

**KAJIAN TEKNIS SISTEM PEMOMPAAN DALAM UPAYA
PENANGANAN AIR DI AREA TAMBANG BAWAH TANAH
PT BUKIT ASAM UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN**

TUGAS AKHIR



**MUHAMAD ALFIKRI RAMADHANI
2023310035**

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

**KAJIAN TEKNIS SISTEM PEMOMPAAN DALAM UPAYA
PENANGANAN AIR DI AREA TAMBANG BAWAH TANAH
PT BUKIT ASAM UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN**

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Tugas Akhir Program Studi Teknik
Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih**



**MUHAMAD ALFIKRI RAMADHANI
2023310035**

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

HALAMAN PENGESAHAN

KAJIAN TEKNIS SISTEM PEMOMPAAN DALAM UPAYA PENANGANAN AIR DI ARSA TAMBANG BAWAH TANAH PT BUKIT ASAM UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

**MUSAMAD ALFIKRI RAMADHANI
2023310033**

Pembimbing I



Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM.
NUPTK. 9944753636130172

Prabumulih, 20 Mei 2026

Pembimbing II



Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK. 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 “Kajian Teknis Sistem Peramponan Dalam Upaya Penanganan Air Di Area Tambang Bawah Tanah FT Bukit Asam Unit Penambangan Ombilin” telah di pertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Prabumulih pada hari 20 Mei 2026.

Prabumulih, 20 Mei 2026

Tisa Penguji Tugas Akhir

Mengetui :

1. Dr. Ir. Aria Susilo, S.T., M.T., IPM.
NUPTK. 9944755656130172

Anggota :

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

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

()
()
()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

 
200 Dr. Ir. Aria Susilo, S.T., M.T., IPM.
NUPTK. 9944755656130172

Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan

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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhamad Alfikri Ramadhani

NIM : 2023310035

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,



Muhamad Alfikri Ramadhani
NIM. 2023310035

ABSTRAK

KAJIAN TEKNIS SISTEM PEMOMPAAN DALAM UPAYA PENANGANAN AIR DI AREA TAMBANG BAWAH TANAH PT BUKIT ASAM UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN

Muhamad Alfikri Ramadhani, 2023310035, 2026

Sistem penyaliran merupakan aspek krusial dalam operasional tambang bawah tanah di PT Bukit Asam Unit Penambangan Ombilin untuk menjaga area kerja tetap kering dan aman dari ancaman tingginya debit air yang berpotensi menghambat aktivitas produksi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian teknis terhadap sistem pemompaan dengan menghitung debit air total yang masuk dari air tanah dan air limpasan hujan, mengevaluasi kapasitas aktual pompa, serta menentukan kebutuhan *head* pompa yang optimal. Melalui metode observasi lapangan dan analisis data teknis, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pemompaan saat ini memerlukan optimalisasi pada durasi operasional dan pengaturan *settling pond* guna meningkatkan efisiensi. Berdasarkan perhitungan *total dynamic head*, diperoleh parameter teknis yang dapat dijadikan acuan bagi perusahaan dalam mengatur performa pompa agar mampu mengalirkan akumulasi air keluar tambang secara maksimal, sehingga kelancaran operasional tambang bawah tanah dapat terjaga dengan lebih efektif.

Kata Kunci: Tambang Bawah Tanah, Sistem Pemompaan, Debit Air, *Total Dynamic Head*, Penyaliran.

ABSTRACT

TECHNICAL STUDY OF PUMPING SYSTEM IN WATER THIS MANAGEMENT EFFORTS IN THE UNDERGROUND MINING AREA OF PT BA UPO

Muhamad Alfikri Ramadhani, 2023310035, 2026

The drainage system is a crucial aspect of underground mining operations at PT BA UPO to keep the work area dry and safe from the threat of high water discharge that could potentially hamper production activities. This research aims to conduct a technical study of the pumping system by calculating the total water discharge entering from groundwater and rain runoff, evaluating the actual pump capacity, and determining the optimal pump head requirements. Through field observation methods and technical data analysis, the research results indicate that the current pumping system requires optimization in operational duration and settling pond management to improve efficiency. Based on the calculation of the total dynamic head, technical parameters were obtained that can serve as a reference for the company in adjusting pump performance to maximize the discharge of accumulated water out of the mine, ensuring that underground mining operations can be maintained more effectively.

Keywords: *Underground Mine, Pumping System, Water Discharge, Total Dynamic Head, Drainage.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul “Kajian Teknis Sistem Pemompaan Dalam Upaya Penanganan Air Di Area Tambang Bawah Tanah PT Bukit Asam UPO”. Proposal tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Ahli Madya di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih. Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si. selaku Rektor Universitas Prabumulih.
2. Bapak Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih Sekaligus Sebagai Pembimbing I.
3. Bapak Ridho Yovanda, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan sekaligus sebagai pembimbing II.
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
5. Kepala Teknik Tambang, Pimpinan, dan seluruh Staf PT Bukit Asam Tbk UPO yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan penelitian.
6. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih khususnya angkatan 2025 serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulisan proposal tugas akhir ini masih terdapat kekurangan yang belum penulis sadari. Akhir kata penulis berharap semoga proposal tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca. Aamiin.

Prabumulih, 20 Mei 2026



Muhamad Alfikri Ramadhani

2023310035

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL DALAM	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Deskripsi dan Sejarah Perusahaan	4
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Tambang Bawah Tanah	7
2.2.2 Sistem Pemompaan Air Tambang Bawah Tanah	8
2.2.3 Air Tambang (<i>Mine Water</i>)	10
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	17
3.2 Tahapan Penelitian.....	17
3.3 Bagan Alir Penelitian.....	21
3.4 Teknik Pengumpulan Data dan Pengolahan Data.....	22

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data.....	22
3.4.2 Teknik Pengolahan Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Kondisi dan Skema Sistem Pemompaan Saat Ini	27
4.2 Analisis Karakteristik Debit Air Aktual dan Dampak Kegagalan Sistem Tenaga Listrik di Titik J6.....	29
4.3 Evaluasi Kebutuhan Unit Pompa Untuk Mengeringkan <i>Sump</i> Yang Tergenang	31
4.3.1 Analisis Kemampuan Pompa Aktual dan Jam Operasional di Terowongan J6	32
4.3.2 Perhitungan Kebutuhan Spesifikasi Pompa yang Ideal	34
BAB V PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN	42



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.2 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian	17
Tabel B.1 Rekapitulasi Total Jam Operasional Per Shift.....	45



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah	6
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	21
Gambar 4.2 Layout Skema Pompa Tambang Sawah Luwung	27
Gambar 4.3 Kondisi Aktual Pada J6	28
Gambar A.1 Pompa Tandem pada Lokasi J14.....	42
Gambar A.2 Pengecekan Kondisi Pompa J6.....	42
Gambar A.3 Pengecekan Spesifikasi Pompa	43
Gambar A.4 Pengukuran Lebar Sedimen Pond	43
Gambar A.5 Pengukuran Kedalaman Sedimen Pond	44
Gambar A.6 Pengukuran Panjang Sedimen Pond.....	44
Gambar A.7 Pipa Yang Digunakan Pada Sistem Pemompaan	45
Gambar A.8 Kondisi Aktual Pada J6	45
Gambar C.1 Peta Administrasi IUP	50
Gambar C.2 Peta Daerah Tangkapan Air Hujan	51
Gambar C.3 Peta Geologi	52
Gambar D.1 Lokasi Penelitian	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Dokumentasi Lapangan	42
Lampiran B Rekapitulasi Jam Operasional Pompa Harian	46
Lampiran C Peta Lokasi Penelitian	50
Lampiran D Lokasi Penelitian	53



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
J	: <i>Junction</i>
KW	: Kilo Watt
RPM	: <i>Rotation Per Minute</i>
SOP	: Standar Operasional Prosedur
STA	: Stasiun
TDH	: <i>Total Dynamic Head</i>
MDPL	: Meter Air Atas Permukaan Laut
HL	: <i>Head Los</i>
PN TABA	: Perusahaan Negara Tambang Arang Bukit Asam
Q	: Debit Air Aktual
V	: Volume Wadah Penampung
T	: Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Mengisi Penuh Wadah
BEP	: <i>Best Efficiency Point</i>
HDPE	: <i>High Density Polyethylene</i>
DTAH	: Daerah Tangkapan Air Hujan
P	: Panjang <i>Sump</i>
L	: Lebar <i>Sump</i>
D	: Kedalaman <i>Sump</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan batubara dengan metode tambang bawah tanah (*underground mining*) memiliki tingkat kompleksitas dan risiko operasional yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode tambang terbuka. Salah satu tantangan utama yang sangat menentukan keselamatan kerja dan kelangsungan produksi di tambang bawah tanah adalah sistem pengelolaan air tambang (*mine dewatering*). Mengingat aktivitas penggalian dilakukan jauh di bawah permukaan bumi, terowongan tambang sangat rentan mengalami masalah masuknya air, baik yang berasal dari aliran air tanah akibat terpotongnya lapisan batuan pembawa air (*akuifer*) maupun akibat resapan air hujan yang masuk secara vertikal melalui rekahan batuan. Jika akumulasi air ini tidak ditangani dengan cepat dan tepat, maka akan timbul masalah genangan lumpur yang dapat merusak peralatan kerja, menghambat sistem transportasi tambang, hingga menghentikan aktivitas produksi secara total.

PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (PT BA UPO), khususnya pada area Lubang Pendidikan Sawah Luwung, menghadapi tantangan kondisi air tambang ini secara langsung. Karakteristik terowongan yang cukup panjang serta adanya perbedaan ketinggian di sepanjang jalur tambang menyebabkan air mengalir secara alami mengikuti gaya gravitasi bumi. Air tanah dan air resapan tersebut pada akhirnya berkumpul di area penambangan yang berada pada posisi paling dalam. Posisi terendah ini secara otomatis menjadi area tangkapan air utama (*catchment area*) yang paling kritis di dalam lubang tambang, sehingga membutuhkan perhatian khusus dalam penanganannya.

Untuk mengalirkan akumulasi air tersebut keluar dari dalam lubang tambang, perusahaan menerapkan skema Sistem Pemompaan Bertingkat (*stage pumping system*) secara estafet. Melalui skema ini, air dari area terdalam dikumpulkan terlebih dahulu ke dalam kolam penampung sementara (*sump*), lalu dipompa menuju kolam perantara di level atasnya, sebelum akhirnya didorong kembali menggunakan stasiun pompa berikutnya hingga mencapai bak penampung akhir di

dekat permukaan luar tambang untuk dibuang ke badan air. Meskipun sistem bertingkat ini secara teori hidrolika sudah tepat untuk mengatasi perbedaan ketinggian yang besar, kondisi aktual di lapangan masih menunjukkan beberapa kendala teknis yang menghambat efektivitas penyaliran.

Kendala utama yang sering terjadi adalah ketidakseimbangan antara volume air yang masuk dengan kapasitas pompa yang tersedia di stasiun pompa terdalam. Pompa yang ada harus bekerja dengan durasi operasional yang sangat lama setiap harinya agar kolam penampung tidak meluap. Kondisi kritis ini diperparah saat terjadi gangguan pada pasokan listrik utama tambang, di mana genset cadangan yang tersedia di lapangan sering kali mengalami keterbatasan daya untuk menghidupkan seluruh pompa utama secara bersamaan. Akibatnya, kolam penampung dengan cepat meluap (*overtopping*) dan menimbulkan genangan air serta lumpur yang merendam jalur transportasi lori dan merusak instalasi pipa penirisan yang mulai mengalami penurunan kondisi fisik.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan judul "Kajian Teknis Sistem Pemompaan dalam Upaya Penanganan Air Area Tambang Bawah Tanah PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi dan skema sistem pemompaan yang diterapkan saat ini pada area tambang bawah tanah PT BA UPO?
2. Berapa jumlah debit air aktual yang masuk ke dalam area tambang?
3. Bagaimana menentukan jumlah kebutuhan unit pompa yang ideal untuk mengeringkan *sump* pada J6 yang tergenang ?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian Tugas Akhir ini, penulis membatasi masalah pada kajian teknis sistem *mine dewatering*. Analisis akan berfokus pada beberapa aspek yaitu evaluasi kapasitas pompa terpasang, dimensi jaringan perpipaan, volume *sump* (kolam penampung) eksisting, dan perbandingan antara debit air tambang aktual

dengan kapasitas sistem penirisan terutama pada sump J6 di area tambang bawah tanah PT BA UPO.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui kondisi dan skema sistem pemompaan yang diterapkan saat ini pada area tambang bawah tanah PT BA UPO.
2. Mengetahui jumlah debit air aktual yang masuk ke area tambang.
3. Mengetahui jumlah kebutuhan unit pompa yang ideal untuk mengeringkan *sump* J6 yang tergenang.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pemahaman dalam bidang teknik pertambangan, khususnya tentang kajian teknis dan manajemen sistem penirisan (*mine dewatering*) pada area tambang bawah tanah. Hasil penelitian dapat menjadi dasar bagi pengembangan model atau metode evaluasi sistem penirisan yang lebih baik, terutama dalam konteks penambangan bawah tanah dengan debit air yang fluktuatif.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini akan menghasilkan rekomendasi teknis tentang upaya optimasi sistem *mine dewatering* (meliputi pompa, perpipaan, dan *sump*) yang dapat meningkatkan efektivitas penanganan air di PT BA UPO. Dengan mengoptimalkan sistem penirisan, penelitian ini berkontribusi dalam upaya mengurangi risiko operasional akibat genangan, meningkatkan faktor keselamatan kerja, dan mendukung pencapaian target produksi di area tambang bawah tanah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi dan Sejarah Perusahaan

Tambang batu bara ombilin berada di sawahlunto, Sumatera Barat, sekitar 70 km di arah timur laut dari padang. Tempat ini terletak di antara lembah sempit pegunungan Bukit Barisan, dengan koordinat geografi sekitar 0°41' LS dan 100°46' BT. Topografi yang berbukit dan lembah yang terbatas memberikan keunikan dan tantangan dalam hal geoteknik, terutama dalam hal pengelolaan kestabilan area tambang bawah tanah.

PT Bukit Asam Tbk (PT BA) memiliki sejarah panjang yang merupakan bagian tak terpisahkan dari perkembangan industri energi di Indonesia. Khusus untuk Unit Penambangan Ombilin (UPO) yang berlokasi di Sawahlunto, Sumatera Barat, sejarahnya dapat dirunut sejak masa kolonial Hindia Belanda hingga transformasinya menjadi bagian dari Holding Industri Pertambangan Indonesia

Sejarah pertambangan batubara di Ombilin dimulai dengan penemuan cadangan batubara oleh geolog Belanda, Willem Hendrik de Greve, pada tahun 1867 di aliran Sungai Ombilin. Penemuan ini menjadi titik tolak penting bagi industrialisasi di Sumatera Barat. Pada tahun 1892, pemerintah Hindia Belanda mulai mengoperasikan tambang ini secara komersial dengan nama *Ombilinmijnen*. Untuk mendukung distribusi batubara tersebut, pemerintah kolonial membangun jaringan kereta api yang menghubungkan Sawahlunto dengan Pelabuhan Teluk Bayur (sebelumnya bernama Emmahaven) di Padang.

Setelah Indonesia merdeka, pengelolaan tambang batubara di Indonesia mengalami beberapa kali perubahan status hukum. Pada tahun 1950, pemerintah mengambil alih pengelolaan tambang dan membentuk Perusahaan Negara Tambang Arang Bukit Asam (PN TABA). Seiring dengan kebijakan restrukturisasi perusahaan negara, pada tahun 1981, PN TABA berubah status menjadi Perseroan Terbatas dengan nama PT Bukit Asam (Persero) melalui Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 1980.

Unit Penambangan Ombilin (UPO) sendiri secara administratif merupakan salah satu unit operasional PT Bukit Asam Tbk. Berbeda dengan unit di Tanjung

Enim yang didominasi oleh tambang terbuka (*open pit*), Unit Ombilin dikenal dengan sejarah panjang tambang bawah tanahnya (*underground mining*).

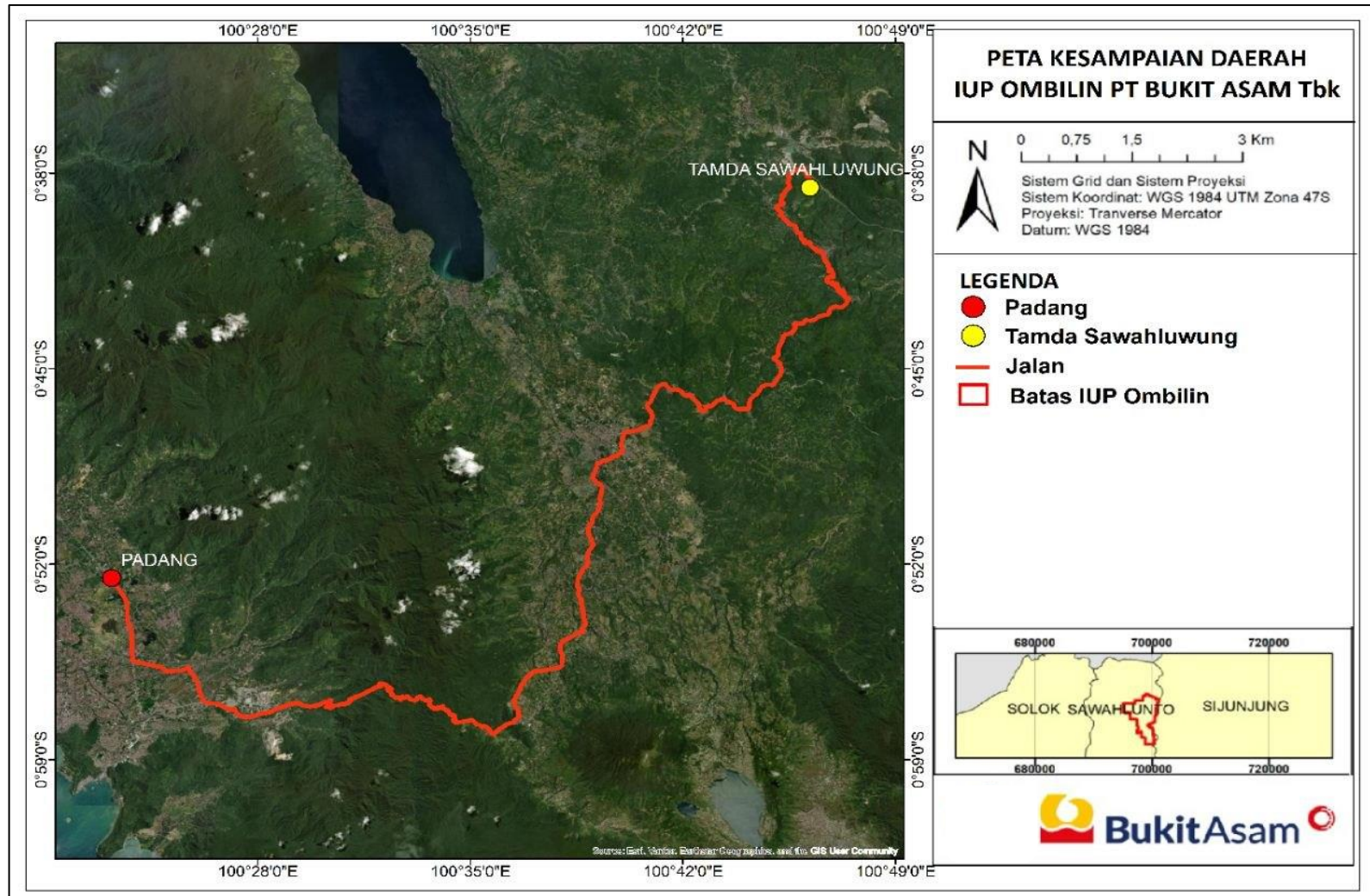
Berbeda dengan Unit Pertambangan Tanjung Enim di Sumatera Selatan yang mayoritas menggunakan metode tambang terbuka (*open pit mining*), Unit Pertambangan Ombilin memiliki karakteristik unik berupa deposit batubara yang berada jauh di bawah permukaan bumi dengan kemiringan tertentu. Kondisi geologi ini memaksa penggunaan metode tambang bawah tanah (*underground mining*).

Dalam perjalanannya, UPO telah menerapkan berbagai teknik penambangan bawah tanah, mulai dari metode *Room and Pillar* hingga *Longwall Mining* dengan menggunakan alat mekanis seperti *Shearer* dan penyangga hidrolik. Karakteristik tambang bawah tanah ini membawa tantangan teknis yang tinggi, terutama terkait ventilasi, penyangga terowongan, dan yang paling krusial adalah sistem pemompaan air tanah (*dewatering*) untuk mencegah genangan pada area kerja.

Pada tahun 2002, PT Bukit Asam mencatatkan sahamnya di Bursa Efek Indonesia (BEI) dan menjadi perusahaan publik (Tbk). Memasuki dekade 2010-an, seiring dengan semakin menipisnya cadangan batubara yang ekonomis untuk ditambang secara besar-besaran di wilayah Sawahlunto, Unit Pertambangan Ombilin mulai bertransformasi.

Puncaknya pada 6 Juli 2019, UNESCO menetapkan "Warisan Tambang Batubara Ombilin Sawahlunto" sebagai Warisan Dunia (*World Heritage*). Hal ini mengubah fokus Unit Pertambangan Ombilin tidak hanya pada aspek operasional pertambangan sisa, tetapi juga pada pengelolaan aset sejarah, edukasi, dan pariwisata berbasis tambang bawah tanah.

Mengingat sebagian besar terowongan tambang bawah tanah di UPO berada di bawah permukaan air tanah lokal, pengelolaan sistem drainase dan pemompaan menjadi detak jantung operasional yang menjamin keamanan infrastruktur tambang.



Sumber : Perusahaan , 2026

Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah

Daerah sawahlunto terletak di dalam formasi sawahlunto, yang terdiri dari batuan yang terbentuk pada periode eosen, sekitar 40 hingga 60 juta tahun yang lalu. Formasi sawahlunto terletak di cekungan Pra-Tersier ombilin dengan lebar 22,50 km dan panjang 47 km (Gambar 2.1).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tambang Bawah Tanah

Kegiatan pertambangan merupakan upaya memanfaatkan sumber daya mineral yang terkandung di dalam bumi. Berdasarkan letak endapan dan metode pengambilan materialnya, kegiatan pertambangan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, Yaitu tambang terbuka (*Surface Mining*) dan tambang bawah tanah (*Underground Mining*) (Komara, 2024).

Tambang bawah tanah didefinisikan sebagai metode penambangan yang dilakukan dengan cara membuat bukaan-bukaan horizontal (terowongan), vertikal (*shaft*), maupun miring (*ramp*) untuk mengakses dan mengambil endapan bahan galian yang berada jauh di bawah permukaan bumi atau ditutupi oleh lapisan batuan penutup (*overburden*) yang tebal. Metode ini dipilih ketika perbandingan batuan penutup dengan endapan (*stripping ratio*) terlalu tinggi, sehingga secara ekonomis tidak menguntungkan untuk menggunakan metode tambang terbuka (Aji et al., 2018).

Lingkungan kerja pada tambang bawah tanah memiliki karakteristik dan tantangan yang sangat berbeda dibandingkan tambang terbuka, meliputi:

1. Akses dan Ventilasi Terbatas

Seluruh kegiatan dilakukan di dalam ruang tertutup. Ini menuntut sistem ventilasi yang efektif untuk menyediakan udara segar, mengendalikan suhu, dan menghilangkan gas-gas beracun, seperti Metana, CO, dan NO_x serta debu.

2. Dukungan Atap (*Ground Support*)

Stabilitas geoteknik menjadi perhatian utama. Struktur atap dan dinding harus secara kontinu diberi penyangga (*support*) untuk mencegah runtuh yang dapat membahayakan pekerja dan peralatan.

3. Keterbatasan Ruang

Ruang gerak alat berat dan mobilitas pekerja terbatas, yang memerlukan peralatan khusus dan manajemen lalu lintas yang ketat.

4. Permasalahan Air Tambang (*Mine Water*)

Lingkungan bawah tanah seringkali merupakan zona jenuh air. Air tanah, air rembesan dari rekahan, dan sisa air Operasional akan mengalir masuk dan terakumulasi di bukaan tambang. Penanganan air ini menjadi masalah yang krusial karena:

- a. Mengganggu kestabilan atap dan pillar.
- b. Menghambat kemajuan penambangan pada working face.
- c. Menciptakan kondisi kerja yang tidak sehat dan berbahaya.

Pemilihan metode tambang bawah tanah (seperti *Room and Pillar*, *Longwall*, dan lain-lain) sangat bergantung pada karakteristik geologi, geometri endapan, dan kondisi geomekanika batuan. Namun, terlepas dari metode yang dipilih, keberhasilan operasional secara keseluruhan sangat bergantung pada efektivitas sistem pendukung kritis, salah satunya adalah Sistem Penirisan (*Dewatering*) (Sembiring et al., 2018)

2.2.2 Sistem Pemompaan Air Tambang Bawah Tanah

Sistem pemompaan pada tambang bawah tanah merupakan komponen fundamental dalam arsitektur sistem penyaliran tambang (*mine dewatering system*). Sistem ini berfungsi secara vital untuk mengelola dan mengeluarkan akumulasi air baik yang berasal dari infiltrasi air tanah, limpasan air permukaan melalui rekahan, maupun sisa air proses operasional dari lubang bukaan menuju permukaan atau ke level penampungan yang lebih tinggi.

Berbeda dengan operasional tambang terbuka, sistem pemompaan bawah tanah menghadapi kompleksitas teknis yang jauh lebih tinggi. Tantangan utama mencakup keterbatasan ruang instalasi yang menuntut desain pompa kompak, serta risiko lingkungan kerja yang ekstrem. Pada tambang batubara, misalnya, keberadaan gas metana yang mudah terbakar mengharuskan penggunaan sistem kelistrikan dan motor pompa bersertifikasi tahan ledakan (*explosion-proof*). Selain itu, perbedaan tinggi tekan (*static head*) yang signifikan, yang seringkali mencapai ratusan meter, menuntut

perhitungan head total yang presisi, termasuk kompensasi terhadap kehilangan tekanan akibat gesekan (*friction loss*) pada jalur pipa yang panjang dan berkelok.

Efisiensi operasional sangat bergantung pada pemilihan skema penyaliran yang tepat. Secara teknis, sistem pemompaan di tambang bawah tanah dapat diklasifikasikan menjadi beberapa metode utama berdasarkan mekanisme distribusi dan elevasi penanganan airnya:

1. Sistem Pemompaan Langsung (*Direct Pumping*)

Air dikumpulkan pada sumuran utama (*main sump*) di level paling bawah, kemudian langsung dipompa menuju permukaan. Sistem ini memerlukan pompa dengan kemampuan *head* yang sangat tinggi dan daya tahan terhadap tekanan besar. Untuk menghitung debit air dapat menggunakan rumus berikut

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

Q = Debit air aktua (L/detik atau m³/detik)

V = Volume wadah penampung (L atau m³)

T = Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh wadah (detik)

2. Sistem Pemompaan Bertingkat (*Stage Pumping*)

Sistem ini digunakan jika kedalaman tambang melampaui kemampuan *head* satu unit pompa. Air dipompa dari *sump* terbawah menuju *sump* perantara (*intermediate sump*) pada level di atasnya, kemudian dipompa kembali oleh unit pompa lain hingga mencapai permukaan.

3. Sistem Estafet (*In-line Series Pumping*)

Beberapa pompa dipasang secara seri dalam satu jalur pipa tanpa melalui *sump* perantara untuk meningkatkan total *head* dorong.

Rumus mengetahui volume *sump* berikut :

Memiliki dimensi panjang 5m, lebar 3m, dan kedalaman 4m.

Volume Maksimal Sump J6

$$= \text{Lebar Bak} \times \text{Panjang Bak} \times \text{Kedalaman Bak} \dots \dots \dots (2.2)$$

Memiliki dimensi panjang 6m, lebar 2m, dan kedalaman 4m.
Volume Maksimal Sump J7

$$= \text{Lebar Bak} \times \text{Panjang Bak} \times \text{Kedalaman Bak} \dots \dots \dots (2.3)$$

Pemilihan sistem pemompaan ini sangat bergantung pada debit air yang masuk (*water inflow*), yang bersumber dari air tanah (akuifer), air rembesan permukaan, maupun air sisa operasional penambangan. Dalam kajian teknis, efisiensi sistem ini diukur berdasarkan kemampuan pompa dalam mengatasi *Total Dynamic Head* (TDH) yang terdiri dari elevasi, rugi-rugi gesek (*friction loss*), dan tekanan sisa.

2.2.3 Air Tambang (*Mine Water*)

Air tambang (*mine water*) didefinisikan sebagai seluruh air yang memasuki area penambangan, yang harus dikeluarkan atau dikendalikan untuk menjamin keamanan dan kelancaran kegiatan operasional. Dalam penambangan bawah tanah, sumber masuknya air (*inflow*) cenderung lebih bervariasi dan kompleks dibandingkan dengan tambang terbuka, di mana faktor geohidrologi memiliki peran dominan. Pemahaman yang akurat mengenai sumber dan karakteristik air tambang ini sangat penting dalam perancangan sistem penirisan yang efektif (Alhamid, 2019).

Sumber-sumber air yang umum ditemukan pada operasi tambang bawah tanah dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Air Tanah (*Groundwater*)

sumber *inflow* utama dan paling signifikan dalam tambang bawah tanah. Air tanah masuk melalui:

a. Rembesan (*Seepage*)

Air yang merembes secara perlahan melalui dinding, atap, atau lantai terowongan melalui celah, pori, atau retakan kecil pada massa batuan yang dilewati. Debit rembesan bergantung pada permeabilitas batuan dan gradien hidrolik.

b. Aliran Cepat (*Inrush*)

Serbuan air yang tiba-tiba dan dalam volume besar, sering terjadi ketika bukaan tambang menembus atau mendekati akuifer yang

bertekanan tinggi, atau menembus badan air yang terperangkap (seperti *old workings* yang terisi air). *Inrush* merupakan risiko bahaya terbesar dalam tambang bawah tanah.

c. Patahan dan Kekar

Struktur geologi seperti patahan, kekar, atau *joint* sering bertindak sebagai saluran alami (konduit) yang mempercepat pergerakan air tanah menuju bukaan tambang.

2. Air Permukaan (*Surface Water*)

Air permukaan adalah air yang berasal dari atas permukaan tanah dan berpotensi masuk ke dalam tambang melalui bukaan akses (rampa atau *shaft*) atau melalui zona batuan penutup yang memiliki permeabilitas tinggi. Sumber air permukaan meliputi:

a. Air Hujan (Curah Hujan)

Air hujan yang jatuh di sekitar area bukaan tambang dan meresap ke dalam tanah lalu mengalir ke dalam terowongan melalui jalur-jalur rembesan.

b. Aliran Sungai atau Danau

Jika lokasi tambang bawah tanah berada di bawah badan air alami, rembesan dari badan air tersebut ke dalam tambang dapat terjadi jika lapisan batuan pelindung tidak kedap air atau memiliki rekahan yang terhubung langsung.

3. Air Operasional (*Service Water*)

Ini adalah air yang digunakan dalam kegiatan harian tambang itu sendiri dan kemudian menjadi air buangan (limbah) yang harus dikeluarkan. Contohnya:

a. Air Pengeboran (*Drilling Water*)

Air yang digunakan untuk mendinginkan mata bor atau menekan debu saat proses pengeboran.

b. Air Penyemprotan Debu

Air yang disemprotkan untuk mengontrol debu di udara tambang.

c. Air Hidrolik

Air yang digunakan dalam sistem hidrolik tertentu, meskipun sebagian besar sistem modern menggunakan cairan non-air, sisa-sisa air dapat berasal dari kebocoran atau pembersihan.

Total debit air tambang yang harus ditangani oleh sistem *dewatering* adalah akumulasi dari semua sumber *inflow* tersebut. Debit ini bersifat dinamis dan dapat berubah signifikan, terutama dipengaruhi oleh musim (curah hujan tinggi) dan kemajuan bukaan tambang (penembusan zona patahan baru). Oleh karena itu, sistem penirisan harus dirancang berdasarkan debit maksimum yang mungkin terjadi.

2.2.3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas

Pemompaan

Efektivitas sistem penirisan tambang bawah tanah tidak hanya bergantung pada kapasitas pompa yang terpasang, tetapi juga dipengaruhi oleh sejumlah faktor dinamis yang berasal dari lingkungan alam dan manajemen operasional. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini krusial untuk mencegah kegagalan sistem dan merencanakan langkah mitigasi (Khusairi & Kasim, 2017). Faktor-faktor tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Faktor Hidrogeologi dan Geologi (Debit Air Masuk)

Faktor-faktor ini secara langsung menentukan volume air yang harus ditangani oleh sistem

a. Curah Hujan dan Iklim

Curah hujan yang tinggi secara signifikan akan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah dan mempercepat rembesan air permukaan ke dalam bukaan tambang. Perubahan musim dari kemarau ke penghujan sering menjadi penyebab lonjakan *inflow* (*peak flow*).

b. Permeabilitas dan Porositas Batuan

Karakteristik massa batuan di sekitar terowongan sangat menentukan laju aliran air. Batuan yang memiliki permeabilitas tinggi (misalnya, batupasir dengan banyak

rekahan atau zona patahan) akan mempercepat transfer air tanah ke area kerja.

c. Kondisi Geologi (Kekar dan Patahan)

Keberadaan struktur geologi seperti kekar, sesar, atau patahan bertindak sebagai saluran air alami (*natural conduits*). Jika bukaan tambang menembus atau berdekatan dengan struktur ini, debit air dapat meningkat drastis dan tidak terduga.

2. Faktor Teknis Peralatan (Kapasitas dan Kinerja)

Faktor ini terkait dengan kualitas, desain, dan kondisi peralatan yang digunakan

a. Kesesuaian Pompa (*Duty Point*)

Pompa harus beroperasi mendekati *Best Efficiency Point* (BEP) pada kurva karakteristiknya. Jika pompa dipaksa beroperasi jauh dari BEP (misalnya, karena *head* gesekan yang terlalu tinggi), efisiensinya akan menurun tajam, dan pompa cepat mengalami kerusakan.

b. Kerusakan dan Keausan Peralatan

Komponen seperti *impeller* dan *casing* pompa dapat mengalami abrasi parah akibat pemompaan air yang mengandung sedimen tinggi. Keausan ini secara langsung mengurangi *head* dan kapasitas pompa.

c. Desain dan Kerugian Pipa (*Head Losses*)

Diameter pipa yang tidak sesuai, penggunaan *fitting* yang berlebihan, atau kondisi pipa yang sudah tua (menyebabkan kekasaran meningkat) akan menyebabkan *head losses* yang tinggi, memaksa pompa bekerja lebih keras dari yang direncanakan.

d. Efektivitas *Sump*

Kapasitas *sump* yang kurang memadai tidak memberikan waktu yang cukup bagi sedimen untuk mengendap, yang berujung pada pemompaan air berlumpur.

3. Faktor Manajemen dan Operasional

Aspek non-teknis yang sangat memengaruhi kelangsungan sistem:

a. Jadwal Perawatan (*Maintenance*)

Program perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang tidak teratur, khususnya pada pompa dan *sump*, akan meningkatkan risiko kegagalan mendadak.

b. Ketersediaan Daya Listrik

Sistem pemompaan yang andal membutuhkan pasokan daya listrik yang stabil. Fluktuasi atau pemadaman daya dapat menghentikan operasi pompa, menyebabkan penumpukan air yang kritis.

c. Penempatan Pompa dan Pengawasan

Penempatan pompa yang tidak strategis (terlalu tinggi dari dasar *sump* atau tidak stabil) serta kurangnya pengawasan lapangan dapat menyebabkan *cavitation* atau pengoperasian pompa dalam kondisi kering, yang memperpendek umur peralatan.

2.2.3.2 Komponen Utama Sistem Pemompaan Air Tambang Bawah Tanah

Menjalankan fungsinya secara optimal, sistem pemompaan terdiri dari berbagai komponen mekanis dan elektrik yang harus terintegrasi. Komponen-komponen tersebut meliputi:

1. Unit Pompa (*Pump Unit*)

Pompa adalah komponen utama yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik pada cairan. Jenis pompa yang paling umum digunakan pada tambang bawah tanah adalah:

a. Pompa Sentrifugal

Digunakan untuk menangani debit air yang besar dengan *head* yang bervariasi. Seringkali menggunakan tipe *multi-stage* (banyak impeler) untuk mencapai *head* yang tinggi.

b. Pompa Submersible

Pompa yang seluruh unitnya (motor dan pompa) terendam dalam air. Kelebihannya adalah tidak memerlukan *priming* (pengisian awal) dan sangat praktis untuk area yang sering tergenang.

2. Motor Penggerak (*Prime Mover*)

Pada tambang bawah tanah, motor listrik adalah penggerak yang paling umum digunakan karena tidak menghasilkan gas buang beracun. Pada tambang batubara bawah tanah yang berisiko gas metan (seperti di Ombilin), motor harus memiliki spesifikasi *Flameproof* atau *Explosion Proof* untuk menjamin keamanan operasional.

3. Pipa Penyalur (*Discharge Pipeline*)

Pipa berfungsi mengalirkan air dari pompa menuju tempat pembuangan. Material pipa yang umum digunakan adalah:

a. Pipa HDPE (*High-Density Polyethylene*)

Tahan terhadap korosi, fleksibel, namun memiliki batasan tekanan tertentu.

b. Pipa Baja (*Steel Pipe*)

Digunakan untuk tekanan tinggi (terutama pada jalur vertikal atau *deep shaft*), namun memerlukan proteksi terhadap korosi (galvanis).

4. Sumuran (*Sump*)

Sump berfungsi sebagai tempat penampungan air sementara sebelum dipompa. Kapasitas *sump* harus diperhitungkan dengan cermat agar mampu menampung *inflow* puncak dan memberikan waktu tinggal bagi lumpur untuk mengendap, sehingga air yang masuk ke pompa relatif bersih dari partikel padat yang dapat merusak impeler.

5. Katup dan Aksesoris (*Valves and Accessories*)

a. *Check Valve* (Katup Satu Arah)

Mencegah aliran balik air saat pompa mati (mencegah *water hammer*).

b. *Gate Valve*

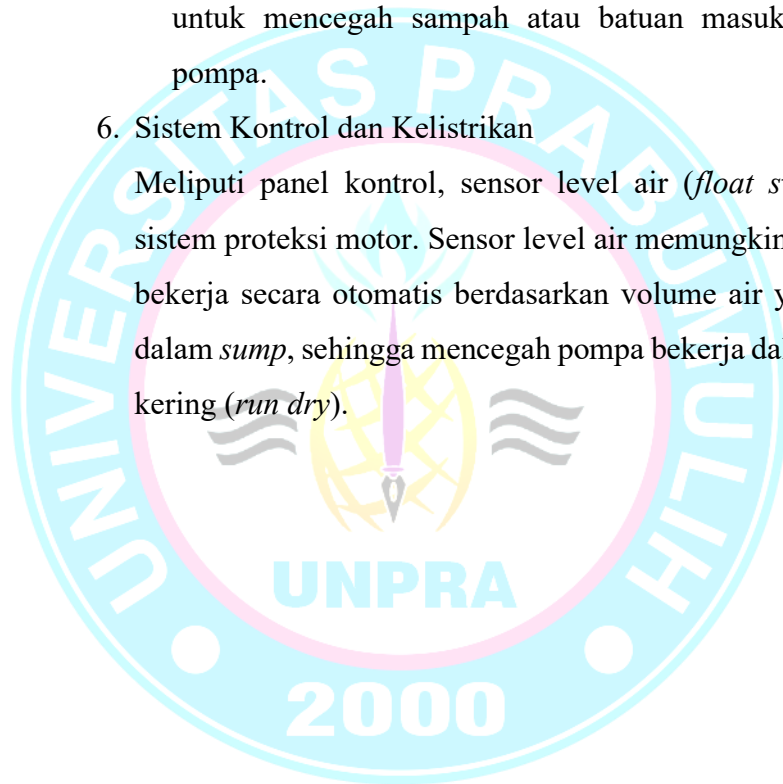
Digunakan untuk menutup aliran secara penuh saat dilakukan perawatan (*maintenance*).

c. Strainers

Saringan yang dipasang pada ujung pipa hisap (*suction*) untuk mencegah sampah atau batuan masuk ke dalam pompa.

6. Sistem Kontrol dan Kelistrikan

Meliputi panel kontrol, sensor level air (*float switch*), dan sistem proteksi motor. Sensor level air memungkinkan pompa bekerja secara otomatis berdasarkan volume air yang ada di dalam *sump*, sehingga mencegah pompa bekerja dalam kondisi kering (*run dry*).



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Rencana pelaksanaan penelitian ini adalah selama dua bulan, mulai dari Februari sampai bulan Maret 2026. Rencana pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 3.1 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian

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

Sumber: Penulis, 2025

3.2 Tahapan Penelitian

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

1. Observasi lapangan
2. Pengambilan data

Data-data yang dibutuhkan sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh baik itu secara langsung di lapangan, yang dilakukan di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin.

Data primer yang akan di ambil dalam penelitian:

- 1) Debit air masuk dan keluar
- 2) Jam operasional pompa perhari

3) Sumber air

b. Data Sekunder

Data sekunder yang akan di ambil pada penelitian ini:

- 1) Data geologi daerah penelitian
- 2) Peta topografi
- 3) Data curah hujan
- 4) Peta IUP
- 5) Demensi sump
- 6) Kapasitas pompa
- 7) Total pompa

3. Pengolahan Data

Teknik pengumpulan data merupakan langkah sistematis untuk memperoleh data yang valid dan reliabel guna menunjang analisis penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi antara observasi lapangan langsung dan studi literatur/dokumen perusahaan. Data yang dikumpulkan dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti melalui pengamatan dan pengukuran di lapangan (area tambang bawah tanah). Langkah-langkah pengumpulan data primer meliputi:

1) Pengukuran Debit Air Masuk dan Keluar

a) Teknik

Dilakukan pengukuran debit air aktual (*actual debit*) yang masuk ke dalam sump (*inflow*) dan debit air yang dipompakan keluar (*outflow*). Pengukuran dapat dilakukan menggunakan metode *velocity-area* (mengukur kecepatan aliran dan luas penampang basah saluran) atau metode volumetrik sederhana pada pipa outlet pompa.

b) Tujuan

Untuk mengetahui beban air aktual yang harus ditangani oleh sistem penirisan.

2) Pencatatan Jam Operasional Pompa (Awal dan Akhir):

a) Teknik

Melakukan pencatatan langsung atau melihat *log sheet* operasional pompa di lapangan untuk mengetahui durasi kerja efektif pompa dalam satu hari (24 jam). Data ini mencakup waktu *start* dan *stop* pompa.

b) Tujuan

Untuk menghitung kapasitas pemompaan harian dan mengevaluasi efisiensi waktu kerja pompa.

3) Identifikasi Sumber Air

Melakukan penelusuran visual di sepanjang bukaan tambang untuk memetakan titik-titik rembesan air tanah (*seepage*), air dari kegiatan pengeboran, atau aliran air permukaan yang masuk. bertujuan mengetahui karakteristik sumber air dominan untuk menentukan penanganan yang tepat.

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data pendukung yang diperoleh dari dokumen perusahaan, laporan terdahulu, dan literatur yang tersedia di PT BA UPO. Data ini meliputi:

1) Peta dan Data Geospasial

Peta kesampaian daerah, Peta topografi, Peta IUP: Digunakan untuk mengetahui orientasi lokasi, elevasi permukaan, dan batas wilayah studi. Peta geologi dan peta litologi: Digunakan untuk menganalisis kondisi batuan dan struktur geologi yang mempengaruhi permeabilitas dan potensi air tanah.

2) Data Hidrologi

Data curah hujan harian/bulanan (biasanya data 5-10 tahun terakhir) untuk menganalisis debit air limpasan (*runoff*) yang berpotensi masuk ke tambang.

3) Spesifikasi Teknis Fasilitas Penirisan

Dimensi Sump, Data volume dan ukuran kolam penampungan air eksisting. Serta spesifikasi Pompa (Kapasitas dan Total Pompa):

Data teknis pompa (merk, *head*, debit desain, RPM) dan jumlah unit yang terpasang.

4. Analisis Data

Setelah data terkumpul, tahap selanjutnya adalah pengolahan dan analisis data. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis kuantitatif deskriptif, yaitu menghitung parameter teknis berdasarkan rumus-rumus empiris tambang dan membandingkannya dengan kondisi aktual di lapangan. Alasan penggunaan teknik ini adalah untuk mendapatkan gambaran objektif mengenai kemampuan sistem penirisan (*mine dewatering*) dalam menangani debit air yang ada. Langkah-langkah analisis data meliputi

a. Analisis Debit Air Tambang (*Mine Water Inflow*)

Menghitung total debit air yang masuk ke tambang (Q total) yang merupakan penjumlahan dari debit air limpasan hujan dan debit air tanah/rembesan. Analisis ini penting untuk menentukan target volume air yang harus dikeluarkan agar area kerja tidak tergenang.

b. Analisis Kapasitas dan Kinerja Pompa

Menghitung kapasitas nyata pompa berdasarkan debit yang terukur di lapangan. Menghitung head total pompa yang meliputi *Head Statis* (beda tinggi elevasi) dan *Head Losses* (kerugian gesek dalam pipa, belokan, dan katup). Membandingkan kapasitas pompa terpasang dengan debit air yang masuk. Tujuannya adalah untuk menjawab apakah pompa saat ini mampu menangani debit air (sesuai rumusan masalah).

c. Evaluasi Dimensi Sump (Kolam Penampungan)

Mengevaluasi apakah volume *sump* saat ini cukup untuk menampung air saat pompa tidak beroperasi atau saat terjadi lonjakan debit air. Analisis ini digunakan untuk memastikan *sump* dapat berfungsi sebagai pengendap lumpur (*settling pond*) sebelum air dipompa, guna menjaga keawetan pompa.

d. Penarikan Kesimpulan dan Rekomendasi

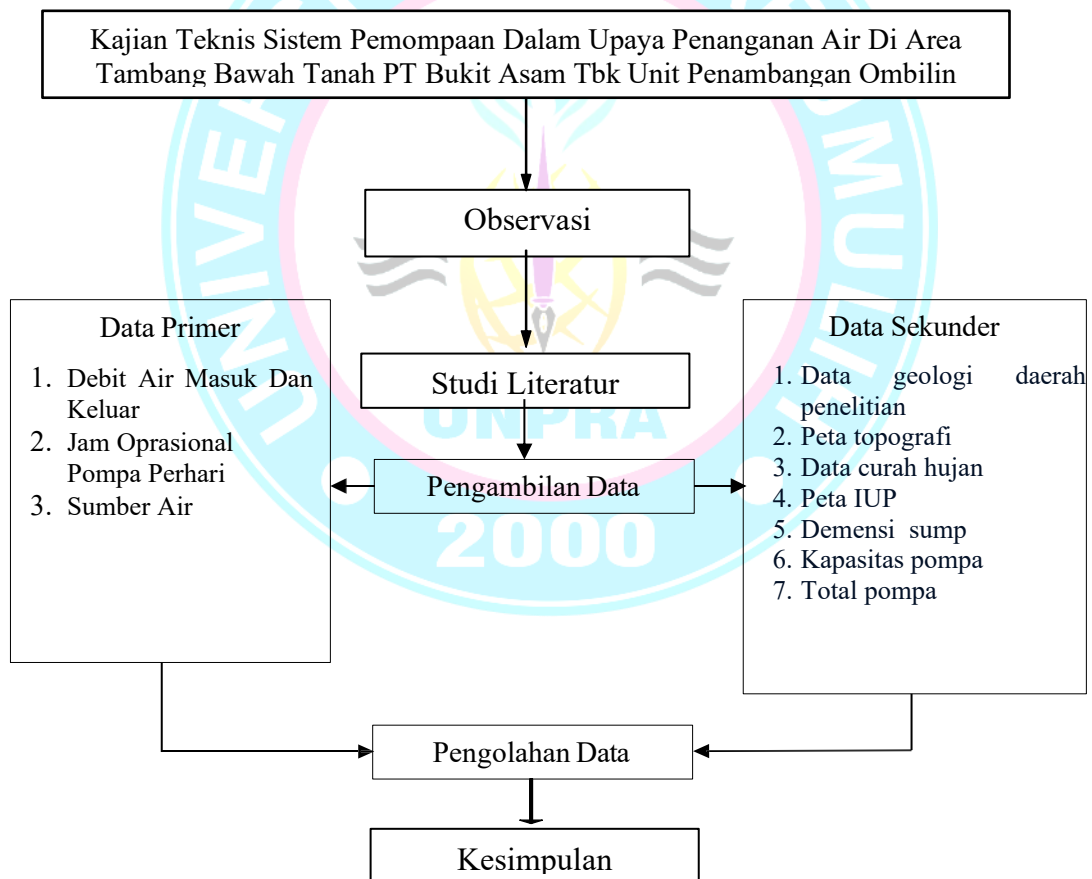
Berdasarkan hasil perhitungan di atas, akan disimpulkan apakah sistem saat ini "Efektif" atau "Tidak Efektif". Jika tidak efektif, akan diberikan rekomendasi teknis seperti penambahan unit pompa, penggantian diameter pipa, atau perluasan dimensi *sump*.

5. Rekomendasi/Kesimpulan

Rekomendasi / kesimpulan merupakan hasil yang didapat dari analisis data.

3.3 Bagan Alir Penelitian

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



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini menggambarkan tahapan kajian teknis sistem mine dewatering di PT Bukit Asam Tbk, yang dimulai dari observasi lapangan dan studi literatur sebagai dasar penelitian. Proses dilanjutkan dengan pengambilan data yang terbagi menjadi data primer (debit air, jam operasi pompa, sumber air) dan data sekunder, yang kemudian disatukan dalam tahap pengolahan data untuk menghasilkan analisis teknis (Gambar 3.1).

3.4 Teknik Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Teknik pengumpulan dan pengolahan data merupakan tahapan operasional yang sistematis untuk memastikan seluruh data yang diperoleh di area Lubang Pendidikan Sawah Luwung PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin (PT BA UPO) memiliki validitas tinggi dan dapat dianalisis secara ilmiah. Berdasarkan tujuan penelitian untuk mengkaji sistem pemompaan bertingkat (*stage pumping*), alur pengumpulan dan pengolahan data diuraikan secara rinci sebagai berikut:

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu data primer yang diperoleh langsung melalui observasi dan pengukuran lapangan, serta data sekunder yang bersumber dari dokumen resmi serta basis data teknis perusahaan.

1. Data Primer

Data primer dikumpulkan secara langsung oleh peneliti di bawah permukaan tanah (*underground*) pada tiga titik stasiun pompa utama, yaitu *Junction 6 (J6)*, *Junction 7 (J7)*, dan *Junction 14 (J14 / Pompa Tandem)*. Metode pengumpulan data meliputi:

a. Pengukuran Debit Air Masuk (*Inflow*) dan Keluar (*Outflow*)

1) Teknik Pengukuran *Inflow*

Pengukuran debit air masuk ke kolam penampung (*sump*) J6 dan J7 dilakukan menggunakan metode volumetrik langsung atau metode area-kecepatan (*velocity-area method*) pada saluran terbuka drainase terowongan sebelum masuk ke *sump*. Debit air tanah (*groundwater*) dari intrusi akuifer diukur pada titik-titik rembesan dominan di dinding terowongan (*seepage*)

menggunakan wadah ukur berkapasitas konstan dan alat pencatat waktu (*stopwatch*).

2) Teknik Pengukuran *Outflow*

Pengukuran laju alir keluar (*outflow*) aktual pompa dilakukan dengan mencatat kapasitas pemindahan fluida rata-rata dari masing-masing stasiun pompa (J6 sebesar 1 liter/detik; J7 sebesar 2,5 liter/detik; J14/Tandem sebesar 2,5 - 3 liter/detik). Pengukuran ini disesuaikan dengan volume fluida yang keluar dari pipa outlet pembuangan akhir di permukaan bak penampung beton titik J38.

b. Pencatatan Jam Operasional Pompa Harian

1) Teknik Pengumpulan

Peneliti mengumpulkan data sekaligus melakukan verifikasi langsung terhadap *buku catatan log manual harian* yang diisi oleh Operator Pompa (Pekerja Pompa) selama periode 10 Maret 2026 hingga 10 April 2026 (3 shift kerja per hari).

2) Parameter yang Dicatat

Waktu mulai (*start*) dan berhenti (*stop*) operasional setiap unit aktif (Pompa Orion J7, *Flyght*, dan Orion J6) untuk mengetahui total durasi kerja efektif harian dalam satuan jam dan menit.

c. Identifikasi Sumber Air dan Titik Kerentanan Hidrogeologis

Melakukan pemetaan visual secara teratur di sepanjang jalur Lubang Pendidikan Sawah Luwung (total panjang terowongan ± 1.270 meter atau 1,27 km). Peneliti mengamati jalur aliran air gravitasi bumi dari titik tertinggi hingga terkumpul di titik terdalam (STA 3-25, Elevasi 157.146 mdpl pada stasiun J6) serta mendokumentasikan kondisi fisik genangan lumpur batubara (*coal fines*) yang terjadi saat sistem kelistrikan mengalami kegagalan.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis yang divalidasi oleh Satuan Kerja Perencanaan UPO dan departemen terkait di PT BA UPO:

a. Data Spasial dan Geologi Regional

- 1) Peta Administrasi IUP PT Bukit Asam Tbk: Untuk mengetahui batasan legal wilayah operasi penambangan batubara.
- 2) Peta Geologi Area IUP Ombilin: Untuk mengidentifikasi satuan batuan penyusun (seperti satuan perselingan batupasir-batulanau dan batupasir sisipan batubara Formasi Sawahlunto) serta struktur patahan/sesar yang bertindak sebagai konduit hidrogeologi pembawa air tanah.
- 3) Peta Daerah Tangkapan Air Hujan (DTAH): Meliputi DTA Aie Pakannama, DTA Aie Sigalutgadang, DTA Batang Ombilin, dan lainnya, untuk menganalisis potensi infiltrasi air limpasan permukaan (*run-off*) ke dalam sistem amblesan (*subsidence*) tambang bawah tanah.

b. Spesifikasi Geometri dan Infrastruktur Penyaliran (*Dewatering*)

- 1) Dimensi Aktual Kolam Penampungan (*Sump*): Data spesifikasi ukuran fisik *sump* di J6 ($P = 5\text{m}$, $L = 3\text{m}$, $D = 4\text{m}$) dan J7 ($P = 6\text{m}$, $L = 2\text{m}$, $D = 4\text{m}$) serta dimensi fisik Bak Sedimen (*Sediment Pond* / Bak Beton) di titik J38.
- 2) Spesifikasi Teknis Unit Pompa: Mencakup daya motor penggerak (11 kW hingga 30 kW), tegangan operasional (500 Volt), diameter instalasi pipa penyalur baja (diameter 4 *inch*), jumlah sambungan pipa (terdiri dari 20 batang pipa berukuran 4 meter di jalur J6-J7), serta tata letak stasiun pompa berdasarkan Peta *Layout* Lubang Sawah Luwung skala 1:2.500.

3.4.2 Teknik Pengolahan Data

Setelah seluruh data primer dan sekunder terkumpul, proses pengolahan data dilakukan secara matematis-analitis menggunakan metode kuantitatif

deskriptif. Hasil pengolahan data ini diproyeksikan untuk menjawab rumusan masalah mengenai kapasitas aktual sistem pemompaan dalam menghadapi beban air tambang. Tahapan pengolahan data meliputi:

1. Pengolahan Data Geometri Tampungan (*Sump Volume*)

Menghitung kapasitas tampung volumetrik maksimal dari kolam penampung air (*sump*) di stasiun J6 dan J7 untuk mengetahui batas toleransi waktu akumulasi fluida sebelum terjadi luapan (*overtopping*). Rumus perhitungan volume geometris

$$V_{\text{sump}} = P \times L \times D$$

Di mana:

V_{sump} = Volume tampungan maksimal sumur (m^3)

P = Panjang *sump* (m)

L = Lebar *sump* (m)

D = Kedalaman *sump* (m)

Hasil Olahan Kapasitas tampung maksimal untuk *Sump* J6 sebesar 60 m^3 dan *Sump* J7 sebesar 48 m^3 .

2. Pengolahan Jam Operasional dan Konversi Debit Aktual Harian

Mengonversi durasi kerja pompa per shift dari data log harian (Tabel B.1) menjadi total volume pemompaan aktual per hari $Q_{\text{out-harian}}$. Mengingat kapasitas debit pompa terukur adalah dalam satuan liter/detik (L/s), maka konversi ke meter kubik per jam (m^3/jam) dan pemompaan harian dilakukan dengan rumus:

$$Q_{\text{pompa}} (\text{m}^3/\text{jam}) = Q (\text{L/s}) \times \frac{3600 \text{ detik}}{1000 \text{ liter}}$$

$$V_{\text{out-harian}} (\text{m}^3) = Q_{\text{pompa}} (\text{m}^3/\text{jam}) \times t_{\text{operasi}} (\text{jam/hari})$$

Di mana:

a. Q_{pompa} = Kapasitas debit pompa per jam (m^3/jam)

b. Q_{aktual} = Debit hasil pengukuran langsung (L/s)

c. $V_{\text{out-harian}}$ = Akumulasi volume air yang berhasil dikeluarkan per hari (m^3/hari)

d. T_{operasi} = Durasi total jam operasional pompa harian gabungan 3 shift (rata-rata 14 jam/hari).

3. Analisis Neraca Air Tambang (*Water Balance Analysis*)

Membandingkan debit air masuk (*inflow* kontinu dari rembesan air tanah dan percolation air hujan) dengan kapasitas laju pengeluaran pompa (*outflow*). Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi *margin of safety* dan tingkat kerentanan sistem pemompaan bertingkat. Jika:

- a. $Q \text{ inflow} > Q \text{ outflow}$

Terjadi akumulasi air positif di dasar tambang (kondisi banjir/genangan di J6).

- b. $Q \text{ inflow} = Q \text{ outflow}$

Sistem berada pada batas kritis (pompa harus bekerja kontinu tanpa henti).

- c. $Q \text{ inflow} < Q \text{ outflow}$

Sistem aman, terdapat waktu tunda (*cooling down time*) bagi motor listrik pompa.

4. Evaluasi Hambatan Hidrolis Perpipaan (*Head Loss*)

Menganalisis tahanan aliran akibat gesekan fluida sepanjang jalur pipa baja 4 *inch* yang berkarat. Evaluasi ini memanfaatkan parameter jumlah belokan (*fitting*) dan panjang pipa aktual untuk menentukan penurunan efisiensi pompa (*head loss*) menggunakan pendekatan empiris atau perbandingan kurva performa standar pabrikan pompa terhadap kondisi riil di terowongan.

5. Penyusunan Rekomendasi Teknis

Hasil perhitungan kuantitatif di atas disintesis ke dalam bentuk visualisasi grafis dan tabel rekapitulasi guna merumuskan rekomendasi praktis berupa:

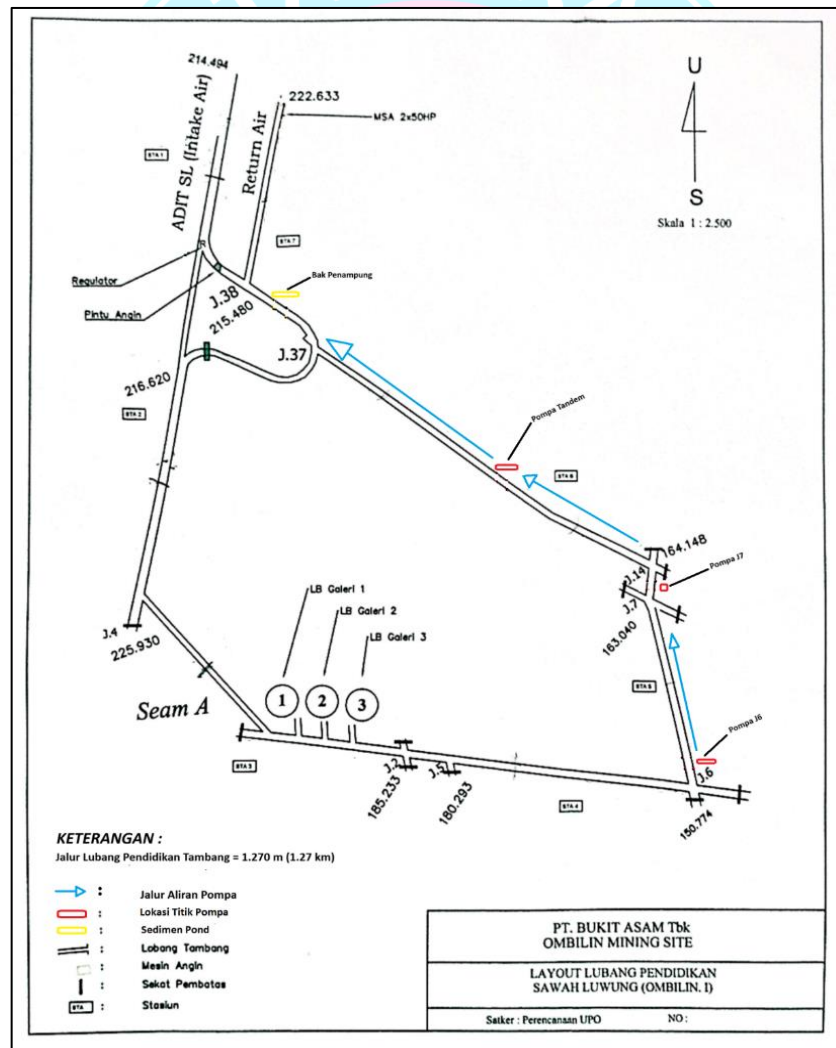
- Kapasitas daya minimal genset cadangan (*backup power*) agar tidak terjadi *trip* akibat lonjakan arus awal (*starting current*).
- Kebutuhan peningkatan diameter dan material pipa (rekomendasi penggantian pipa baja korosif dengan pipa HDPE).
- Penentuan kapasitas debit pompa baru (L/s) untuk stasiun J6 agar proses pengurasan area (*drawdown time*) dapat berlangsung lebih cepat dan aman bagi kelancaran operasional lori.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi dan Skema Sistem Pemompaan Saat Ini

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan tinjauan terhadap *layout* lubang pendidikan Sawah Luwung (sebagaimana ditunjukkan pada Peta *Layout* Lubang Pendidikan Sawah Luwung), penanganan *elevasi* yang bervariasi pada tambang bawah tanah ini memaksa penerapan sistem pemompaan yang tidak dapat dilakukan secara langsung (*direct pumping*) ke permukaan. PT BA UPO menerapkan Sistem Pemompaan Bertingkat (*Stage/Estafet Pumping System*).



Sumber : Perencanaan UPO, (2026)

Gambar 4.1 Layout Skema Pompa Tambang Sawah Luwung

Skema estafet ini dibagi menjadi tiga tahapan proses pemindahan fluida yang dirancang untuk mengatasi *Total Dynamic Head* (TDH) yang terlampau besar jika dipaksakan menggunakan satu unit pompa tunggal. Berikut adalah rincian skema tahapan pemompaan eksisting:

1. Tahap Pertama (Titik J6 menuju Titik J7)

Titik J6 merupakan elevasi terdalam (*lowest point*) pada kontur penambangan saat ini yang menjadi area resapan utama (*catchment area*). air yang terakumulasi ditampung dalam sebuah kolam penampung (*sump*) berukuran:

Panjang : 5m

Lebar : 3m

Dalam : 4m

Untuk memindahkan fluida dari titik ini, dioperasikan pompa sentrifugal. Pada stasiun pompa J6 ini, terdapat konfigurasi 2 unit pompa sentrifugal (1 unit beroperasi sebagai pompa utama, dan 1 unit sebagai *standby/cadangan*). Pompa utama yang digerakkan oleh motor listrik 500 Volt / 11 kilo watt ini memompa air melalui instalasi perpipaan berdiameter 4 *inch* (sepanjang ± 80 meter yang terdiri dari 20 batang pipa berukuran 4 meter) menuju *sump* di stasiun J7.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.2 Kondisi Aktual Pada J6

2. Tahap Kedua (Titik J7 menuju Jalur *Mine Grading* / Pompa Tandem)

Titik J7 berfungsi sebagai stasiun relai perantara (*intermediate sump*). Air yang dipompakan dari J6 masuk ke *sump* J7 yang berdimensi

Panjang : 6m

Lebar : 2m

Dalam : 4m

Distasiun J7, konfigurasi permesinan lebih besar untuk mengantisipasi *head* yang lebih tinggi. Terdapat 2 unit pompa (1 utama, 1 cadangan) dengan spesifikasi daya motor 22 kW dan 30 kW (500 Volt). Pompa utama di J7 bertugas mengisap air dari *sump* J7 dan mendorongnya naik menuju stasiun pompa Tandem yang berlokasi strategis di jalur *mine grading*, tepatnya di antara titik stasiun (STA) J14 dan J37.

3. Tahap Ketiga (Pompa Tandem menuju Titik J38 dan Permukaan)

Pompa tandem berfungsi sebagai *booster* akhir. Air yang diterima dari dorongan pompa J7 langsung dipompa kembali menuju bak penampung akhir yang terbuat dari konstruksi beton di titik J38. Dari bak penampung J38 inilah, elevasi sudah memungkinkan agar air dialirkan (baik secara gravitasi maupun dengan dorongan sisa) melalui instalasi pipa sepanjang ± 104 meter menuju area luar lubang tambang, hingga akhirnya dibuang (*discharged*) ke badan sungai terdekat di sekitar area operasional tambang.

Skema tiga tahapan ini, secara teori hidrolika, sangat logis diterapkan pada geometri tambang sawah luwung. Penggunaan pipa baja berdiameter 4 *inch* (seperti yang terlihat pada lampiran foto perpipaian) di seluruh jaringan berfungsi untuk menjaga kecepatan aliran fluida (*velocity*) tetap stabil dan meminimalisir *friction loss* (kerugian gesek) pada dinding pipa, meskipun korosi pada pipa eksisting patut menjadi perhatian untuk keberlanjutan operasi jangka panjang.

4.2 Analisis Karakteristik Debit Air Aktual dan Dampak Kegagalan Sistem Tenaga Listrik di Titik J6

Analisis terhadap sumber air yang masuk ke dalam bukaan tambang bawah tanah (*mine water inflow*) merupakan parameter paling kritis dalam menentukan dimensi sistem *dewatering*. Berdasarkan observasi visual mendalam dan analisis

kondisi lingkungan kerja di area terdalam tambang, khususnya pada titik stasiun pompa J6 (sebagaimana terekam pada lampiran foto kondisi genangan air di J6), ditemukan fenomena akumulasi air yang sangat masif. Genangan air ini terlihat merendam sebagian rel lori, instalasi perpipaan bawah, serta mengancam landasan motor pompa itu sendiri.

Dalam literatur hidrologi tambang, sering kali terjadi miskonsepsi bahwa air yang masuk ke tambang bawah tanah semata-mata berasal dari air limpasan permukaan yang masuk melalui mulut tambang atau sekadar rembesan (*seepage*) kecil dari pori-pori batuan. Namun, kajian analitis pada titik J6 membuktikan kondisi yang jauh lebih kompleks.

Fenomena genangan parah yang terekam pada area J6 tidak murni disebabkan oleh tingginya debit air alami, melainkan sangat dipicu oleh kegagalan sistem kelistrikan (*Power Outage*) di area operasional tambang. Peristiwa pemadaman listrik operasional (*grid failure*) menciptakan efek domino yang sangat destruktif terhadap stabilitas penanganan air tambang bawah tanah.

Sistem pemompaan utama di J6 dan J7 sangat bergantung pada motor induksi tiga fasa dengan tegangan 500 *Volt* dan daya besar (11 kW hingga 30 kW). Ketika terjadi pemadaman listrik dari pasokan utama, operasional pompa utama seketika terhenti. Dalam kondisi ideal, *Standard Operating Procedure* (SOP) akan segera mengalihkan beban ke generator set (Genset) cadangan.

Namun, kajian analitis di lapangan menunjukkan adanya defisit daya (*power deficit*) pada mesin genset cadangan. Kapasitas genset cadangan tidak mampu menyuplai daya awal (*starting current*) yang sangat tinggi untuk menyalakan pompa utama berdaya 30 kW dan 11 kW secara bersamaan, beserta infrastruktur ventilasi tambang yang juga membutuhkan daya krusial. Akibatnya:

1. Pompa Tidak Bekerja Maksimal

Operator terpaksa hanya menjalankan pompa cadangan yang mungkin memiliki kapasitas *head* atau debit lebih rendah, atau menjalankan pompa secara bergantian (*intermiten*) untuk menjaga beban genset agar tidak *trip*.

2. Kehilangan Laju Penirisan (*Loss of Dewatering Rate*)

Pada saat pompa utama mati, laju air tanah dan air resapan yang masuk ke J6 tidak pernah berhenti. Alam tidak mengenal pemadaman listrik. Air

tanah terus menekan masuk (*inflow*) dengan laju konstan (estimasi aktual > 1 liter/detik pada saat puncak).

3. Akumulasi Titik Kritis (*Critical Accumulation*)

Karena laju *outflow* (keluaran pompa) mendekati titik nol, sementara laju *inflow* terus berjalan, *sump* di J6 (yang bervolume 60 m³) dengan cepat terisi penuh. Setelah *sump* mengalami *overtopping* (meluap), air mulai menyebar dan merendam lantai terowongan, jalur rel lori, serta instalasi pipa, menciptakan genangan luas seperti yang terlihat jelas pada foto observasi.

4. Risiko Kerusakan Sekunder

Genangan lumpur dan air yang tercampur dengan sedimen partikel batubara (*coal fines*) ini menjadi sangat korosif dan abrasif. Peralatan motor listrik yang berada terlalu dekat dengan lantai rentan terhadap kelembapan ekstrem dan *short circuit* (korsleting). Selain itu, endapan lumpur yang tebal akan terhisap ke dalam *impeller* pompa saat pompa akhirnya berhasil dihidupkan, menyebabkan penurunan efisiensi pompa secara drastis (*pump wear and tear*).

Genangan di J6 adalah representasi visual dari ketidak seimbangan sistemik, debit konstan dari air tanah dan air resapan yang berhadapan dengan sistem penirisan yang lumpuh akibat ketergantungan absolut pada stabilitas kelistrikan yang gagal didukung oleh sistem cadangan (*backup power*) yang memadai.

4.3 Evaluasi Kebutuhan Unit Pompa Untuk Mengeringkan *Sump* Yang Tergenang

Pada bagian ini dilakukan kajian teknis yang mendalam mengenai volume genangan air mati (*static water*) di terowongan J6, kapasitas tampung kolam penampungan air (*sump*) J6, evaluasi kemampuan hisap aktual dari pompa terpasang, serta penentuan jumlah kebutuhan unit pompa ideal berdasarkan skenario pengurasan yang realistis.

Berdasarkan data pengukuran lapangan terowongan J6 mengalami genangan air yang meluas akibat akumulasi rembesan air tanah (*groundwater*) konstan dan

sisalimpasan air hujan yang mengalir secara gravitasi ke titik terendah. Genangan air ini membentang sepanjang 50 meter terhitung dari titik persimpangan (*junction*) J6 hingga menuju *sump* J6. Berdasarkan analisis dimensi geometri terowongan J6, terowongan yang tergenang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Panjang Terowongan = 50 m

Lebar Terowongan = 4,4 m

Tinggi/Kedalaman Genangan Maksimal = 2,5 m

Volume total ruang terowongan yang terisi penuh oleh genangan air dihitung dengan rumus volumetrik berikut :

Volume Terowongan J6 = $P \times L \times T$

Volume Terowongan J6 = $50 \text{ m} \times 4,4 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$
 $= 550 \text{ m}^3$

Jika dikonversikan ke dalam satuan liter ($1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ liter}$), maka total volume air maksimal yang dapat menggenangi area terowongan J6 sepanjang 50 meter tersebut adalah 550.000 liter.

Sump J6 berfungsi sebagai bak penampung sementara sebelum air dialirkan keluar terowongan oleh stasiun pompa. Dimensi fisik dari *sump* J6 aktual di lapangan adalah:

Panjang (P) = 5 meter

Lebar (L) = 3 meter

Kedalaman (D) = 4 meter

Kapasitas tampung maksimal dari *sump* J6 dihitung sebagai berikut:

Volume Sump J6 = $P \times L \times D$

Volume Sump J6 = $5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$
 $= 60 \text{ m}^3 \text{ (60.000 liter)}$

4.3.1 Analisis Kemampuan Pompa Aktual dan Jam Operasional di Terowongan J6

Merujuk pada catatan log harian operator pompa (Lampiran B), waktu operasi pompa rata-rata harian adalah 16 jam. Di stasiun pompa J6, perusahaan mengoperasikan dua unit pompa sentrifugal secara bersamaan dengan spesifikasi kapasitas hisap aktual:

Debit Pompa 1 (Q1) = 1,45 L/detik (Unit Orion J6 - motor 11 kW / 1450 RPM)

Debit Pompa 2 (Q2) = 1,46 L/detik (Unit Orion J7 - motor 22kW / 1460 RPM)

Debit Pompa 3 (Q3) = 1,45 L/detik (Unit Orion Tandem – motor 11kw / 1450 RPM)

Maka, total debit pengurasan aktual harian (Q) dari kombinasi kedua pompa tersebut adalah:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1,45 \text{ L/detik} + 1,46 \text{ L/detik} + 1,45 \text{ L/detik} = 4,36 \text{ L/detik}$$

Untuk mengetahui volume air yang berhasil dibuang selama waktu operasi 16 jam harian, dilakukan konversi waktu operasi harian ke satuan detik:

$$t = 16 \text{ jam} \times 3.600 \text{ detik/jam} = 57.600 \text{ detik}$$

Berdasarkan rumus debit ($V = Q \times t$), akumulasi volume air yang dapat dipompa keluar harian adalah:

$$V = 4,36 \text{ L/detik} \times 57.600 \text{ detik} = 167.616 \text{ liter}$$

Konversi volume air terpompa ke satuan meter kubik (m^3) adalah:

$$\frac{167.616 \text{ liter}}{1.000} = 167,616 \text{ m}^3$$

Apabila terowongan J6 diasumsikan terisi penuh oleh air semenjak terjadinya kegagalan sistem kelistrikan (*power outage*) dan diasumsikan tidak ada penambahan laju air masuk baru (*inflow*) selama proses pengurasan, maka sisa air tergenang yang masih tertahan di dalam terowongan dihitung dengan mengurangi volume terowongan total dengan volume air yang berhasil dipompa:

Sisa Air Tergenang = Volume Terowongan - Volume Air Terpompa

$$\text{Sisa Air Tergenang} = 550 \text{ m}^3 - 251,136 \text{ m}^3 = 298,864 \text{ m}^3 \text{ (298,864 liter)}$$

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa meskipun kedua pompa terpasang telah dioperasikan secara maksimal selama 16 jam, masih terdapat sisa air tergenang yang sangat besar, yaitu 298,864 liter (298.864 m^3). Hal ini menjelaskan mengapa genangan air di terowongan J6 bersifat persisten dan mengganggu operasional transportasi tambang bawah tanah jika tidak ada perubahan spesifikasi teknis pompa.

4.3.2 Perhitungan Kebutuhan Spesifikasi Pompa yang Ideal

Untuk mengatasi permasalahan genangan air secara tuntas tanpa membiarkan sisa air mengendap, diperlukan perencanaan spesifikasi pompa baru yang lebih andal. Berdasarkan analisis target praktis operasional, ditentukan target waktu pengeringan terowongan J6 secara total dalam kurun waktu 16 jam (selaras dengan durasi waktu kerja harian aktual).

1. Perhitungan Debit Minimal Teoritis

Untuk membuang total volume genangan air terowongan sebesar 550 m^3 (550.000 liter) dalam kurun waktu 16 jam (57.600 detik), maka kapasitas debit pemompaan minimal teoritis yang harus dicapai adalah:

$$Q = \frac{\text{Volume Terowongan}}{\text{Waktu Pengeringan}}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{550.000 \text{ liter}}{57.600 \text{ detik}} \\ &= 9,5486 \text{ L/detik} \\ &= 9,55 \text{ L/detik} \end{aligned}$$

2. Penerapan Faktor Keamanan (*Safety Factor*) Desain Pompa

Kondisi riil di dalam tambang bawah tanah Sawah Luwung memiliki berbagai hambatan mekanis dan hidrolis. Oleh karena itu, perencanaan spesifikasi pompa tidak boleh menggunakan angka teoritis pas-pasan (9,55 L/detik). Desain pompa harus memperhitungkan faktor kehilangan daya akibat:

- Kehilangan tinggi tekan (*head loss*) akibat gesekan dinding pipa baja yang mulai korosif.
- Penurunan efisiensi kerja mekanis pompa seiring waktu.
- Potensi kebocoran pada sambungan instalasi pipa penirisan.
- Adanya rembesan air tanah masuk (*inflow*) konstan selama proses pengurasan berlangsung.

Untuk mengatasi faktor-faktor tersebut, diterapkan faktor keamanan (*safety factor*) desain sebesar 25% atau dikalikan faktor 1,25:

$$\begin{aligned} Q &= Q \times 1,25 \\ Q &= 9,55 \text{ L/detik} \times 1,25 \\ &= 11,9375 \text{ L/detik} \end{aligned}$$

$$= 12 \text{ L/detik}$$

Dengan demikian, kapasitas debit total sistem pemompaan yang direkomendasikan untuk stasiun pompa J6 agar mampu mengeringkan terowongan secara andal berada pada kisaran 11 L/detik hingga 12 L/detik.

3. Analisis Konfigurasi Unit Pompa Ideal

Apabila perusahaan memutuskan untuk mempertahankan kebijakan pengoperasian 3 unit pompa secara paralel di stasiun J6 tanpa mengubah jumlah unitnya, maka kapasitas debit kerja ideal untuk masing-masing unit pompa dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Debit per Pompa} &= \frac{Q}{\text{Jumlah Unit Pompa}} \\ &= \frac{12 \text{ L/detik}}{3 \text{ Unit}} \\ &= 4 \text{ L/detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis tersebut, rekomendasi spesifikasi pompa baru yang sangat realistis untuk diterapkan di lapangan adalah:

a. Konfigurasi Standar

Menggunakan 3 unit pompa paralel berkapasitas masing-masing 4 L/detik (total kapasitas sistem 12 L/detik).

b. Konfigurasi Cadangan

Menggunakan 3 unit pompa paralel berkapasitas masing-masing 4,5 L/detik (total kapasitas sistem 13,5 L/detik) guna memberikan cadangan kapasitas ekstra yang lebih aman.

4. Analisis Komparatif

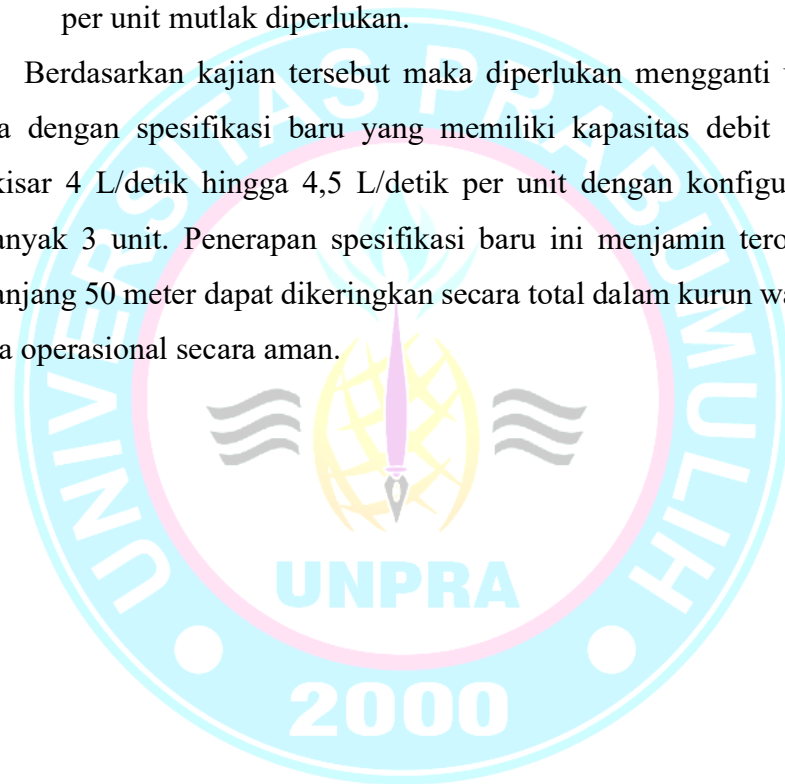
Kapasitas 2 L/detik - 3 L/detik per Pompa Tidak Memadai Untuk membuktikan ketidaklayakan jika hanya menggunakan unit pompa berkapasitas sedang (misalnya 3 L/detik per unit), berikut disajikan simulasi matematis jika mengoperasikan konfigurasi 3 unit pompa x 3 L/detik selama 16 jam kerja harian:

$$\begin{aligned} Q &= 3 \text{ unit} \times 3 \text{ L/detik} \\ &= 9 \text{ L/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Terpompa (16 Jam)} &= Q \times 57.600 \text{ detik} \\ \text{Volume Terpompa} &= 9 \text{ L/detik} \times 57.600 \text{ detik} \\ &= 518.400 \text{ liter (518,4 m}^3\text{)}\end{aligned}$$

Hasil komparasi ini menunjukkan bahwa total volume yang berhasil dibuang (518,4 m³) masih kurang dari volume genangan total terowongan yang sebesar 550 m³. Perhitungan ini bahkan belum memperhitungkan tambahan laju rembesan air konstan (*inflow*) yang terus masuk ke dalam tambang selama proses pemompaan berjalan. Oleh sebab itu, spesifikasi pompa dengan debit minimal 4 L/detik per unit mutlak diperlukan.

Berdasarkan kajian tersebut maka diperlukan mengganti unit pompa lama dengan spesifikasi baru yang memiliki kapasitas debit pengurasan berkisar 4 L/detik hingga 4,5 L/detik per unit dengan konfigurasi paralel sebanyak 3 unit. Penerapan spesifikasi baru ini menjamin terowongan J6 sepanjang 50 meter dapat dikeringkan secara total dalam kurun waktu 16 jam kerja operasional secara aman.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, pengamatan lapangan, dan pengolahan data teknis mengenai sistem penirisan air (*mine dewatering*) di PT BA UPO (Sawah Luwung), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang secara langsung menjawab rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Sistem penirisan yang diterapkan di tambang bawah tanah Sawah Luwung saat ini menggunakan *Sistem Pemompaan Bertingkat (Stage Pumping)* dengan tiga tahapan estafet. Air dipompa dari elevasi terendah di J6 menuju *Sump J7*, kemudian dilanjutkan ke Pompa Tandem di jalur *mine grading*, hingga akhirnya ditampung di bak J38 sebelum dikeluarkan ke sungai. Skema ini secara teoritis tepat untuk mengatasi *Head* elevasi yang tinggi, kondisi aktual di lapangan menunjukkan sistem ini sangat rentan terhadap efek *bottleneck* (kemacetan aliran). Kerusakan atau berhentinya satu titik pompa (misalnya di J6) akan secara langsung melumpuhkan seluruh skema penirisan tambang.
2. Volume debit air yang membanjiri area tambang, khususnya di elevasi terendah (J6), tidak hanya berasal dari rembesan ringan, melainkan didominasi oleh perpaduan antara intrusi Air Tanah (dari akuifer) dan Air Resapan Vertikal (infiltrasi permukaan). Laju masuknya air berjumlah 1,45 liter per detik (*inflow*) dan laju air keluar berjumlah 1,45 liter per detik bersifat masif dan konstan. Terjadinya genangan ekstrem di J6 terbukti merupakan akibat langsung dari pemadaman listrik operasional (*grid failure*) di mana suplai dari genset cadangan tidak memiliki daya yang cukup untuk menghidupkan dan mempertahankan kerja pompa utama secara maksimal. Hal ini menyebabkan akumulasi air yang cepat hingga meluapnya *sump J6*.
3. Untuk mengeringkan genangan air di terowongan J6 sebesar 550 m³ akibat luapan dari *sump*, dibutuhkan sistem pemompaan ideal dengan kapasitas debit total sebesar 12 L/detik (sudah memperhitungkan faktor keamanan

sebesar 25). Kebutuhan ini dapat terpenuhi secara optimal dengan menggunakan konfigurasi 3 unit pompa yang dipasang secara sejajar (paralel), di mana unit memiliki kapasitas hisap minimal 4 L/detik hingga 4,5 L/detik dengan menggunakan konfigurasi 3 unit pompa yang dipasang secara sejajar (paralel) dengan total kapasitas hisap gabungan sebesar 12 L/detik hingga 13,5 L/detik. Dengan penerapan unit ideal ini, seluruh volume genangan air di terowongan J6 dapat dikeringkan sepenuhnya dalam waktu 16 jam kerja harian, sehingga mampu mengeliminasi sisa genangan sebesar 298,864 m³ yang tidak mampu diselesaikan oleh konfigurasi pompa lama.

5.2 Saran

Sebagai upaya optimalisasi sistem pemompaan dan mitigasi risiko genangan di masa mendatang pada area tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk UPO, berikut adalah saran-saran akademis dan praktis yang direkomendasikan:

1. Peningkatan Kapasitas Cadangan Daya Listrik (*Backup Power Upgrading*)
Perusahaan sangat direkomendasikan untuk melakukan audit kelistrikan dan mengadakan *Genset* cadangan (*standby generator*) khusus untuk fasilitas penirisan yang kapasitas dayanya (kVA) dipastikan mampu menangani lonjakan *starting current* dari motor pompa J6 (11 kW) dan J7 (22/30 kW) secara serentak. Ketergantungan absolut pada suplai listrik eksternal merupakan risiko tertinggi (*single point of failure*) pada operasional penambangan bawah tanah.
2. Kapasitas pompa di J6 yang hanya 1 liter/detik dinilai tidak lagi relevan dengan debit air tanah dan resapan aktual. Disarankan untuk melakukan *upgrade* pada unit pompa utama di J6 menggunakan pompa sentrifugal atau *submersible* khusus tambang (*dewatering pump*) dengan kapasitas debit (*flow rate*) yang jauh lebih besar (minimal 5 hingga 10 liter/detik). Daya tampung *Sump* J6 = 60 m³ (60.000 liter) dan daya tampung *Sump* J7 = 48 m³ (48.000 liter). Kapasitas pompa yang lebih besar akan secara drastis mempercepat waktu pengeringan genangan (*drawdown time*) pasca pemadaman listrik dan mengurangi total jam operasional harian mesin.

3. Disarankan untuk segera mengganti unit pompa lama di J6 dengan unit pompa baru yang memiliki spesifikasi kapasitas debit sesuai hasil evaluasi teknis, yaitu minimal 4 L/detik hingga 4,5 L/detik per unit dengan konfigurasi 3 unit paralel. Penerapan spesifikasi ini sangat penting untuk memastikan target waktu pengurasan (*drawdown time*) dapat diselesaikan dalam waktu 16 jam kerja harian pasca-pemadaman listrik, guna mencegah genangan persisten yang dapat merusak infrastruktur rel lori.



DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. S. U., Irvani, I., & Andini, D. E. (2018). Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Open Pit Penambangan Timah (Studi Kasus Pt Menara Cipta Mulia, Kecamatan Kelapa Kampit *Proceedings Of National*
- Alhamid, M. A. (2019). Evaluasi sistem penyaliran tambang di PT. Kuasing Inti Makmur (PT. KIM) Muara Bungo, Jambi. *SKRIPSI-2018*.
- Adhi, Y. P., & Nurhakim, N. (2021). Evaluasi Sistem Penirisan Tambang Bawah Tanah pada *Tunnel 1* di PT X. *Jurnal Himasapta*, 6(1), 35-42. (Relevan untuk studi kasus tambang bawah tanah).
- Anaperta, Y. M. (2016). Analisis Teknis dan Ekonomis Sistem Penirisan Tambang Terbuka Batubara. *Jurnal Bina Tambang*, 3(1), 536-547.
- Arif, I., & Adisoma, G. S. (2019). Tantangan Pengelolaan Air Tambang di Indonesia: Studi Kasus Tambang Batubara. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 1(1), 15-24.
- Budiman, A. A. (2015). Sistem Penyaliran Tambang Pit AB EKS Pada PT. Andalan Mining Jobsite Kaltim Prima Coal Sangatta Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*.
- Basuki, B., & Cahyadi, T. (2018). Kajian Teknis Sistem Penirisan Tambang pada Penambangan Batubara. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 4(2), 112-119.
- Fajrin, A., & Elfida, A. (2022). Evaluasi Kinerja Pompa Centrifugal pada Sistem *Dewatering* Tambang Batubara. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 13(2), 45-52.
- Heriyadi, B., & Yulhendra, D. (2019). Analisis Dimensi *Sump* dan Kebutuhan Pompa pada Sistem Penirisan Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, 4(3), 213-222. (Relevan untuk perhitungan dimensi *Sump*).
- Hamdan, A. P., Anshariah, A., & ... (2023). Perencanaan Kebutuhan Pompa Untuk Sistem *Dewatering* Tambang Emas Desa Bakan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Journal of Mining*
- Komara, N. A. (2024). Rancangan water management dan catchment area di pit pinang south untuk optimasi plan dewatering pt kaltim prima coal tahun 2024-2026. *SKRIPSI-2024*.
- Khusairi, A. R., & Kasim, T. (2017). Kajian Teknis Sitem Penyaliran Tambang pada Tambang Terbuka Batubara PT Nusa Alam Lestari, Kenagarian Sinamar, Kecamatan Asam Jujuhan *Jurnal Bina Tambang*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta: Kementerian ESDM. (Lihat Lampiran II tentang Pengelolaan Air Tambang).

- Nugraha, A. S., & Bakri, S. (2020). Optimalisasi Sistem Penirisan Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process*. *Jurnal Pertambangan*, 4(1), 50-58.
- Putra, R. D., & Syafrizal. (2017). Perencanaan Sistem Penirisan Tambang Bawah Tanah Metode *Room and Pillar*. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 2(1), 22-30.
- Prabowo, K. A. (2016). *Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Di Pt. Bina Bara Sejahtera Desa Tanjung Dalam, Kec. Ulok Kupai, Kab UPN" Veteran" Yogyakarta*.
- Saputra, H., & Murad, M. (2023). Evaluasi Jaringan Perpipaan dan *Head Loss* pada Sistem Penirisan Tambang. *Jurnal Pertambangan dan Lingkungan*, 5(1), 12-20.
- Sembiring, Y. P. J., Pasays, A., Waterman, S. B., & ... (2018). Sistem Penyaliran Tambang Pit 19d Untuk Yerly Plan 2012 PT Indominco Mandiri Bontang Kalimantan Timur. *Jurnal Prosiding Nasional*
- Tamar, A. F. A., & Cahyadi, T. A. (2023). Overview Metode Penirisan Tambang. *Jurnal Geomine*.



LAMPIRAN A

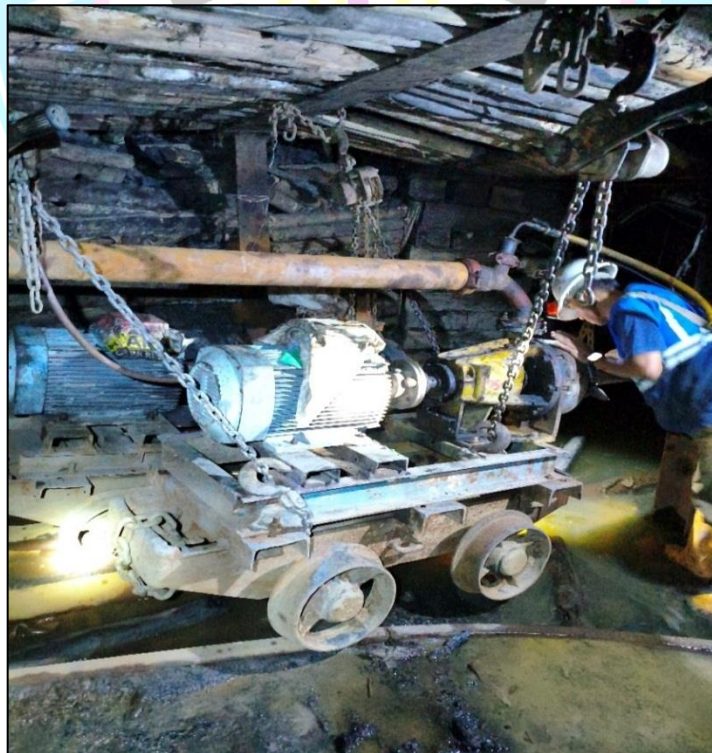
DOKUMENTASI PENELITIAN DI LAPANGAN

1. Pompa di Lokasi J6, J7 Serta Pompa Tandem



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.1 Pompa Tandem pada Lokasi J14



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.2 Pengecekan Kondisi Pompa J6



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.3 Pengecekan Spesifikasi Pompa

2. Bak Penampung di J38



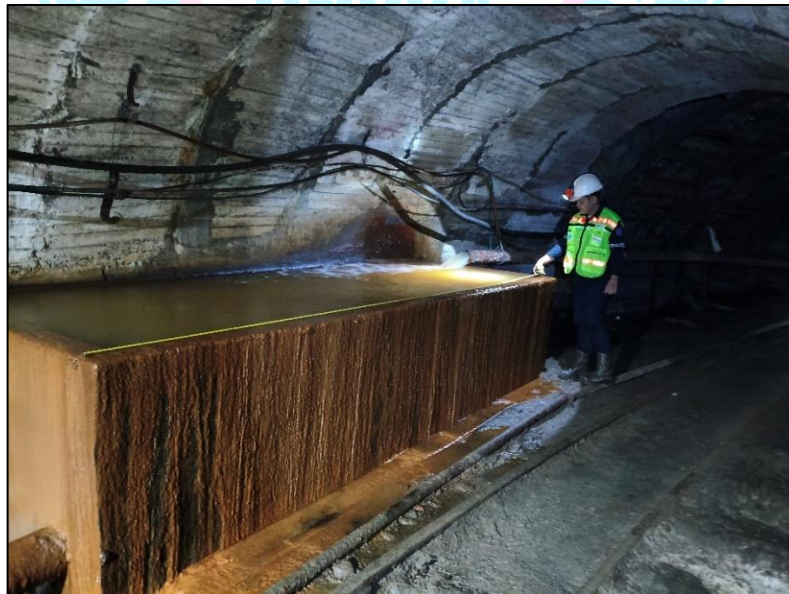
Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.4 Pengukuran Lebar Sedimen Pond



Sumber :Penulis, (2026)

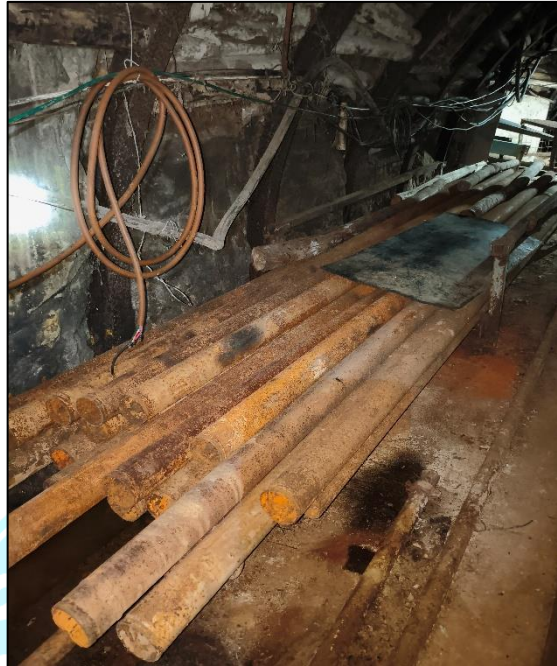
Gambar A.5 Pengukuran Kedalaman Sedimen Pond



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.6 Pengukuran Panjang Sedimen Pond

3. Pipa yang digunakan untuk sistem pemompaan



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.7 Pipa yang Digunakan Pada Sistem Pemompaan

4. Kondisi genangan air di J6



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar A.8Ga Kondisi Aktual Pada J6

LAMPIRAN B

REKAPITULASI JAM OPERASIONAL POMPA HARIAN

Departemen / Bagian : Pekerja Pompa / Operator Pompa

Periode Pencatatan : 10 Maret 2026 – 10 April 2026

Unit Pompa Aktif : *Orion J7, Flyght, dan Orion J6*

Sumber Data : Buku Catatan Log Manual Harian Pekerja Pompa

Tabel B.1 Rekapitulasi Total Jam Operasional Per Shift

Tanggal	Hari	Shif Kerja	Total Waktu		Debit Masuk			Debit Keluar		
			Operasional per Shift	Operasional Harian	J6	J7	J14	J6	J7	J14
10 Maret 2026	Selasa	- Shift 1	- 4 jam, 12 menit	15 jam, 16 menit	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 5 jam, 41 menit		- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 5 jam, 23 menit		- 19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L	48.45 m ³ /L
11 Maret 2026	Rabu	- Shift 1	- 3 jam, 49 menit	15 jam, 16 menit	- 13,74 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 13,74 m ³ /L	- 34.35 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 5 jam, 47 menit		- 20,82 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20,82 m ³ /L	- 52.05 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 5 jam, 47 menit		- 20,82 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 20,82 m ³ /L	- 52.05 m ³ /L	48.45 m ³ /L
12 Maret 2026	Kamis	- Shift 1	- 3 jam, 14 menit	14 jam, 17 menit	- 11.64 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 11.64 m ³ /L	- 29.10 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 6 jam, 1 menit		- 21.66 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 21.66 m ³ /L	- 54.15 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 5 jam, 17 menit		- 19.02 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.02 m ³ /L	- 47.55 m ³ /L	48.45 m ³ /L
13 Maret 2026	Jumat	- Shift 1	- 4 jam 11 menit	11 jam, 59 menit	- 15.06 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.06 m ³ /L	- 37.650 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 6 jam, 10 menit		- 22.20 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 22.20 m ³ /L	- 55.50 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 6 jam, 13 menit		- 22.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 22.38 m ³ /L	- 55.95 m ³ /L	48.45 m ³ /L
14 Maret 2026	Sabtu	- Shift 1	- 4 jam, 52 menit	16 jam, 9 menit	- 17.52 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.52 m ³ /L	- 43.80 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 5 jam, 54 menit		- 21.24 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 21.24 m ³ /L	- 53.10 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L

Tanggal	Hari	Shif Kerja	Total Waktu		Debit Masuk						Debit Keluar		
			Operasional per Shift	Operasional Harian	J6	J7	J14	J6	J7	J14	J6	J7	J14
15 Maret 2026	Minggu	- Shift 3	- 5 jam, 23 menit	14 jam, 17 menit	- 19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
		- Shift 1	- 4 jam, 59 menit		- 17.94 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.94 m ³ /L	- 44.85 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 5 jam, 52 menit		- 21.12 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 21.12 m ³ /L	- 52.80 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 3 jam, 9 menit		- 11.34 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 11.34 m ³ /L	- 28.35 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
16 Maret 2026	Senin	- Shift 1	- 3 jam, 32 menit	13 jam, 58 menit	- 12.72 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 12.72 m ³ /L	- 32.80 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 6 jam, 14 menit		- 22.44 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 22.44 m ³ /L	- 56.10 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 12 menit		- 15.12 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
17 Maret 2026	Selasa	- Shift 1	- 4 jam, 31 menit	14 jam, 12 menit	- 16.26 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 16.26 m ³ /L	- 40.65 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 30 menit		- 16.20 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 16.20 m ³ /L	- 40.50 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 5 jam, 11 menit		- 18.66 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 18.66 m ³ /L	- 46.65 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
18 Maret 2026	Rabu	- Shift 1	- 4 jam, 23 menit	13 jam, 57 menit	- 15.78 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.78 m ³ /L	- 39.450 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 5 jam, 25 menit		- 19.50 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 19.50 m ³ /L	- 48.75 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 21 menit		- 15.66 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 15.66 m ³ /L	- 39.15 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
19 Maret 2026	Kamis	- Shift 1	- 3 jam, 58 menit	11 jam, 57 menit	- 14.28 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 14.28 m ³ /L	- 35.70 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 9 menit		- 14.94 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 14.94 m ³ /L	- 37.35 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 3 jam, 50 menit		- 13.80 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 13.80 m ³ /L	- 34.50 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
20 Maret 2026	Jumat	- Shift 1	- 2 jam, 13 menit	11 jam, 6 menit	- 7.98 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 7.98 m ³ /L	- 19.95 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 35 menit		- 16.50 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 16.50 m ³ /L	- 41.25 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 18 menit		- 15.48 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 15.48 m ³ /L	- 38.70 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
21 Maret 2026	Sabtu	- Shift 1	- 5 jam, 25 menit	12 jam, 18 menit	- 19.50 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 19.50 m ³ /L	- 19.50 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 2 jam, 55 menit		- 10.50 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 10.50 m ³ /L	- 10.50 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 3 jam, 58 menit		- 14.28 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 14.28 m ³ /L	- 14.28 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			
22 Maret 2026	Minggu	- Shift 1	- 5 jam, 41 menit	14 jam, 27 menit	- 20.46 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 38 menit		- 16.68 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 16.68 m ³ /L	- 41.70 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 8 menit		- 14.88 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 14.88 m ³ /L	- 37.20 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L			

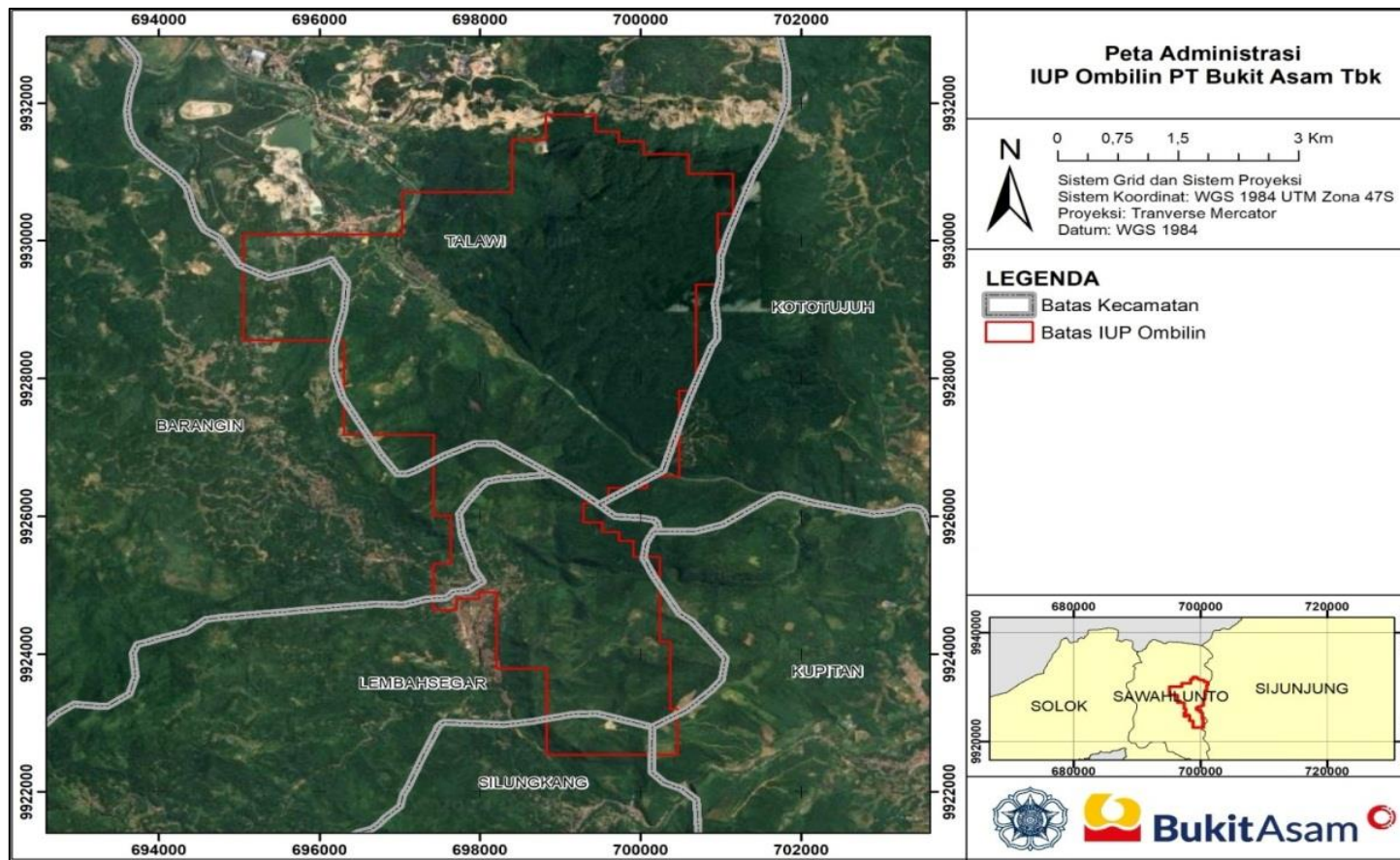
Tanggal	Hari	Shif Kerja	Total Waktu		Debit Masuk						Debit Keluar		
			Operasional per Shift	Operasional Harian	J6	J7	J14	J6	J7	J14	J6	J7	J14
23 Maret 2026	Senin	- Shift 1	- 4 jam, 24 menit	12 jam, 47 menit	- 15.08 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.08 m ³ /L	- 39.60 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 3 jam, 54 menit		- 14.04 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 14.04 m ³ /L	- 35.10 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 29 menit		- 16.14 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 16.14 m ³ /L	- 40.35 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
24 Maret 2026	Selasa	- Shift 1	- 5 jam, 54 menit	14 jam, 54 menit	- 21.24 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 21.24 m ³ /L	- 53.10 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 58 menit		- 17.88 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 17.88 m ³ /L	- 44.70 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 2 menit		- 14.52 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 14.52 m ³ /L	- 36.30 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
25 Maret 2026	Rabu	- Shift 1	- 4 jam, 37 menit	13 jam, 17 menit	- 16.62 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 16.62 m ³ /L	- 41.55 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 1 menit		- 14.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 14.46 m ³ /L	- 36.15 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 39 menit		- 16.74 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 16.74 m ³ /L	- 41.85 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
26 Maret 2026	Kamis	- Shift 1	- 5 jam, 23 menit	15 jam, 25 menit	- 19.38 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 5 jam, 11 menit		- 18.66 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 18.66 m ³ /L	- 46.65 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 51 menit		- 17.46 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 17.46 m ³ /L	- 43.65 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
27 Maret 2026	Jumat	- Shift 1	- 6 jam, 10 menit	16 jam, 27 menit	- 22.20 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 22.20 m ³ /L	- 55.50 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 5 jam, 31 menit		- 19.86 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 19.86 m ³ /L	- 49.65 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 46 menit		- 17.16 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 17.16 m ³ /L	- 42.90 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
28 Maret 2026	Sabtu	- Shift 1	- 5 jam, 48 menit	15 jam, 22 menit	- 20.88 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 20.88 m ³ /L	- 52.20 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 5 jam, 6 menit		- 18.36 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 18.36 m ³ /L	- 45.90 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 28 menit		- 16.08 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 16.08 m ³ /L	- 40.20 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
29 Maret 2026	Minggu	- Shift 1	- 4 jam, 57 menit	12 jam, 44 menit	- 17.82 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.82 m ³ /L	- 44.55 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 4 jam, 39 menit		- 16.74 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 16.74 m ³ /L	- 41.85 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 3 jam, 8 menit		- 11.28 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 11.28 m ³ /L	- 28.20 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
30 Maret 2026	Senin	- Shift 1	- 4 jam, 25 menit	14 jam, 38 menit	- 15.90 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.90 m ³ /L	- 39.75 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 5 jam, 57 menit		- 21.42 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 21.42 m ³ /L	- 53.55 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			
		- Shift 3	- 4 jam, 16 menit		- 15.36 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 15.36 m ³ /L	- 38.40 m ³ /L	48.45 m ³ /L			
31 Maret 2026	Selasa	- Shift 1	- 4 jam, 55 menit	16 jam, 10 menit	- 17.70 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.70 m ³ /L	- 44.25 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L			
		- Shift 2	- 6 jam, 43 menit		- 24.18 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 24.18 m ³ /L	- 60.45 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L			

Tanggal	Hari	Shif Kerja	Total Waktu Operasional per Shift	Total Waktu Operasional Harian	Debit Masuk			Debit Keluar		
					J6	J7	J14	J6	J7	J14
1 April 2026	Rabu	- Shift 3	- 4 jam, 32 menit	13 jam, 26 menit	- 16.32 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 16.32 m ³ /L	- 40.80 m ³ /L	48.45 m ³ /L
		- Shift 1	- 5 jam, 2 menit		- 18.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 18.12 m ³ /L	- 45.30 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 4 jam, 6 menit		- 14.76 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 14.76 m ³ /L	- 36.90 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 4 jam, 18 menit		- 15.48 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 15.48 m ³ /L	- 38.70 m ³ /L	48.45 m ³ /L
2 April 2026	Kamis	- Shift 1	- 3 jam, 44 menit	15 jam, 16 menit	- 13.44 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 13.44 m ³ /L	- 33.60 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 6 jam, 18 menit		- 22.68 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 22.68 m ³ /L	- 56.70 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 5 jam, 16 menit		- 18.96 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 18.96 m ³ /L	- 47.40 m ³ /L	48.45 m ³ /L
3 April 2026	Jumat	- Shift 1	- 3 jam, 48 menit	13 jam, 1 menit	- 13.68 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 13.68 m ³ /L	- 34.20 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 3 jam, 49 menit		- 13.74 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 13.74 m ³ /L	- 34.35 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 5 jam, 24 menit		- 19.44 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 19.44 m ³ /L	- 48.60 m ³ /L	48.45 m ³ /L
4 April 2026	Sabtu	- Shift 1	- 4 jam, 55 menit	14 jam, 11 menit	- 17.70 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.70 m ³ /L	- 44.25 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 4 jam, 17 menit		- 15.42 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 15.42 m ³ /L	- 38.55 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 4 jam, 59 menit		- 17.94 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 17.94 m ³ /L	- 44.85 m ³ /L	48.45 m ³ /L
5 April 2026	Minggu	- Shift 1	- 4 jam, 50 menit	13 jam, 12 menit	- 17.40 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.40 m ³ /L	- 43.40 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 4 jam, 13 menit		- 15.18 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 15.18 m ³ /L	- 15.18 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 4 jam, 9 menit		- 14.94 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 14.94 m ³ /L	- 14.94 m ³ /L	48.45 m ³ /L
6 April 2026	Senin	- Shift 1	- 4 jam, 55 menit	16 jam, 16 menit	- 17.70 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 17.70 m ³ /L	- 44.25 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 5 jam, 23 menit		- 19.38 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 19.38 m ³ /L	- 48.45 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 3 jam, 9 menit		- 11.34 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 11.34 m ³ /L	- 28.35 m ³ /L	48.45 m ³ /L
7 April 2026	Selasa	- Shift 1	- 3 jam, 33 menit	14 jam, 18 menit	- 12.78 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 12.78 m ³ /L	- 31.95 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 6 jam, 26 menit		- 23.16 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 23.16 m ³ /L	- 57.90 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 4 jam, 9 menit		- 14.94 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 14.94 m ³ /L	- 37.35 m ³ /L	48.45 m ³ /L
8 April 2026	Rabu	- Shift 1	- 4 jam, 28 menit	13 jam, 21 menit	- 16.08 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 16.08 m ³ /L	- 40.20 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 4 jam, 40 menit		- 16.80 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 16.80 m ³ /L	- 42.00 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 4 jam, 13 menit		- 15.18 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 15.18 m ³ /L	- 37.95 m ³ /L	48.45 m ³ /L

Tanggal	Hari	Shif Kerja	Total Waktu	Total Waktu	Debit Masuk			Debit Keluar		
			Operasional per Shift	Operasional Harian	J6	J7	J14	J6	J7	J14
9 April 2026	Kamis	- Shift 1	- 3 jam, 12 menit	16 jam, 30 menit	- 11.52 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 15.12 m ³ /L	- 11.52 m ³ /L	- 11.52 m ³ /L	- 37.80 m ³ /L
		- Shift 2	- 5 jam, 8 menit		- 18.48 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 20.46 m ³ /L	- 18.48 m ³ /L	- 18.48 m ³ /L	- 51.15 m ³ /L
		- Shift 3	- 8 jam, 20 menit		- 30.00 m ³ /L	19.38 m ³ /L	19.38 m ³ /L	- 30.00 m ³ /L	- 30.00 m ³ /L	48.45 m ³ /L

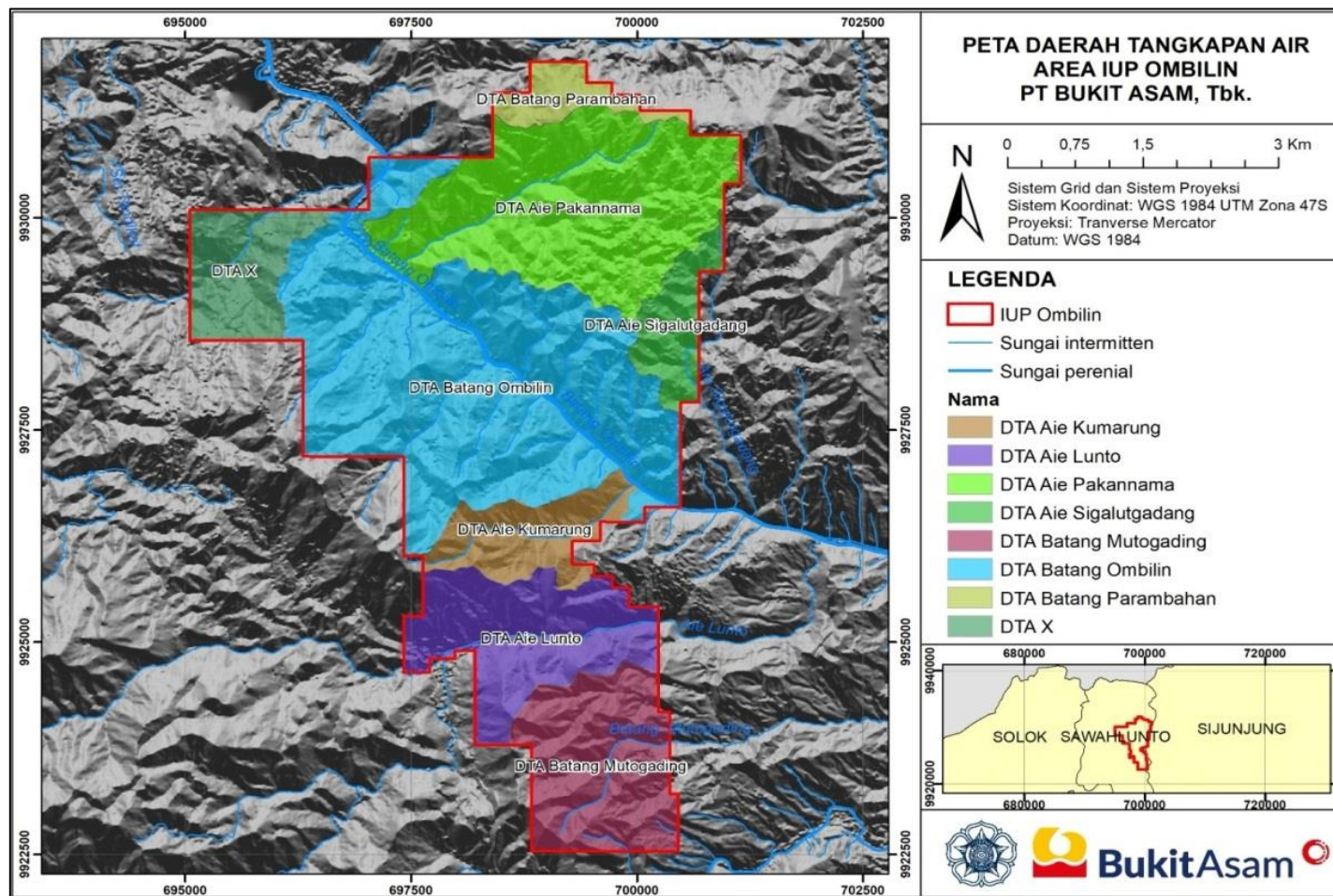


LAMPIRAN C



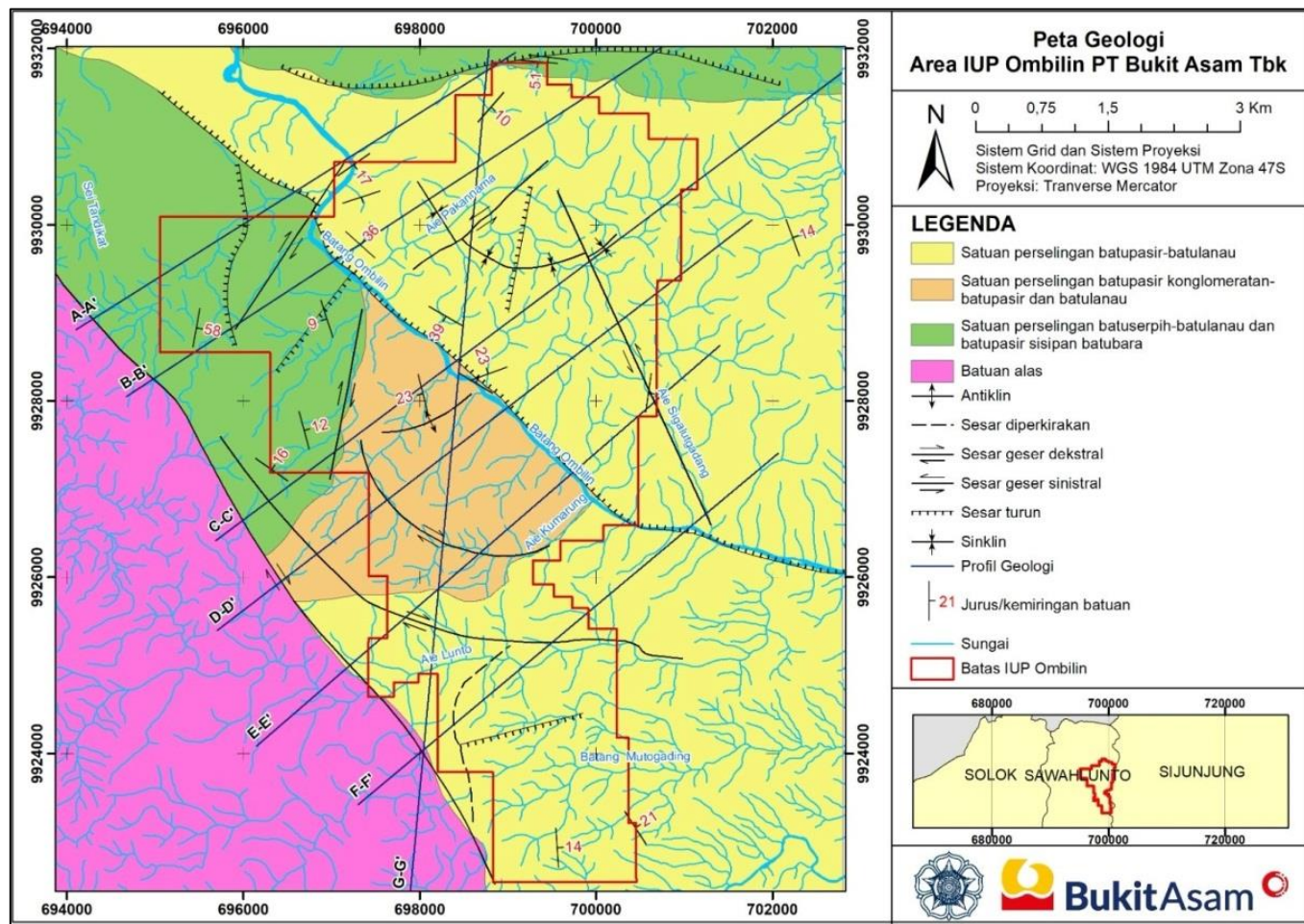
Sumber: Perusahaan, (2026)

C.1 PETA ADMINISTRASI IUP



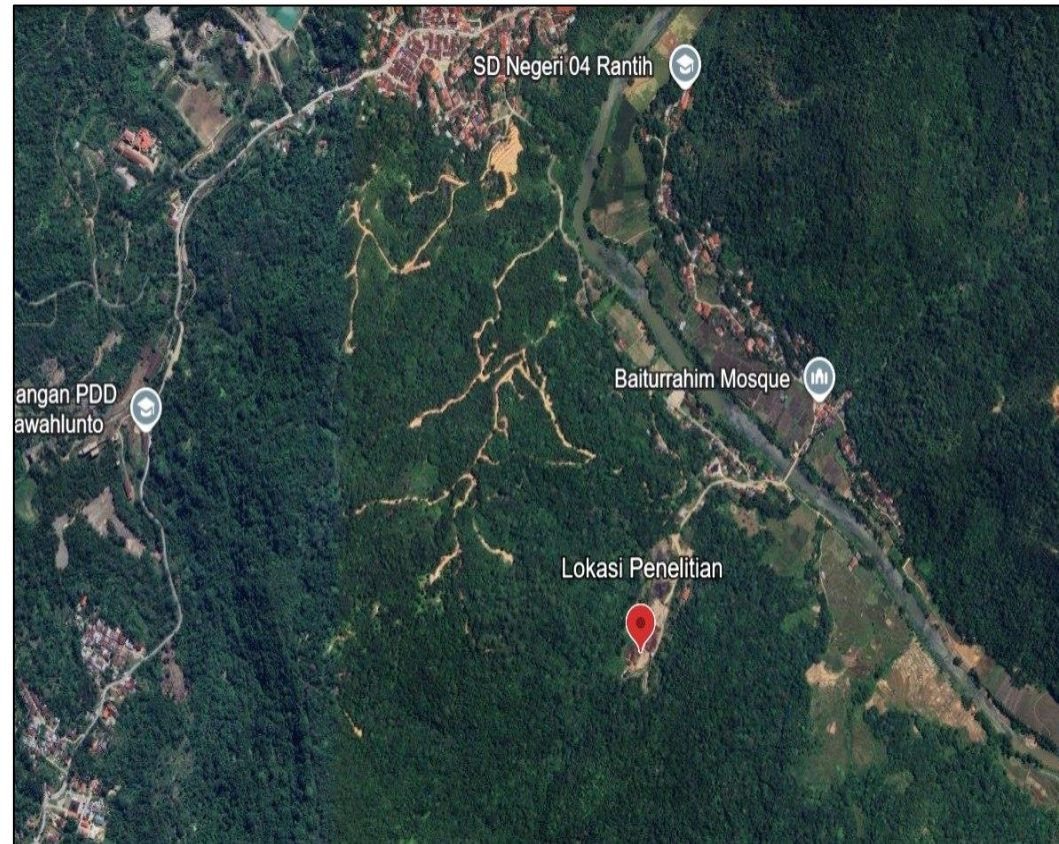
Sumber: Perusahaan, (2026)

C.2 PETA DAERAH TANGKAPAN AIR HUJAN



C.3 PETA GEOLOGI

LAMPIRAN D



Sumber: Google Earth, (2026)

D.1 LOKASI PENELITIAN