,8 m	2,27 m
6.	J6 – J7	4,4 m	4,37 m	2,8 m	2,45 m
7.	J6 – J7	4,4 m	4,38 m	2,8 m	2,47 m
8.	J6 – J7	4,4 m	4,38 m	2,8 m	2,51 m
9.	J6 – J7	4,4 m	4,4 m	2,8 m	2,54 m
10.	J6 – J7	4,4 m	4,4 m	2,8 m	2,54 m

Sumber : Penulis (2026)

Terowongan dengan target desain tinggi 2,8 m dan lebar 4,4 m ini mengalami deformasi vertikal yang sangat signifikan. 2,54 m merupakan titik tertinggi di lokasi penelitian antar J6 dan J7, sementara 2,25 adalah titik ketinggian paling rendah yang ada di jalur J6 dan J7.

Lokasi Pengukuran : J14 – J37

Bentuk Penampang : Archis

Tabel C3. Hasil pengukuran Aktual Penyangga J14 – J37

No.	Lokasi	Lebar Awal (m)	Lebar Aktual (m)	Tinggi Awal (m)	Tinggi Aktual (m)
1.	J14 – J37	4,4 m	4,35 m	2,8 m	2,75 m
2.	J14 – J37	4,4 m	4,35 m	2,8 m	2,75 m
3.	J14 – J37	4,4 m	4,34 m	2,8 m	2,78 m
4.	J14 – J37	4,4 m	4,35 m	2,8 m	2,78 m
5.	J14 – J37	4,4 m	4,35 m	2,8 m	2,75 m
6.	J14 – J37	4,4 m	4,35 m	2,8 m	2,75 m
7.	J14 – J37	4,4 m	4,32 m	2,8 m	2,70 m
8.	J14 – J37	4,4 m	4,32 m	2,8 m	2,70 m
9.	J14 – J37	4,4 m	4, 35m	2,8 m	2,70 m
10.	J14 – J37	4,4 m	4,34 m	2,8 m	2,70 m

Sumber : Penulis (2026)

Titik pengamatan J14 menuju J37 memiliki topografi berupa area tanjakan (*incline*). Sama seperti J6-J7, profil penyangga yang digunakan adalah *Archis* dengan target lebar 4,4 m dan tinggi 2,8 m. Tinggi aktual berada di rentang 2,70 m hingga 2,78 m (penyimpangan minor 2-10 cm dari desain awal), dan lebarnya di angka 4,32 m hingga 4,35 m.

LAMPIRAN D

REKAPITULASI LAPORAN KERJA HARIAN

DIVISI: KOORDINATOR PERAWATAN / PENYANGGA
 Periode: Maret 2026

Tabel D.1 Rekapitulasi laporan Kerja Harian

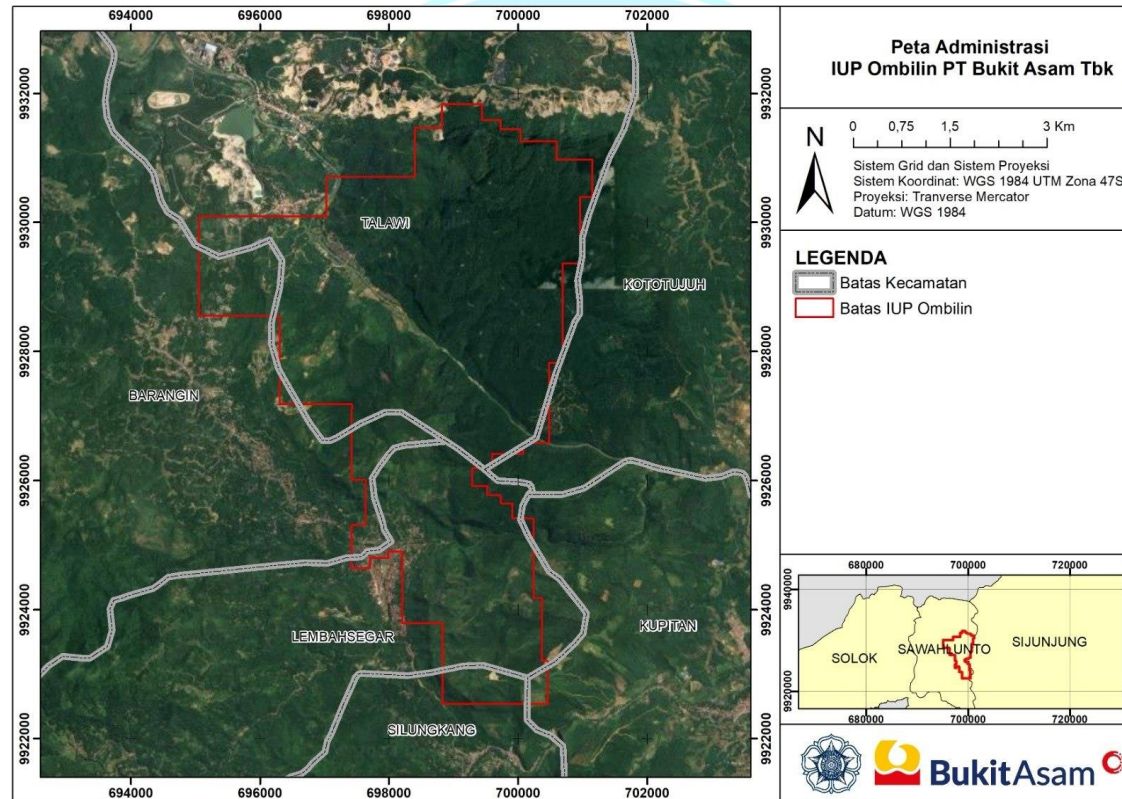
No.	Hari / Tanggal	Personel (Tim Rawatan)	Lokasi Kerja	Kegiatan Pekerjaan
1.	Senin, 02 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J4	- Transfer kayu sebanyak 10 batang dari luar ke lubang Sampit. - Pemasangan <i>stop-ling</i> 5 tingkat di area tangga dan penguncian.
2.	Selasa, 03 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J4 & Lubang Sempit	Pembersihan area (<i>merambah</i>) di sekitar J4 dan area Lubang Smpit.
3.	Rabu, 04 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J14	Melanjutkan kegiatan perawatan (<i>merambah</i>) di area Lubang Sampit dan J4.
4.	Kamis, 05 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A., - Marwal N., - Fahmi, - Firdaus, - Adi Putra, - Andesta F., - Syafrizal	Area halaman	Melanjutkan pembersihan area (<i>merambah</i>) di sekitar lokasi Lubang.
5.	Jumat, 06 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J6	Pembersihan area (<i>merambah</i>) rutin.
6.	Senin, 09 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J14	<i>General cleaning</i> area kerja J14 dan pemeliharaan infrastruktur penunjang.
7.	Selasa, 10 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J37	Pemeliharaan berkala pasca-libur pekan dan perapihan akses jalan di J37.
8.	Rabu, 11 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J37	Pelaksanaan tugas perawatan rutin harian untuk memastikan keamanan jalur.
9.	Kamis, 12 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A., - Syafrizal, - Robby S., - Marwal N.	Area J4	Pembersihan material sisa operasional dan inspeksi visual struktur penyangga.

No.	Hari / Tanggal	Personel (Tim Rawatan)	Lokasi Kerja	Kegiatan Pekerjaan
10.	Jumat, 13 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J4	Melakukan perawatan infrastruktur rutin dan menjaga kebersihan area kerja J4.
11.	Senin, 16 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J6	Koordinasi awal pekan: Perawatan jalur utama dan pembersihan debris di J6.
12.	Selasa, 17 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J6	Pemeliharaan preventif pada infrastruktur penyangga di sepanjang jalur J6.
13.	Rabu, 18 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J7	Perawatan rutin infrastruktur penyangga dan perapihan jalur akses J7.
14.	Kamis, 19 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J3	Pembersihan sisa material (debris) dan pengecekan kondisi fisik penyangga kayu.
15.	Jumat, 20 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J3	Pelaksanaan <i>general cleaning</i> area J dan perawatan rutin fasilitas penunjang.
16.	Senin, 23 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J14	Pemeliharaan rutin awal pekan: Pembersihan jalur dan pengecekan keamanan area J14.
17.	Selasa, 24 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J14	Monitoring stabilitas lubang tambang melalui perawatan penyangga secara berkala.
18.	Rabu, 25 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J38	Mobilisasi material pembersihan dan pemeliharaan infrastruktur di jalur utama J38.
19.	Kamis, 26 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J34	Perawatan rutin harian dan inspeksi visual pada titik-titik penyangga kritis.
20.	Jumat, 27 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J14	Penutupan aktivitas pekan: Pembersihan menyeluruh dan pengecekan akhir area J14.
21.	Senin, 30 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J3	Perawatan rutin harian dan inspeksi visual pada titik-titik penyangga kritis
22.	Selasa, 31 Maret 2026	- Indra Mulya - Fento A. - Marwal N. - Syafrizal	Area J38	Monitoring stabilitas lubang tambang melalui perawatan penyangga secara berkala.

Sumber : Perusahaan (2026)

LAMPIRAN E

IUP OMBILIN PT BUKIT ASAM TBK

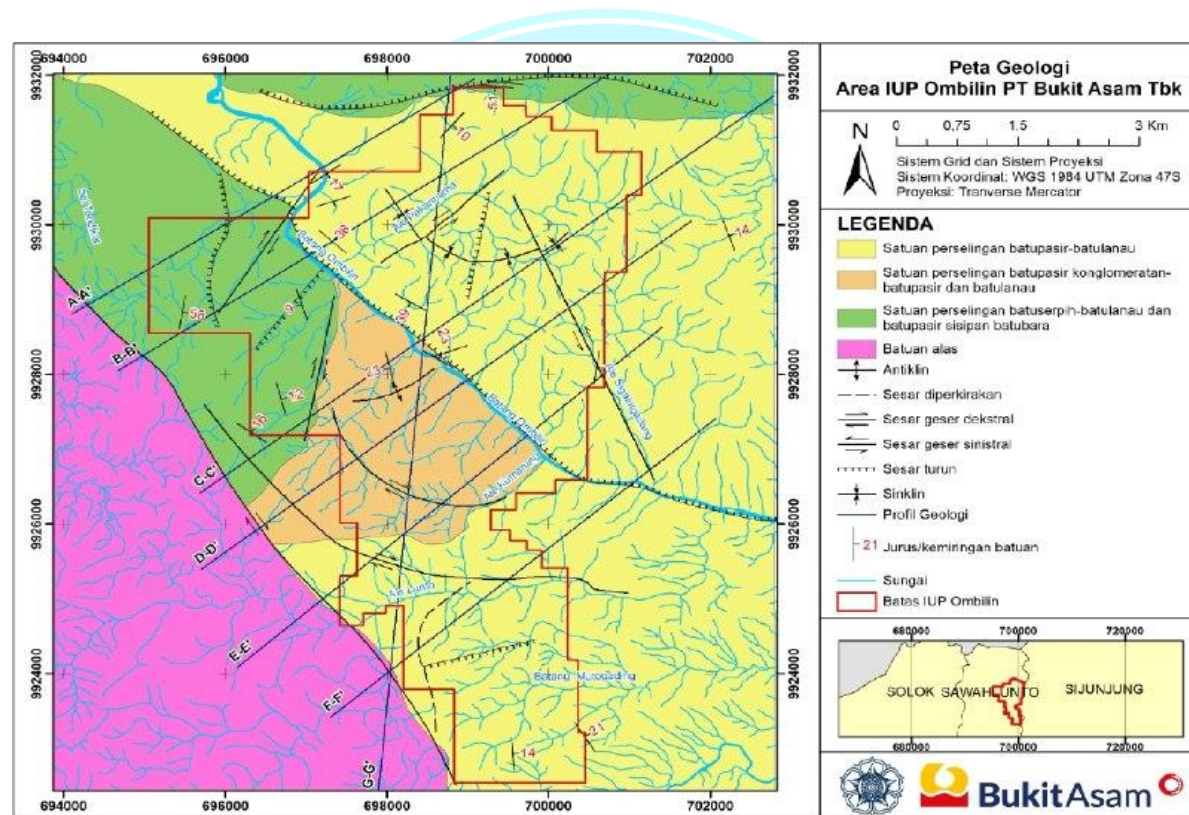


Sumber : Perusahaan (2026)

Gambar E.1 Peta Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk

LAMPIRAN F

GEOLOGI AREA IUP OMBILIN PT BUKIT ASAM TBK



Sumber : Perusahaan, (2026)

Gambar F.1 Peta Geologi Area IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk

LAMPIRAN G

TAMPAK ATAS LOKASI PENELITIAN



Sumber : Google *Earth* (2026)

Gambar G.1 Tampak Atas Lokasi Penelitian