

**ANALISIS KEBUTUHAN UDARA UNTUK PEKERJA
PERAWATAN TAMBANG BAWAH TANAH
PT BUKIT ASAM TBK UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN**

LAPORAN TUGAS AKHIR



VALLEN VAREIRA

2023310058

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

**ANALISIS KEBUTUHAN UDARA UNTUK PEKERJA
PERAWATAN TAMBANG BAWAH TANAH
PT BUKIT ASAM TBK UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN**

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



VALLEN VAREIRA

2023310058

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

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEBUTUHAN UDARA UNTUK PEKERJA PERAWATAN TAMBANG BAWAH TANAH PT BUKIT ASAM TBK UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN

LAPORAN TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Valica Varcira
2023310058

Prabumulih, 18 Juni 2026
Pembimbing II

Pembimbing I



Reni Arizanti, S.T., M.T.
NUPTK. 1439759300002



Ahmad Hurni, S.T., M.T.
NUPTK. 6338747630200003

Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan



Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK. 230771672130283

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Kebutuhan Udara Untuk Pekerja Perawatan Tambang Bawah Tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Perawatan Ombilin" telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Seminar Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Prabumulih pada hari Kamis, 18 Juni 2026 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai dengan masukan Tim Penguji Sidang Laporan Tugas Akhir. Prabumulih, 18 Juni 2026

Tim Penguji Sidang Laporan Tugas Akhir

Ketua :

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

()

Anggota :

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

()

3. Rediyah Nursani, S.Si., M.T.
NUPTK. 3633756657230142

()



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vallen Vareira *

Nim : 202331005

Prodi : Teknik Pertambangan

Judul : Analisis Kebutuhan Udara Untuk Pekerja Tambang Bawah Tanah
PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Laporan Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Prabumulih sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksa paksaan dari siapapun.



Prabumulih, 18 Juni 2026
Yang membuat pernyataan



Vallen Vareira

2023310058

ABSTRAK

**ANALISIS KEBUTUHAN UDARA UNTUK PEKERJA
PERAWATAN TAMBANG BAWAH TANAH
PT BUKIT ASAM TBK UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN**

Vallen Vareira, 2023310058, 2025

Sistem ventilasi merupakan faktor krusial dalam menjamin keselamatan dan kesehatan kerja di tambang bawah tanah, khususnya bagi pekerja perawatan di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas udara tambang guna memastikan lingkungan kerja memenuhi standar regulasi yang berlaku. Metode penelitian dilakukan melalui observasi lapangan dengan mengukur konsentrasi gas berbahaya serta parameter fisik udara pada titik-titik pengamatan strategis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan gas metana (CH_4), karbon monoksida (CO), dan hidrogen sulfida (H_2S) berada pada nilai 0, yang mengindikasikan tidak adanya akumulasi gas berbahaya. Suhu udara hasil pengamatan berkisar antara $23\text{--}26^\circ\text{C}$ dengan tingkat kelembapan $89\text{--}95\%$. Secara keseluruhan, kualitas udara di area penelitian dinyatakan aman dan memenuhi standar Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Meskipun kelembapan udara relatif tinggi di beberapa titik, sistem ventilasi yang diterapkan saat ini terbukti efektif dalam mendukung aktivitas perawatan tambang bawah tanah.

Kata Kunci: Ventilasi Tambang, Kualitas Udara, Gas Berbahaya, Kelembapan, Keselamatan Kerja.

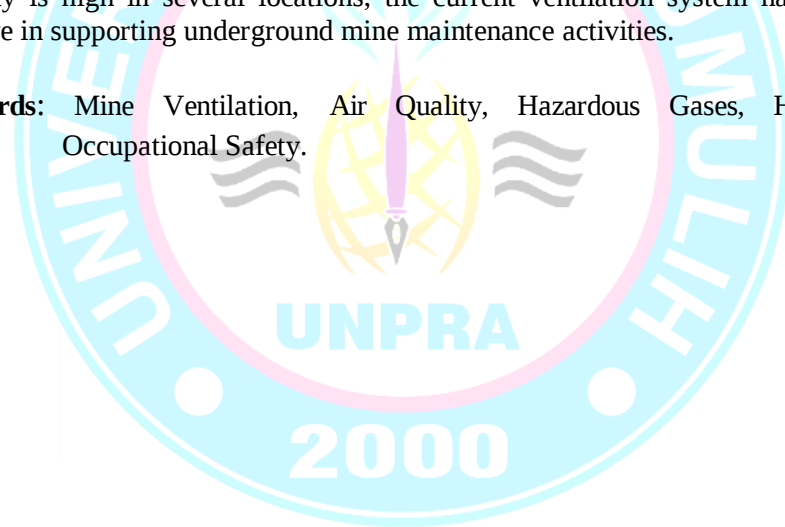
ABSTRACT

Analysis of Air Requirements for Underground Mine Maintenance Workers at PT Bukit Asam Tbk, Ombilin Mining Unit

Vallen Vareira, 2023310058, 2025

The ventilation system is a crucial factor in ensuring occupational safety and health in underground mines, particularly for maintenance workers at PT Bukit Asam Tbk, Ombilin Mining Unit. This study aims to analyze mine air quality to ensure the work environment meets applicable regulatory standards. The research method involved field observations by measuring the concentration of hazardous gases and physical air parameters at strategic observation points. The results showed that the concentrations of methane (CH₄), carbon monoxide (CO), and hydrogen sulfide (H₂S) were at 0, indicating no accumulation of hazardous gases. Observed air temperatures ranged from 23–26°C with humidity levels between 89–95%. Overall, the air quality in the research area is declared safe and complies with the standards of Kepmen ESDM Number 1827 K/30/MEM/2018. Although the relative humidity is high in several locations, the current ventilation system has proven effective in supporting underground mine maintenance activities.

Keywords: Mine Ventilation, Air Quality, Hazardous Gases, Humidity, Occupational Safety.



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 Kebutuhan Udara Untuk Pekerja Perawatan Tambang Bawah Tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin”.

Ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Ahli Madya/Sarjana 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.
4. Ibu Reni Arisanti, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I.
5. Bapak Ahmad Husni, S.T., M.T. sebagai pembimbing II.
6. Ibu Rodiyah Nursani, S.Si., M.T. sebagai penguji
7. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
8. Bapak/Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
9. Kepala Teknik Tambang, Pimpinan, dan seluruh Staf PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan penelitian.
10. Kedua orang tua serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa.
11. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih khususnya angkatan 2023.

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

Prabumulih, 18 Juni 2026


Vallen Vareira
2023310058



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL DALAM.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	vii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
LAMPIRAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lokasi Penelitian Sawahlunto	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Tambang Bawah Tanah	7
2.2.2 Ventilasi Tambang	7
2.2.3 Sistem ventilasi	8
2.2.4 Rangkaian Jalur Udara di PT Bukit Asam Tbk	9
2.2.5 Standar Kebutuhan Udara bagi Pekerja.....	10
2.2.6 Kuantitas Udara.....	10
2.2.7 Kelembaban Relatif Udara	18
2.2.8 Kualitas Udara	20

	Halaman
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.1.1 Waktu Penelitian	23
3.1.2 Lokasi Penelitian	23
3.2 Tahapan Penelitian	25
3.3 Bagan Alir Penelitian	27
3.4 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data	28
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data	28
3.4.2 Teknik Pengolahan Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Kualitas Udara Dalam Lubang Tambang Bawah Tanah PT Bukit Asam Tbk UPO.....	33
4.1.1 Analisis Kualitatif Kondisi Partikulat Debu Tambang	33
4.1.2 Penilaian Kualitas Udara Tambang	34
4.1.3 Analisis Efisiensi dan Kebocoran Udara	36
4.2 Analisis Kebutuhan Udara Pekerja Perawatan Tambang Bawah Tanah	39
4.2.1 Data Kebutuhan Udara Pekerja Perawatan	39
4.2.1.1 Data Jumlah Pekerja	39
4.2.1.2 Data Peralatan yang Digunakan	42
4.2.1.3 Data Luas Penampang	43
4.2.1.4 Data Kecepatan Aliran Udara	45
4.2.1.5 Data Suhu dan Kelembapan Udara	47
4.2.2 Analisis Kebutuhan Udara.....	49
4.2.2.1 Kebutuhan Udara Berdasarkan Jumlah Pekerja	49
4.2.2.2 Kebutuhan Udara Berdasarkan Gas-Gas Berbahaya	50
4.2.2.3 Kebutuhan Udara Berdasarkan Kecepatan Angin Minimum	52
4.2.2.4 Kebutuhan Udara Berdasarkan Peralatan Mekanis	54
4.2.2.5 Rekapitulasi Total Kebutuhan Udara.....	56
4.2.2.6 Perbandingan Udara Aktual dan Kebutuhan.....	58

BAB V PENUTUP.....	Halaman
	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	64



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kuantitas Udara Tambang Bawah Tanah Sawahluwung.....	13
Tabel 2.2 Nilai ambang batas gas dan parameter lingkungan	21
Tabel 3.1 Rencana Jadwal Kegiatan	23
Tabel 3.1 Perhitungan Debit Udara Aktual	28
Tabel 4.1 Hasil Pemantauan Kualitas Udara Tambang.....	34
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengukuran dengan NAB.....	35
Tabel 4.3 Rekapitulasi Jumlah Pekerja	39
Tabel 4.4 Peralatan yang di Gunakan Pada Saat di Lapangan.....	43
Tabel 4.5 Perhitungan dan Bentuk Luas Penampang.....	45
Tabel 4.6 Kecepatan Aliran Udara.....	46
Tabel 4.7 Ringkasan Data Suhu dan Kelembapan.....	48
Tabel 4.8 Hasil Pemantauan Kualitas Gas Tambang	51
Tabel 4.9 Rekapitulasi Total Kebutuhan Udara di Area Tambang	57
Tabel 4.10 Perbandingan Q Aktual dan Q Kebutuhan.....	59
Tabel A.1 Perhitungan dan Bentuk Luas Penampang.....	64
Tabel B.1 Kebutuhan Udara Per Alat.....	66
Tabel C.1 Rekapitulasi Jumlah Pekerja (Shift Pagi)	67
Tabel H.1 Spesifikasi Teknis Mesin <i>Bolwer</i>	82

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta Kesampaian Daerah PT Bukit Asam Tbk Unit	5
Gambar 2.2 <i>Anemometer</i>	11
Gambar 2.3 <i>Sling Psychrometer</i>	19
Gambar 3.1 Peta Tambang Bawah Tanah	24
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	27
Gambar 4.1 Pita Ukur (<i>Roll Meter</i>) untuk Mengukur Dimensi Penampang	36
Gambar 4.2 <i>Anemometer</i> Digital Sebagai Alat Ukur Kecepatan Angin	36
Gambar 4.3 <i>Sling Psychrometer</i> untuk Pengukuran Suhu Bola Kering dan Bola Basah.....	38
Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Tambang pada Lokasi Pengamatan.....	44
Gambar 4.5 Visualisasi Lubang pada Struktur Penyekat Jalur Ventilasi J6-J7	47
Gambar 4.6 Dokumentasi Celah Kebocoran Udara pada Penampang Saluran	48
Gambar 4.7 visualisasi Rongga (Goa) di Atas Penampang Jalur Ventilasi J14-J37.....	52
Gambar D.1 Lokasi Adit	72
Gambar D.2 Lokasi J4-J2	72
Gambar D.3 Lokasi J6-J7	73
Gambar D.4 Lokasi J14-J37	73
Gambar D.5 Lokasi Mesin Induk.....	74
Gambar E.2 Peta Geologi Area IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk	75
Gambar E.2 Peta Adminiatari IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk	76
Gambar E.3 Layout Lubang Pendidikan Sawahlunto (Ombilin .1)	77
Gambar F.1 Pompa di Lokasi J6.....	78
Gambar F.2 Pompa di Lokasi J7	78
Gambar F.3 Pompa di Lokasi J37	79
Gambar F.4 <i>Bower</i> di Lokasi Mesin Induk	79
Gambar G.1 Pengukuran Luas Penampang	80
Gambar G.2 Pengukuran Kecepatan Angin Menggunakan <i>Anemometer</i>	80

Gambar G.3 Pengukuran Suhu Menggunakan Alat <i>Sling psychrometer</i>	81
Gambar G.4 Pengukuran Gas Menggunakan Alat Gas Detektor.....	81



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Tabel Perhitungan dan Bentuk Luas Penampang	64
Lampiran B Tabel Kebutuhan Udara Per Alat	66
Lampiran C Tabel Rekapitulasi Jumlah Pekerja (Shif Pagi)	67
Lampiran D Dokumentasi Lokasi Pengambilan Data Penelitian.....	72
Lampiran E Gambar Peta Geologi, Peta Administrasi, Peta Layout Lubang Pendidikan	75
Lampiran F Dokumentasi Peralatan Ventilasi Dan Drainase Tambang Bawah Tanah.....	78
Lampiran G Dokumentasi Pengambilan Data	80
Lampiran H Spesifikasi Teknis Mesin <i>Bolwer</i>	82



LAMPIRAN SINGKATAN

Singkatan/Lambang	Keterangan/Kepanjangan
A	: Luas Penampang
CH ₄	: Metana
CO	: Karbon Monoksida
CO ₂	: Karbon Dioksida
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
H ₂ S	: Hidrogen Sulfida
HP	: <i>Horse Power</i> (Tenaga Kuda)
IUP	: Izin Usaha Pertambangan
K3	: Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Kepmen	: Keputusan Menteri
m/dt	: Meter per detik
m ²	: Meter persegi
m ³ /dt	: Meter kubik per detik
m ³ /menit	: Meter kubik per menit
NAB	: Nilai Ambang Batas
NO ₂	: Nitrogen Dioksida
O ₂	: Oksigen
PPM	: Parts Per <i>Million</i>
PU	: <i>Polyurethane</i>
Q	: Debit Udara / Kuantitas (m ³ /dt)
RH	: <i>Relative Humidity</i> (Kelembapan Relatif)
SO ₂	: Sulfur Dioksida
Td	: <i>Temperature Dry</i> (Suhu Bola Kering)
Tw	: <i>Temperature Wet</i> (Suhu Bola Basah)
T.Ef	: <i>Temperature Effective</i> (Suhu Efektif)
UPO	: Unit Pertambangan Ombilin
V	: Kecepatan Aliran Udara (m/dt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan bawah tanah memiliki lingkungan kerja yang kompleks dan berisiko tinggi dibandingkan penambangan tambang terbuka. Salah satu yang paling penting dalam operasi tambang bawah tanah adalah tersedianya udara segar serta sistem ventilasi yang mampu memastikan kualitas udara sesuai dengan regulasi keselamatan dan kesehatan kerja. Aturan keselamatan pertambangan di Indonesia, yang diatur dalam Peraturan Menteri Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, menetapkan batas yang ketat terkait konsentrasi gas berbahaya serta debu di udara tambang. Ketidakpatuhan terhadap standar ini dapat menyebabkan konsekuensi serius, mulai dari masalah kesehatan jangka panjang hingga kecelakaan yang berpotensi fatal, seperti ledakan gas metana.

Lingkungan tambang bawah tanah umumnya bersifat tertutup, dengan pasokan oksigen yang terbatas, serta berisiko mengakumulasi gas berbahaya seperti metana (CH_4) karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), dan debu yang berbahaya untuk kesehatan. Oleh karena itu, ventilasi sangat penting untuk memastikan kondisi kerja yang aman. Kutipan di atas diambil dari (Micky, 2018)

PT Bukit Asam Tbk (PTBA) Unit Pertambangan Ombilin adalah salah satu tambang bawah tanah tertua di Indonesia yang mematuhi standar keselamatan dan kesehatan kerja dalam operasional dan pemeliharaannya. PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin merupakan salah satu perusahaan batubara yang menerapkan sistem penambangan bawah tanah dengan metode *room and pillar*. Metode ini adalah teknik penambangan bawah tanah untuk mengakses cadangan batubara yang disusun dalam blok-blok persegi.

Pada tambang bawah tanah, sistem ventilasi sangat berperan penting untuk memenuhi kebutuhan udara para pekerja serta untuk mengurangi gas-gas berbahaya, menurunkan tingkat debu yang ada di udara tambang, dan mengendalikan suhu udara di dalam tambang. Dengan cara ini, akan terwujud keadaan kerja yang aman dan nyaman. Sistem ventilasi berperan untuk

mengalirkan udara yang segar, menjaga level oksigen, mengurangi gas berbahaya seperti metana (CH_4), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2), serta mengontrol debu, suhu, dan kelembapan agar sesuai dengan standar keselamatan kerja. Kutipan di atas di ambil dari (Micky, 2018)

Tipe ventilasi ini mengikuti pola cabang lorong ruangan dan pilar, sehingga aliran udara diatur melalui rangkaian secara seri dan paralel untuk mencapai area kerja. (Febrianda Bafnis 2014) Walaupun tambang Ombilin tidak lagi beroperasi secara efektif dan telah dialihkan menjadi kawasan edukasi, para pekerja pemeliharaan tetap memerlukan pasokan udara segar yang cukup karena kegiatan pemeliharaan berlangsung di lokasi yang kadang tidak berdekatan dengan jalur utama ventilasi. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis kebutuhan udara bagi pekerja pemeliharaan guna memastikan bahwa sistem ventilasi yang ada dapat memenuhi standar K3, melindungi dari risiko kekurangan oksigen atau paparan gas berbahaya, serta mendukung fungsi tambang sebagai tempat pendidikan yang aman (Cahyono, 2023)

Analisis kebutuhan udara bagi pekerja tambang bawah tanah sangat penting untuk memastikan mereka bekerja di lingkungan yang aman, bebas dari risiko kesulitan bernapas, paparan gas berbahaya, dan suhu ekstrem. Hasil analisis ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan sistem ventilasi, perbaikan rencana jalur udara, dan pengoptimalan keselamatan kerja di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (Alman Syarif, 2021)

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana kualitas udara dalam lubang tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin?
2. Berapa jumlah kebutuhan udara untuk pekerja perawatan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian Tugas Akhir ini, hanya membatasi masalah Analisis kebutuhan udara untuk pekerja perawatan tambang PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin. Variabel yang dianalisis terbatas pada volume udara yang dibutuhkan per pekerja dan kualitas udara (misalnya, konsentrasi O_2 , CO , CH_4 , dan debu).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kualitas udara dalam lubang tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin
2. Menganalisis kebutuhan udara pekerja perawatan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
Memberi kontribusi terhadap kemajuan pengetahuan dalam bidang ventilasi tambang bawah tanah, khususnya yang berhubungan dengan analisis kebutuhan udara untuk perlindungan pekerja. Berfungsi sebagai referensi ilmiah bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di sektor pertambangan untuk memahami keterkaitan antara kualitas dan jumlah udara dengan keselamatan kerja. Memberikan pemahaman baru dalam tulisan mengenai standar kebutuhan udara di tambang batubara bawah tanah, terfokus pada bidang geosains dan kondisi lingkungan di PT Bukit Asam Unit Ombilin.
2. Manfaat praktis
Manfaat praktis adalah memberikan saran kepada manajemen PT Bukit Asam Tbk, Unit Pertambangan Ombilin, untuk merancang dan menilai sistem ventilasi yang sesuai dengan kebutuhan para pekerja pemeliharaan. Hal ini menjadi faktor penting dalam pengendalian risiko kesehatan dan keselamatan kerja (K3), terutama yang berkaitan dengan

paparan gas berbahaya, debu, dan suhu tinggi di tambang bawah tanah. Ini membantu para pekerja pemeliharaan menyadari pentingnya adanya udara segar dan pelaksanaan prosedur pemantauan kualitas udara, sehingga meningkatkan kesadaran akan keselamatan di area kerja. Memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan sistem ventilasi agar lebih efisien dan berkelanjutan sesuai dengan standar nasional serta internasional.

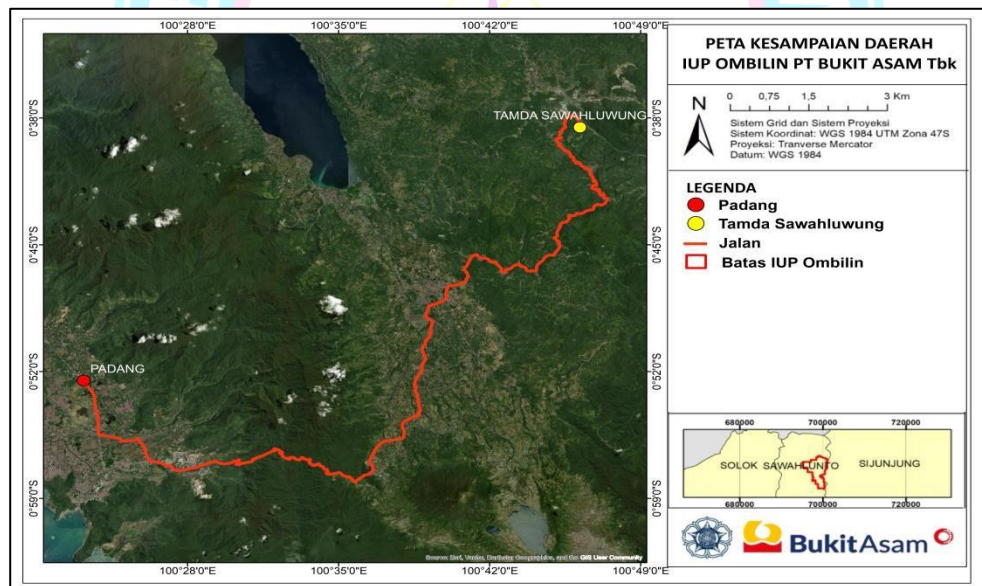


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Penelitian Sawahlunto

Penelitian ini dilaksanakan di Unit Pertambangan Ombilin (UPO) yang dikelola oleh PT Bukit Asam Tbk, yang berlokasi di wilayah Sawahlunto, Sumatera Barat. Tambang bawah tanah ini dikenal sebagai salah satu tambang batu bara tertua di Indonesia. Saat ini, tambang tersebut tidak lagi beroperasi untuk kegiatan produksi secara aktif, melainkan sedang berada dalam masa perawatan (*maintenance phase*) dan telah dialihfungsikan menjadi kawasan edukasi atau lubang pendidikan. Meskipun demikian, aktivitas perawatan oleh para pekerja tetap rutin dilakukan di area tersebut, sehingga pengawasan ketat terhadap sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), khususnya sistem ventilasi, tetap menjadi prioritas utama.



Sumber: Perusahaan, (2026)

Gambar: 2.1 Peta Kesampaian Daerah PT Bukit Asam Tbk Unit
Pertambangan Ombilin Sawahlunto, Sumatera Barat

Sejarah PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin (UPO) di Sawahlunto bermula pada tahun 1868 ketika geolog Belanda, Willem Hendrik de Greve, menemukan cadangan batu bara melimpah di aliran Sungai Ombilin. Eksploitasi komersial secara resmi dimulai oleh pemerintah kolonial Belanda pada tahun 1892, yang didukung dengan pembangunan infrastruktur masif berupa jalur kereta api menuju Pelabuhan Teluk Bayur untuk keperluan distribusi. Pada masa kejayaannya di tahun 1930, tambang ini berhasil memasok sekitar 90% kebutuhan energi di seluruh Hindia Belanda dan mengubah Sawahlunto dari desa terpencil menjadi kota industri yang ramai.

Setelah melewati masa pendudukan Jepang dan proklamasi kemerdekaan, pengelolaan tambang diambil alih oleh pemerintah Indonesia melalui berbagai perubahan status badan usaha hingga akhirnya resmi bergabung dengan PT Bukit Asam (PTBA) pada tahun 1990. Di bawah manajemen nasional, unit ini mencapai puncak produksi tertinggi pada tahun 1976 dengan total lebih dari 1,2 juta ton batu bara per tahun. Namun, seiring berjalannya waktu, cadangan batu bara pada area tambang terbuka mulai menipis sehingga operasional dialihkan ke tambang bawah tanah sebelum akhirnya dihentikan secara total pada tahun 2019 akibat tingginya biaya operasional.

Pasca penutupan tambang, PT Bukit Asam UPO bertransformasi dari pusat eksploitasi energi menjadi area pelestarian sejarah, pendidikan, dan pariwisata melalui proses revitalisasi aset cagar budaya. Berkat nilai historis dan teknologi pertambangan yang luar biasa, Situs Tambang Batu Bara Ombilin di Sawahlunto resmi dikukuhkan sebagai Warisan Dunia oleh *UNESCO* pada 6 Juli 2019. Saat ini, fungsi utama perusahaan berfokus pada pemeliharaan aset sejarah dan mendukung ekosistem pariwisata, seperti mengubah bekas lubang tambang menjadi lokasi wisata edukasi serta mengalihfungsikan gedung kantor lama menjadi hotel warisan budaya. Untuk memberikan arah yang jelas terhadap analisis kebutuhan udara bagi pekerja perawatan, penelitian ini berpedoman pada visi dan misi yang menjadi standar pencapaian kualitas lingkungan kerja di area tambang bawah tanah, yaitu.

Visi

Menjadi perusahaan energi kelas dunia yang peduli lingkungan Mengelola sumber energi dengan mengembangkan kompetensi korporasi dan keunggulan

Misi

insani untuk memberikan nilai tambah maksimal bagi stakeholder dan lingkungan

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tambang Bawah Tanah

Tambang bawah tanah (*underground mining*) merupakan suatu sistem penambangan yang segala kegiatan atau aktivitas penambangannya dilakukan di bawah permukaan bumi, dan tempat kerjanya tidak langsung berhubungan dengan udara luar. Dalam tambang bawah tanah terdapat dua tahap kegiatan penambangan, yaitu tahap pengembangan dan produksi. Pada tahap development, semua material yang digali adalah batuan tak berharga. Tahap development meliputi pembuatan akses jalan dan penggalian untuk fasilitas lainnya pada tambang bawah tanah. Sedangkan tahap produksi adalah

Dalam tambang bawah tanah diperlukan adanya penanganan dan operasi pendukung agar kegiatan operasional penambangan dapat berjalan dengan optimal. Kegiatan penanganannya antara lain yaitu penyanggaan yang berfungsi untuk menjaga kestabilan terowongan, penerangan yang berfungsi untuk sumber cahaya dalam tambang bawah tanah, ventilasi tambang yang berfungsi untuk mengontrol kuantitas dan kualitas udara dalam tambang, penyaliran yang berfungsi untuk mengatur air yang ada dalam tambang dan lain sebagainya.

2.2.2 Ventilasi Tambang

Ventilasi di dalam tambang adalah upaya rekayasa untuk mengatur kualitas serta jumlah udara di tambang bawah tanah yang diperlukan oleh para pekerja dan alat berat, di tambang bawah tanah, keberadaan udara yang ada sangat terbatas ditambah lagi dengan adanya kegiatan penambangan yang menghasilkan debu, sehingga sistem ventilasi sangat diperlukan dalam proses penambangan yang terjadi di bawah tanah. Pada dasarnya, ventilasi adalah untuk mengatur kualitas dan jumlah udara di dalam tambang. Tujuan dari

kualitas udara adalah untuk memastikan bahwa kondisi udara tambang memenuhi standar yang telah ditetapkan, pengendalian gas-gas berbahaya dan debu tambang, serta pengaruh suhu dan kelembaban di dalam tambang. Sementara itu, pengendalian jumlah udara bertujuan untuk mengelola aliran udara bersih yang masuk ke dalam tambang agar jumlah udara yang tersedia mencukupi kebutuhan. Dengan terciptanya keadaan kerja yang nyaman di tambang bawah tanah, hal ini dapat meningkatkan produktivitas pekerja dan mengurangi angka kecelakaan kerja. Jika tidak terdapat ventilasi di tambang bawah tanah, pekerja akan mengalami kesulitan untuk bernapas, dan dalam situasi yang lebih parah, dapat mengakibatkan kematian. (Sari Wulandari, 2022)

2.2.3 Sistem ventilasi

Tujuan ventilasi pada tambang adalah untuk mendistribusikan udara segar ke dalam area tambang demi kebutuhan pernapasan bagi para pekerja dan berbagai proses yang berlangsung di dalamnya. Selain itu, ventilasi juga bertujuan untuk mengatur sirkulasi udara dengan cara melarutkan gas-gas berbahaya dan/atau beracun, mengurangi jumlah debu dalam aliran udara, serta mengatur suhu agar lingkungan kerja menjadi lebih nyaman. Sistem ini terbagi menjadi dua aspek penting, kualitas udara (kondisi udara yang dihirup oleh pekerja, yang ditentukan oleh kadar gas, debu, suhu, dan kelembapan) serta kuantitas udara (volume udara segar yang diperlukan sesuai dengan standar untuk pekerja dan kegiatan di tambang). Dalam konteks Tambang PT Bukit Asam Unit Ombilin, permintaan akan udara menjadi sangat penting karena kondisi geologis yang rumit (batuan lemah, tekanan tinggi, kelembapan yang tinggi) dan aktivitas pemeliharaan yang mengeluarkan gas dan debu batubara. Analisis ini membutuhkan penilaian sebelum melakukan perbandingan antara kedua aspek tersebut, dengan fokus pada seberapa efektif ventilasi dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan pekerja.

Parameter inti mencakup kadar gas rumah kaca (CO , NO_2 , SO_2 , CH_4), debu batubara, serta faktor-faktor fisik seperti suhu dan kelembaban. Pengawasan kualitas udara di Ombilin dilaksanakan dengan memanfaatkan

sistem ventilasi yang efisien dan alat pengukur gas untuk mengidentifikasi potensi ancaman. Keuntungan Menjaga kesehatan jangka panjang bagi individu yang terpapar zat pencemar berbahaya. Kekurangan Memerlukan pengawasan operasional yang intensif dan berkesinambungan.

Kuantitas udara ditentukan oleh jumlah bahan baku yang digunakan dalam proses penambangan, yang biasanya diukur berdasarkan kebutuhan standar untuk setiap pekerja (contohnya, 6–8 m³/menit per orang) ditambah lagi dengan tambahan untuk solar dan proses produksi lainnya. Di Ombilin, kuantitas udara diatur oleh kipas utama dan kipas tambahan, yang mendistribusikan udara ke area kerja pemeliharaan. Keuntungan Menyediakan oksigen yang cukup, serta pengendalian polutan dan sirkulasi udara yang baik. Kekurangan Jika distribusi udara tidak baik, ada kemungkinan adanya area stagnan yang dapat membahayakan para pekerja

2.2.4 Rangkaian Jalur Udara di PT Bukit Asam Tbk

Penerapan rangkaian seri di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (PTBA UPO) didasarkan pada prinsip distribusi aliran yang mengalir secara berurutan melalui satu jalur utama tanpa adanya pembagian debit secara paralel yang signifikan. Dalam sistem ventilasi tambang, udara segar dialirkan dari satu saluran langsung menuju saluran berikutnya, sehingga debit udara pada setiap segmen lorong tetap konsisten untuk memenuhi kebutuhan oksigen di area kerja yang jauh di bawah tanah. Karakteristik fisik lorong tambang yang memanjang dan berkesinambungan mengharuskan penggunaan sistem seri ini agar aliran udara tetap terarah menuju area kerja atau perawatan, meskipun konsekuensinya terjadi akumulasi kehilangan tekanan (pressure loss) yang merupakan penjumlahan dari hambatan di setiap segmen jalur yang dilewati.

Selain pada sistem udara, implementasi rangkaian seri ini juga diterapkan secara strategis pada sistem penirisan air tambang melalui metode pemompaan bertahap (stage pumping). Mengingat kedalaman lubang tambang yang ekstrem, air dipindahkan secara estafet melalui serangkaian pompa yang dihubungkan secara seri untuk mengatasi beban angkat atau hambatan total (total dynamic head) yang sangat besar. Dengan menyusun

sistem secara seri, PTBA UPO dapat mengelola beban kerja mesin secara lebih efektif karena beban total sistem dihitung dari akumulasi hambatan di setiap tahapan saluran. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan rangkaian seri di PTBA UPO merupakan solusi keteknikan yang krusial untuk menjamin keberlangsungan operasional tambang bawah tanah yang kompleks secara aman dan efisien.

2.2.5 Standar Kebutuhan Udara bagi Pekerja

Menurut ventilasi tambang, kebutuhan udara minimum yang aman untuk pernapasan, pengenceran gas, dan kenyamanan bagi pekerja di tambang bawah tanah ditentukan antara 6 hingga 7 m³ setiap menit per individu. Standar ini dengan memperhatikan beberapa elemen penting, seperti jumlah oksigen yang dibutuhkan tubuh untuk mendukung proses metabolisme, keperluan untuk mengencerkan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan metana (CH₄), serta tingkat aktivitas fisik tenaga kerja yang mempengaruhi jumlah udara segar yang diperlukan. Dalam implementasinya, kegiatan pemeliharaan tambang sering kali mengharuskan pekerja untuk melaksanakan tugas fisik yang berat di area yang terbatas, sehingga kebutuhan akan udara bisa meningkat di atas standar minimum yang ada. Untuk itu, sistem ventilasi perlu dirancang tidak hanya untuk memenuhi keperluan dasar pernapasan, tetapi juga harus siap menghadapi situasi kerja yang lebih menantang agar keselamatan dan kesehatan kerja (K3) tetap terjaga. Untuk memenuhi kebutuhan udara di dalam tambang bawah tanah, penting untuk melakukan analisis terhadap beberapa faktor, termasuk sistem ventilasi yang ada, kondisi udara, dan kinerja kipas utama. Dengan mengevaluasi faktor-faktor ini, kita dapat mengetahui berapa banyak udara yang dibutuhkan untuk mendukung kelangsungan operasional. (Nasution, 2015)

2.2.6 Kuantitas Udara

Pada sistem ventilasi tambang, peralatan ventilasi memiliki peran yang sangat krusial. Secara umum, peralatan ventilasi tambang terdiri dari kipas, kompresor, anemometer, saluran, manometer, tabung pitot, sling psikrometer, regulator, serta berbagai alat lain yang mendukung sistem ventilasi tersebut.

1. Kecepatan Angin

Untuk mengukur kecepatan angin di dalam tambang bawah tanah, umumnya digunakan alat yang disebut anemometer. Alat ini berbentuk kincir angin yang sangat ringan dan memiliki sedikit gesekan, dengan bilah-bilah yang terbuat dari aluminium dan membentuk sudut antara 42 hingga 44 derajat terhadap porosnya. Alat ini dipasang di aliran udara untuk berputar, sehingga kecepatan angin atau jarak yang ditempuh oleh aliran udara dalam satuan waktu bisa dihitung dari jumlah putaran yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Rentang kemampuannya adalah - 10 m/s (Alman Syarif B. H., 2021). alat pengukur kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber : Antiteck Life Sciences

Gambar 2.2 Anemometer

Cara Penggunaan dan Pengukuran:

Anemometer jenis genggam ini dibuat untuk pengukuran yang cepat dan sementara di lapangan. Langkah-langkah Penggunaan:

- a. Nyalakan Alat Aktifkan dengan menekan tombol daya (biasanya bertuliskan "On/Off" atau "Power").
- b. Pilih Satuan Jika alat memiliki opsi untuk mengubah satuan (seperti tombol Unit/Mode yang terlihat), pilih satuan kecepatan angin yang sesuai (contohnya, m/s, km/jam, atau knot).

- c. Arahkan ke Angin Pegang anemometer dengan tangan Anda dan posisikan baling-baling dalam kondisi tegak lurus menghadap sumber angin. Pastikan bahwa tangan atau tubuh Anda tidak menghalangi aliran angin.
- d. Tinggi Pengukuran Angkat alat ke ketinggian yang tepat untuk pengukuran Anda (contohnya, pada ketinggian dada atau di atas pipa ventilasi).

Langkah-langkah Pengukuran dan Pembacaan:

- a. Pembacaan Stabil Pertahankan alat dalam posisi yang tetap selama beberapa detik hingga nilai kecepatan angin pada layar Lcd (contoh 2. 86 m/s pada gambar) tidak berfluktuasi drastis dan menunjukkan hasil yang stabil.
- b. Rata-rata dan Maksimum Alat digital biasanya dilengkapi dengan sejumlah fitur:
 - 1) Avg (Rata-rata) Tekan tombol yang sesuai (seperti Max/Min/Avg di gambar) untuk menampilkan kecepatan rata-ratanya selama periode pengukuran.
 - 2) Max (Maksimum) Periksa kecepatan angin tertinggi yang tercatat.
 - 3) Hold Gunakan tombol Hold untuk mempertahankan pembacaan pada layar saat ini.
2. Catat Hasil Simpan nilai yang ditampilkan, termasuk kecepatan rata-rata, hembusan maksimum, serta suhu udara (contoh, 30. 4°C pada gambar). Prosedur "Dalam penggunaan anemometer genggam, sangat penting untuk memastikan bahwa baling-baling diarahkan dengan tepat tegak lurus terhadap arah aliran udara yang ingin diukur. Pembacaan yang akurat diperoleh dengan memantau nilai rata-rata yang stabil selama periode pengukuran singkat, bukan hanya mengandalkan nilai sesaat.

Kuantitas udara adalah jumlah udara segar yang dipasok ke tambang melalui sistem ventilasi. Kuantitas ini diperlukan untuk memastikan ketersediaan oksigen yang cukup, mengencerkan

polutan, dan menjaga sirkulasi udara agar tidak terjadi penumpukan gas beracun. Dengan kata lain, kualitas udara bergantung pada tekanan udara, sementara kuantitas udara bergantung pada jumlah udara yang tersedia. Kuantitas dihitung berdasarkan hasil kali antara kecepatan aliran udara dengan luas penampang yang dilawatinya.dengan persamaan 2.1 berikut:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

Q = Kuantitas udara, (m^2 /detik)

V = Kecepatan aliran udara tambang, (m/detik)

A = Luas penampang jalan udara tambang, (m^2)

kuantitas udara pada lokasi tambang seperti pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Kuantitas Udara Tambang Bawah Tanah Sawahluwung

No	lokasi	kecepatan (m/s)	luas penampang (m^2)	Kuantitas (m^3 /s)
1	Adit	2,46	10,28	25,28
2	J4	2,09	10,01	20,92
3	J2-J3	2,52	8,28	20,86
4	J2-J6	2,08	9,14	19,01
5	J6-J8	2,4	7,37	17,68
6	J52-J53	3,46	5,04	17,43
7	J51-J53	2,04	7,78	15,87
8	J2C-J51	0,93	14,1	13,11
9	J2C-J4C	0,97	10,36	10,04
10	J6C (front)	14,37	0,28	4,20
11	J9c (front)	11,32	0,28	3,03
12	J9C-J10C	1,34	5,64	7,55
13	J11 (front)	9,92	0,28	2,77

No	lokasi	kecepatan (m/s)	luas penampang (m^2)	Kuantitas (m^3 /s)
14	Dosco(front)	11,28	0,28	3,15
15	J8C-J5C	0,65	11,2	7,28
16	J5C-J3C	0,86	11,75	10,10
17	J3C	0,9	12,09	10,88
18	J1C	0,98	11,11	10,88
19	J1C-J57	1,87	6,98	13,05
20	J7-J46	2,57	6,78	17,42
21	J1-J7	2,54	9,21	23,39
22	J37 - J14	0,59	7,28	4,29
23	LS 1	1,07	6,68	7,14
24	mesin induk	14	2,54	35,56

Sumber Febrianda Bafnis 2014

Pada penelitian ini perhitungan kuantitas udara di permukaan kerja dilakukan berdasarkan:

- Berdasarkan kebutuhan udara minimal untuk pernafasan pekerja di front kerja. kebutuhan minimum untuk pernafasan sebesar $0,01 \text{ m}^3$ /detik/orang. (Ari Febrianda Bafnis, 2014)
- Berdasarkan kebutuhan minimum untuk mengencerkan gas metan. Perhitungan pengenceran gas metan menggunakan persamaan 2.2 berikut. (Materi Ventilasi Tambang, Balai Diklat TBT, 2002, halaman 35) :

$$Y = 4,1 + 0,023 (X) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan,

Y = Keluaran emisi gas metan (m^3 /ton batubara)

X = Kedalaman penambangan rata rata (m)

3. Berdasarkan Jumlah Maksimum Pekerja, Setelah memperoleh debit udara, langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan udara untuk menjalankan operasi dengan cara mengetahui jumlah pekerja yang ada di area dan jumlah peralatan yang dipakai, sehingga dapat ditentukan kebutuhan udara di lokasi kerja. untuk mengetahui jumlah maksimum pekerja di area, bisa dirumuskan dengan Persamaan 2.3 berikut:

$$\text{Jumlah maksimal perkerja} = \frac{(\text{kuatitas udara di front})}{(\text{kebutuhan udara/orang})} \dots\dots\dots (2.3)$$

Agar karyawan dapat menjalankan tugasnya dengan baik, kualitas udara di area kerja harus menjadi perhatian. untuk mengetahui kondisi kualitas udara di tempat tersebut, perlu dilakukan pengukuran tingkat kelembapan serta memahami suhu efektif dengan menggunakan grafik suhu efektif dan grafik efisiensi kerja.

4. Berdasarkan jumlah tenaga kuda (*Horse Power*) peralatan yang beroperasi. Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk setiap tenaga kuda apabila mesin dihidupkan, kuantitas udara yang diperlukan yaitu sebesar $0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$. Menurut Hartman,H,L. (1997) rumus 2.4 sebagai berikut:

$$Q = HP \times 0,03 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

Q : Kebutuhan Udara m^3/detik

HP : Horse Power

5. Luas Penampang Lubang

Alat Luas penampang lubang tambang bawah tanah adalah area potongan melintang dari suatu akses, seperti terowongan, *shaft*, atau *drift*, yang diukur secara tegak lurus terhadap arah pergerakan (baik itu pergerakan material, tenaga kerja, peralatan, maupun

udara) di dalam tambang bawah tanah. Untuk macam-macam bentuk penampang itu ada beberapa yaitu:

a. Bentuk Trapesium

Penampang bentuk trapesium bias di ukur menggunakan persamaan 2.5 berikut:

$$A = \frac{a+b}{2} (h)(m^2) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m^2)

a = Luas Penampang Trapesium (m)

b = Panjang Sisi Bawah Trapesium (m)

h = Tinggi (m)

b. Bentuk Persegi Panjang

Penampang bentuk Persegi Panjang bias di ukur menggunakan persamaan 2.6 berikut:

$$A = P \times I \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m^2)

P = Panjang Penampang (m)

I = Lebar Penampang (m)

(Feishal, 2019)

c. Berbentuk Setengah Lingkaran

Penampang bentuk setengah lingkaran bias di ukur menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8 berikut:

Luas Lingkaran:

$$A = \frac{1}{2} \pi r^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

Luas Persegi Panjang:

$$A = P \times I \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

A	= Luas Penampang (m^2)
π	= Bilangan Konstanta 3,14
r	= Jari-jari lingkaran (m)
d	= Diameter lingkaran (m)
p	= Panjang penampang (m)
I	= Lebar penampang (m)

(Dian and All, 2019)

d. Bentuk Lingkaran

Luas Penampang saluran udara bentuk lingkaranm bias di ukur menggunakan persamaan2.9 berikut:

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

A	= Luas penampang (m^2)
d	= Diameter lingkaran (m)
π	= Bilangan konstantan 3,14

(Anggriani, 2018)

6. Panjang Lubang

Panjang lubang adalah salah satu informasi utama yang digunakan dalam kajian sistem ventilasi pada tambang bawah tanah. Panjang lubang diartikan sebagai jarak yang terdapat di sepanjang terowongan atau pintu masuk tambang yang menjadi jalur aliran udara ventilasi, mulai dari titik di mana udara masuk (inlet) sampai ke titik di mana udara keluar (outlet) di area kerja yang sedang dianalisis.

Pengumpulan data tentang panjang lubang dilakukan dengan cara mengukur secara langsung di lokasi menggunakan pita pengukur (roll meter) mengikuti jalur asli terowongan tambang. Pada terowongan yang memiliki tikungan atau cabang, pengukuran dilakukan secara berangsur pada setiap bagian terowongan,

kemudian semua panjang tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan total panjang lubang. Untuk terowongan yang memiliki kemiringan, pengukuran dilakukan mengikuti sumbu terowongan sehingga panjang yang diukur mencerminkan jalur aliran udara yang sesungguhnya. Data panjang lubang yang berhasil dikumpulkan akan digunakan sebagai parameter dalam perhitungan tahanan gesekan udara serta analisis volume udara ventilasi di tambang bawah tanah.

2.2.7 Kelembaban Relatif Udara

Sling Psychrometer Perangkat ini dipakai untuk mengukur kelembaban udara di luar ruangan. Sling psychrometer terdiri dari dua termometer raksa yang difungsikan untuk mengukur suhu kering (dry bulb) dan basah (wet bulb). Pada dasarnya, suhu kering merupakan ukuran panas yang terdeteksi di atmosfer. Pada saat kondisi jenuh, penguapan tidak terjadi dan suhu basah serta kering akan menunjukkan angka yang sama. Ketika kondisi tidak jenuh, air akan menguap dari permukaan termometer basah dengan kecepatan tertentu yang sebaliknya sebanding dengan tekanan uap dari uap air yang ada di udara. Proses penguapan tersebut akan mendinginkan ujung termometer sehingga suhu akan menurun (Syabani, 2023) Sling Psychrometer bias di lihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Sumber :Rahmad Syahbani 2023

Gambar 2.3 Sling psychrometer

Cara Penggunaan dan Pengukuran *Sling psychrometer* :

1. Persiapan Alat

Membersihkan Pastikan bahwa bola dan sumbu (kain muslin) termometer bebas dari kotoran atau minyak yang bisa mengganggu proses penguapan. Pembahasan Sumbu Basahi kain sumbu pada termometer bola basah dengan air suling yang bersih dan memiliki suhu ruangan. Menggunakan air suling sangat penting agar tidak ada mineral yang menghalangi penguapan.

2. Pengayunan (*Slinging*)

Ayunan Genggam pegangan psikrometer dengan erat dan gerakkan alat tersebut dengan gerakan berputar (sekitar 2 hingga 3 rotasi per detik) di luar ruangan selama waktu tertentu (biasanya antara 30 detik hingga 1 menit). Tujuan Proses pengayunan bertujuan untuk memastikan bahwa termometer bola basah mendapatkan aliran udara yang cukup sehingga penguapan dapat mencapai keadaan jenuh dan suhunya mencapai nilai terendah yang stabil.

Prosedur "Ayunan harus dilakukan dengan kecepatan yang konsisten dan cukup untuk meningkatkan penguapan maksimum hingga suhu bola basah mencapai titik terendahnya sebelum pengukuran. "

3. Pembacaan dan Pengulangan

Pembacaan Cepat Berhentilah mengayun dan segeralah catat suhu pada termometer bola basah terlebih dahulu (karena suhunya dapat kembali naik setelah dihentikan). Setelah itu, catat suhu pada termometer bola kering. Pengulangan Lakukan kembali langkah mengayun dan membaca sebanyak 2-3 kali hingga suhu bola basah yang diukur pada dua pembacaan berturut-turut menunjukkan nilai yang sama atau stabil. Ini adalah suhu bola basah yang tepat.

Kelembaban relatif udara adalah sebuah angka yang dinyatakan dalam persen (%) dan menggambarkan perbandingan antara jumlah uap air yang terdapat dalam udara pada suhu tertentu dengan kapasitas maksimum uap air yang bisa ditampung pada suhu yang sama. Umumnya, uap air dalam udara

akan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan uap air yang ada di udara yang lebih dingin (Syarif, 2021)

Kelembapan udara di tambang bawah tanah tidak hanya memengaruhi umur pakai peralatan mekanis, tetapi juga secara langsung berdampak pada mekanisme pelepasan panas tubuh manusia. Pada kondisi kelembapan relatif yang sangat tinggi (di atas 90%), proses penguapan keringat (evaporasi) sebagai mekanisme alami pendinginan tubuh menjadi terhambat. Hal ini disebabkan oleh udara yang sudah hampir jenuh dengan uap air, sehingga tidak mampu lagi menyerap kelembapan dari kulit secara efektif. Kondisi ini dapat memicu fenomena heat strain, di mana suhu inti tubuh meningkat secara progresif meskipun suhu lingkungan mungkin masih berada dalam batas normal. Akibatnya, pekerja akan lebih cepat mengalami kelelahan, penurunan fokus, dan risiko dehidrasi yang lebih tinggi.

Kelembapan relatif udara dihitung berdasarkan hasil bagi antara massa uap air aktual dengan massa uap air maksimum pada suhu tersebut dikali seratus persen. dengan persamaan 2.10 berikut:

$$RH = \frac{\text{Massa Uap Air Aktual}}{\text{Massa Uap Air Maksimum pada Suhu Tersebut}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

2.2.8 Kualitas Udara

Kualitas udara merupakan ukuran kualitas yang dipengaruhi oleh keberadaan gas berbahaya (misalnya CO, NO₂, SO₂, CH₄), debu pertambangan, dan faktor fisik seperti suhu dan kelembapan. Udara berkualitas baik harus bebas dari konsentrasi polutan berbahaya agar pekerja dapat bernapas dengan aman. Jenis pekerjaan memerlukan variasi dalam jumlah udara segar yang dibutuhkan.

Ini mencakup proses menghirup udara segar dan mengeluarkan udara yang sudah digunakan. Tingkat pernapasan pada saat istirahat merupakan jumlah udara yang dihirup dan dikeluarkan dalam satu menit. Ukuran ini bervariasi tergantung pada aktivitas individu, yang menunjukkan bahwa semakin berat tugas yang dilakukan, semakin tinggi pula tingkat pernapasan pada saat istirahat. Penting untuk mengukur rasio karbon dioksida yang

dikeluarkan dengan oksigen yang dihirup dalam satu kali napas. Bagi seseorang yang aktif, kuotien respirasi adalah satu, yang menunjukkan bahwa jumlah CO_2 yang dikeluarkan setara dengan jumlah O_2 yang dihirup dalam setiap napas. (Cahyono, 2023)

Untuk menjaga keselamatan dan kesehatan kerja di area tambang bawah tanah, diperlukan standar kualitas udara yang jelas dan bisa diukur. Standar ini meliputi kadar minimum oksigen, batas maksimum untuk gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), serta hidrogen sulfida (H_2S), dan level debu yang dapat terhirup. Regulasi nasional dan referensi teknis terkait ventilasi tambang menetapkan batas paparan yang harus dipatuhi agar pekerja dapat bertugas dengan aman. Tabel di bawah ini menyajikan parameter kualitas udara yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. kualitas udara pada lokasi tambang seperti pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Nilai Ambang Batas Gas dan Parameter Lingkungan

Gas / Parameter	NBA (ppm / %)	Keterangan / Dampak
Oksigen (O_2)	$\geq 19,5 \%$	Minimum konsentrasi aman untuk pernapasan
Gas / Parameter	NBA (ppm / %)	Keterangan / Dampak
Karbon monoksida (CO)	50 ppm	Batas paparan kerja 8 jam
Karbon dioksida (CO_2)	5000 ppm	Batas paparan kerja 8 jam
Metana (CH_4)	1 %	Potensi ledakan bila $> 5\%$
Hidrogen sulfida H_2S	10 ppm	Iritasi, beracun
Debu respirabel	3 mg/m ³	Sesuai standar K3 untuk paparan debu

Sumber Dwi Galih Cahyono 2023

Pengendalian Kualitas Udara Tambang Semakin tinggi aktivitas fisik, semakin banyak udara bersih yang dibutuhkan. Oleh karena itu, sebelum

merencanakan ventilasi di tambang, penting untuk menghitung dengan akurat kebutuhan udara minimal untuk setiap situasi kerja. Jenis-jenis aktivitas manusia dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Dalam keadaan istirahat
2. Dalam melakukan aktivitas kerja sedang, seperti bekerja di kantor
3. Saat melakukan tugas-tugas berat, seperti pekerjaan raga atau tambang.

Kebutuhan udara untuk bernapas bagi setiap pekerja, telah ditentukan dalam Peraturan Menteri, yaitu sebesar 2 m^3 per menit per orang, atau $0,03 \text{ m}^3$ per detik per orang. (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 1827K/30/MEM/2018). mengenai Keselamatan dan Kesehatan di Pertambangan Umum. (1995)) (Janah, 2014) Perhitungan Kebutuhan Udara untuk Pernafasan Pekerja, Kebutuhan udara untuk bernapas bagi setiap pekerja menggunakan persamaan 2.11 dan 2.12 berikut:

$$Q \text{ Pernapasan} = \text{Jumlah orang} \times 2 \text{ m}^3/\text{menit perorang, atau} \quad (2.11)$$

$$Q \text{ Pernapasan} = \text{Jumlah orang} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{detik perorang} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

Q = Kebutuhan udara (m^3/menit atau m^3/detik)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (UPO), yang saat ini berada dalam masa perawatan (*maintenance phase*) dan dialihfungsikan sebagai kawasan edukasi. Waktu pelaksanaan penelitian mulai dari tanggal 10 Maret - 10 April, berlangsung selama 1 (satu) bulan, secara jelas dan dapat dilihat pada Tabel 3.1

3.1.1 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

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

Sumber : Penulis (2026)

3.1.2 Lokasi Penelitian

Penentuan lokasi penelitian merupakan tahapan awal yang penting guna memberikan gambaran geografis dan administratif mengenai batasan wilayah studi. Penelitian ini dilaksanakan di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (UPO), yang secara administratif terletak di Kecamatan Lembah Segar, Kota Sawahlunto,

yang aktif berada dalam fase perawatan (*maintenance*) ini memiliki total panjang mencapai [masukkan angka total, (1.270 meter atau 1.27 Km). Bentangan panjang tersebut mencakup keseluruhan jalur sirkulasi udara operasional, yang meliputi lubang masuk utama (*main decline/intake air shaft*), lubang jalan angkut, lubang ventilasi khusus (*airway*), hingga lubang menuju area eks-produksi yang masih memerlukan suplai udara secara kontinu.

Dimensi panjang lubang ini menjadi parameter yang sangat krusial dalam analisis sistem ventilasi karena berbanding lurus dengan resistansi aliran udara. Semakin panjang jalur yang harus dilewati udara, maka akan semakin besar pula tingkat kehilangan tekanan akibat gesekan (*friction loss*) di sepanjang dinding lubang tambang, yang sekaligus meningkatkan risiko terjadinya akumulasi gas-gas berbahaya pada area yang jauh dari sumber intake. Oleh karena itu, data dimensi dan panjang lubang ini digunakan sebagai dasar utama dalam mengevaluasi serta menguji keandalan kapasitas kipas angin tambang (*mine fan*) yang digunakan saat ini.

3.2 Tahapan Penelitian

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

1. *Observasi lapangan*

Observasi lapangan merupakan langkah awal berupa kunjungan dan pengamatan langsung ke lokasi tambang bawah tanah. Kegiatan ini bertujuan untuk memahami kondisi aktual sistem ventilasi mekanis yang digunakan, memetakan jalur distribusi udara, serta mengamati secara langsung aktivitas pekerja perawatan di berbagai titik seperti galeri, area mesin induk, dan area pompa.

2. *Pengambilan data*

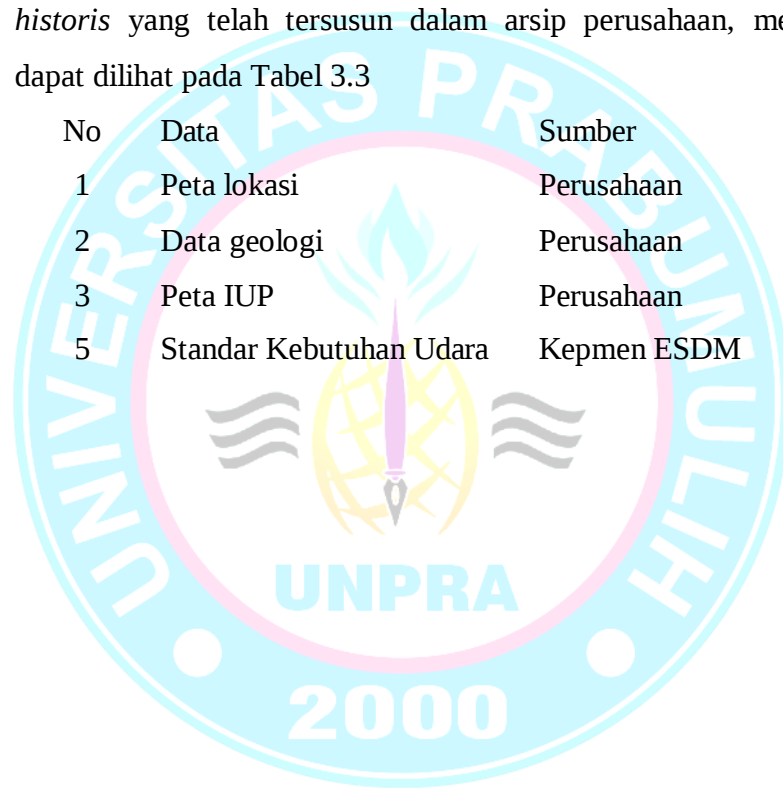
Korelasi yang terjadi pada perusahaan data yang diambil pada saat rencana penelitian dapat dikelompokkan menjadi data *primer* dan data *sekunder* sebagai berikut.

- a. *Data Primer*, Pengambilan data dilakukan dengan pengamatan langsung ke lapangan yang meliputi dan dapat dilihat pada Tabel 3.2

No	Data	Metode
1	Jumlah Pekerja	Observasi Langsung
2	Kualitas Udara	Pengukuran Langsung
3	Kuantitas Udara	Opservasi Langsung
4	Panjang Lubang	Peta Tambang data skunder
5	Luas Penampang Lubang	Pengukuran Langsung
6	Kecepatan Angin	<i>Anemometer</i>
7	Kelembapan Udara	<i>Sling Psychrometer</i>

b. Data *Sekunder*, pada umumnya berupa bukti, catatan, atau laporan *historis* yang telah tersusun dalam arsip perusahaan, meliputi dan dapat dilihat pada Tabel 3.3

No	Data	Sumber
1	Peta lokasi	Perusahaan
2	Data geologi	Perusahaan
3	Peta IUP	Perusahaan
5	Standar Kebutuhan Udara	Kepmen ESDM



3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir dari kegiatan penelitian yang dilakukan disesuaikan dengan tahapan dari penelitian seperti Gambar 3.2 berikut.



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data

Pengolahan data bertujuan untuk mengubah data mentah yang diperoleh dari pengukuran di lapangan (data *primer*) menjadi parameter ventilasi yang dapat dianalisis. Berdasarkan metodologi penelitian, berikut adalah tahapan pengolahan data yang dilaksanakan:

1. Menghitung luas Penampang

Menghitung luas penampang (A) berdasarkan variasi geometri lorong bukaan tambang, seperti bentuk trapesium dan setengah lingkaran. Setelah luas penampang diketahui, nilai tersebut dikalikan dengan kecepatan aliran udara rata-rata (V) yang terukur oleh anemometer guna mendapatkan debit atau kuantitas udara aktual (Q_{aktual}) yang mengalir pada jaringan ventilasi tersebut.

2. Perhitungan Kuantitas Udara aktual (Q_{aktual})

Luas Penampang (A) Diukur dengan mempertimbangkan ukuran lebar dan tinggi dari jalur yang ada di dalam tambang. Kuantitas Udara (Q) Diperoleh dengan cara mengalikan kecepatan angin rata-rata (V) yang diukur dengan anemometer dengan luas penampang (A), menggunakan Persamaan 2. 1:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana Q merupakan kuantitas (m^3/detik), A adalah luas penampang

(m^2), dan V adalah kecepatan angin (m/detik). dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.2 Perhitungan Debit Udara Aktual

No	Titik	Luas Penampang A (m^2)	Kecepatan V (m/detik)	Kuantitas Q (m^3/detik)
1.	Adit	10,28 m^2	1,05	10,85
2.	J4-J2	8,23 m^2	1,24	10,93
3.	J6-J7	7,25 m^2	1,51	11,00
4.	J14-J37	8,31 m^2	1,34	11,08

No	Titik	Luas Penampang $A (m^2)$	Kecepatan V (m/detik)	Kuantitas Q (m^3 /detik)
5.	Mesin	7,13 m^2	1,56	11,15
	Induk			

Sumber: Penulis (2026)

3. Perhitungan Kebutuhan Udara Berdasarkan Jumlah Pekerja

Kebutuhan untuk Udara Pekerja Perhitungan dilakukan berdasarkan jumlah pekerja di area perawatan. Menurut standar yang berlaku, kebutuhan udara minimum ditetapkan sebesar 0,03 m^3 /detik/orang atau 2 m^3 /menit/orang. yang digunakan adalah Persamaan 2.10 dan 2.11:

$$Q \text{ Pernapasan} = \text{Jumlah orang} \times 2 \text{ } m^3/\text{menit perorang, atau} \quad (2.10)$$

$$Q \text{ Pernapasan} = \text{Jumlah orang} \times 0,03 \text{ } m^3/\text{detik perorang} \quad (2.11)$$

Berdasarkan data operasional pada unit perawatan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Ombilin, parameter yang digunakan adalah sebagai berikut Jumlah Pekerja 16 Orang. Standar Udara 0,03 m^3 /detik/orang

4. Perhitungan Kebutuhan Udara untuk Peralatan Mekanis

Aktivitas perawatan tambang sangat bergantung pada peralatan bertenaga motor listrik, seperti pompa air dan *blower*, yang memancarkan panas secara persisten. Kebutuhan udara untuk memindahkan beban termal ini dihitung dengan mengonversi daya alat ke dalam satuan *Horse Power* (HP), di mana setiap 1 HP membutuhkan aliran udara sebesar 0,03 m^3 /detik untuk mencegah terjadinya *overheating* (panas berlebih). yang digunakan adalah Persamaan 2.3:

$$Q = HP \times 0,03 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

Q : Kebutuhan Udara m^3 /detik

HP : *Horse Power*

5. Perhitungan Kebutuhan Pengenceran Gas dan Kecepatan Minimum

Kebutuhan udara untuk mengencerkan gas metana dihitung berdasar emisi gas dengan menggunakan Persamaan 2.2:

$$Y=4,1+0,023 (X)..... (2.2)$$

Dimana Y merupakan emisi gas metana ($m^3/ton\$$) dan X merujuk pada kedalaman rata-rata penambangan (m). dapat dilihat pada Tabel 3.6

Kebutuhan udara untuk pengenceran gas dievaluasi berdasarkan estimasi emisi gas metana alami dari lapisan batubara sesuai kedalaman tambang. Selain itu, data luas penampang juga dikalikan dengan ambang batas kecepatan angin minimum untuk menentukan kuantitas udara minimum yang wajib dipenuhi agar sirkulasi udara mampu menyapu gas secara merata dan mencegah timbulnya zona stagnan (udara diam).

6. Pendekatan Evaluasi Kualitas Udara (Parameter Partikulat Debu)

Pada rancangan penelitian awal, evaluasi kualitas udara direncanakan mencakup pengukuran parameter gas tambang dan konsentrasi debu respirabel (*respirable dust*). Namun, dalam pelaksanaannya, pengukuran kuantitatif untuk memperoleh data primer konsentrasi partikulat debu tidak dapat dilakukan akibat kendala teknis pada instrumen pengukuran di lapangan. Selain itu, ketersediaan data sekunder terkait pengujian debu historis dari pihak perusahaan untuk area perawatan juga ditemukan terbatas. Sebagai solusi atas kendala tersebut, metodologi penelitian disesuaikan dengan mengalihkan parameter debu ke dalam bentuk analisis kualitatif deskriptif tanpa menghilangkan variabel tersebut dari kajian. Data dikumpulkan melalui metode observasi visual secara langsung (*direct visual observation*) terhadap kondisi udara aktual di sepanjang jalur ventilasi tambang bawah tanah. *Observasi* ini difokuskan pada identifikasi sumber pemicu debu, frekuensi kemunculannya, serta efektivitas sirkulasi udara ventilasi dalam menetralsir partikulat yang terangkat selama aktivitas perawatan berlangsung. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan gambaran empiris mengenai kondisi lingkungan kerja meskipun terdapat keterbatasan pada aspek instrumentasi.

3.4.2 Teknik Pengolahan Data

Setelah pengolahan data selesai, dilakukan pemeriksaan mendalam untuk menjawab pertanyaan mengenai kebutuhan udara bagi pekerja perawatan dan kualitas udara bagi pekerja perawatan di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin.

1. Analisis Kuantitas Udara (*Quantity Analysis*) Analisis ini membandingkan Jumlah Udara Aktual (Q_{aktual}) dengan total kebutuhan udara (Q_{Total})

- a. Jika $Q_{aktual} \geq Q_{Total}$ maka suplai udara dinyatakan Mencukupi untuk mendukung aktivitas pekerja perawatan.
- b. Jika $Q_{aktual} < Q_{Total}$ maka suplai udara dinyatakan Kurang, yang berisiko menyebabkan sesak napas atau akumulasi gas berbahaya.

2. Penilaian Kualitas Udara

Kualitas udara dianalisis dengan cara membandingkan kadar gas dan parameter fisik yang diperoleh dari pengukuran dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang terdapat di Tabel 2.2:

- a. Oksigen (O_2): Harus minimal 19,5%. Jika di bawah angka ini, dapat berbahaya bagi proses pernapasan.
- b. Karbon Monoksida (CO): Tidak boleh lebih dari 50 ppm (batas paparan selama 8 jam).
- c. Metana (CH_4): Harus kurang dari 1% untuk mencegah resiko ledakan, dan di bawah 5% untuk batas aman pernapasan sementara.
- d. Debu yang Dapat Diinhalasi Tidak boleh melebihi 3 mg/m³.
- e. Suhu dan Kelembapan Diperiksa dengan grafik suhu efektif untuk memastikan kenyamanan termal pekerja, karena suhu yang tinggi dapat mengurangi produktivitas.

3. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan hasil pembahasan dari analisis data yang merupakan jawaban dari tujuan penelitian kemudian kesimpulan di olah lebih lanjut pada pembahasan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas Udara Dalam Lubang Tambang Bawah Tanah PT Bukit Asam Tbk UPO

Analisis kualitas udara merupakan aspek krusial dalam operasional tambang bawah tanah untuk menjamin keselamatan dan kesehatan kerja para personel di baris depan (*front*). Pada sub-bab ini, dilakukan evaluasi terhadap parameter fisik dan kimia udara yang meliputi konsentrasi gas-gas berbahaya, kadar oksigen, serta tingkat kelembapan dan suhu di lokasi penelitian. Hasil pengukuran lapangan kemudian dibandingkan dengan standar regulasi yang berlaku, yakni Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, guna menentukan tingkat kelayakan atmosfer kerja bagi aktivitas penambangan.

4.1.1 Analisis Kualitatif Kondisi Partikulat Debu Tambang

Meskipun tidak dilakukan pengukuran debu secara kuantitatif akibat keterbatasan peralatan dan data historis, pengamatan visual di lapangan memberikan gambaran yang jelas mengenai kualitas udara di area perawatan tambang bawah tanah. Secara umum kondisi udara di lokasi penelitian memiliki tingkat timbulan debu yang sangat minim dan tidak menunjukkan adanya partikulat debu yang melayang secara konstan (*stagnan*) di udara.

Berdasarkan hasil observasi selama pengamatan, beberapa poin analisis kualitatif terkait kondisi debu di area perawatan adalah sebagai berikut:

1. Sifat Timbulan Debu yang Insidental Partikulat debu tidak dihasilkan dari proses mekanis karena tambang sedang dalam masa perawatan (*maintenance*). Timbulan debu hanya terjadi secara insidental atau sementara akibat aktivitas pergerakan pekerja (berjalan) di atas lantai lorong tambang.
2. Distribusi Debu Bersifat Lokal Debu yang terangkat akibat pergerakan pekerja tersebut sangat terbatas, tidak menyebar luas, dan tidak ditemukan di sepanjang lorong perjalanan menuju area

pengamatan (*Adit*, Galeri, maupun area Mesin Induk). Hal ini menandakan bahwa sumber partikulat debu sangat minim.

3. Efektivitas Penyapuan Udara (Pengenceran Beban Debu) Ketika timbulan debu yang bersifat lokal tersebut muncul akibat pergerakan pekerja, kecepatan aliran udara dari sistem ventilasi mekanis (*Main Fan*) yang mengalir secara konstan terbukti mampu secara langsung meredam, menyapu, dan mengencerkan debu tersebut menuju jalur udara keluar (*return airway*).

Dengan demikian, kualitas udara terkait partikulat debu di area perawatan PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin dinilai dalam kondisi yang sangat baik dan terkendali. Tidak ada indikasi akumulasi debu yang berpotensi mengganggu jarak pandang visual (*visibility*) maupun mengancam kesehatan pernapasan para pekerja perawatan tambang bawah tanah.

4.1.2 Penilaian Kualitas Udara Tambang

Penilaian kualitas udara dilakukan untuk mengetahui kondisi atmosfer kerja pada area tambang bawah tanah serta membandingkannya dengan Nilai Ambang Batas (NAB) yang berlaku. Parameter yang diamati meliputi kadar oksigen (O_2), metana (CH_4), karbon monoksida (CO), hidrogen sulfida (H_2S), suhu, dan kelembaban udara. Hasil pemantauan kualitas udara tambang dapat di lihat pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Hasil Pemantauan Kualitas Udara Tambang

No	Lokasi	O_2 %	CH_4 %	CO %	H_2S PPM	Suhu °C	Kelembapan %	Keterangan
1.	Adit	20.9	0	0	0	24	95	Memenuhi NAB
2.	J2-J4	20.9	0	0	0	23	92	Memenuhi NAB
3.	J6-J7	20.9	0	0	0	24	95	Memenuhi NAB
4.	J14-J37	20.9	0	0	0	24	89	Memenuhi NAB
5.	Mesin Induk	20.9	0	0	0	26	93	Memenuhi NAB

Sumber: Penulis (2026)

Berdasarkan hasil pengamatan pada table 4.6, kadar oksigen pada seluruh lokasi pengamatan menunjukkan nilai sebesar 20.9%. Nilai tersebut masih berada di atas batas minimum yang di persyaratkan, yaitu 19,5% sehingga kondisi udara masih aman bagi peroses pernapasan pekerja tambang bawah tanah. Hasil perbandingan pengukuran kualitas udara dengan NAB dapat dilihat pada Table 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan NAB

No	Parameter	Hasil Pengukuran	NAB	Satuan	Keterangan
1.	Oksigen	20,9	$\geq 19,5$	%	Memenuhi NAB
2.	Metana	0	< 1	%	Memenuhi NAB
3.	Karbon Monoksida	0	≤ 50	ppm	Memenuhi NAB
4.	Hidrogen Sulfida	0	≤ 10	ppm	Memenuhi NAB
5.	Temperatur Efektif	23-26	18-30	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi NAB
5.	Kelembapan Relatif	89-95	65-95	%	Memenuhi NAB

Sumber: Penulis (2026)

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, konsentrasi gas berbahaya yang meliputi metana (CH_4), karbon monoksida (CO), dan hidrogen sulfida (H_2S) di seluruh titik pengamatan menunjukkan nilai nihil (0). Kondisi ini mengindikasikan tidak adanya akumulasi gas-gas polutan, sehingga risiko ledakan maupun gangguan kesehatan bagi pekerja dapat diminimalisir secara signifikan. Dari sisi parameter fisik, suhu udara tercatat berada pada rentang $23\text{--}26^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat kelembapan berkisar antara 89–95%.

Secara umum, parameter tersebut masih berada dalam koridor batas kenyamanan kerja untuk lingkungan tambang bawah tanah. Namun, perlu diperhatikan bahwa tingkat kelembapan yang relatif tinggi di beberapa titik berpotensi mempercepat kelelahan fisik pekerja jika sirkulasi udara tidak terjaga secara konsisten. Secara komprehensif, data ini membuktikan bahwa sistem ventilasi yang diterapkan saat ini berfungsi secara efektif dalam menjaga kualitas atmosfer tambang tetap stabil dan memenuhi standar keselamatan serta kesehatan kerja (K3) yang berlaku.

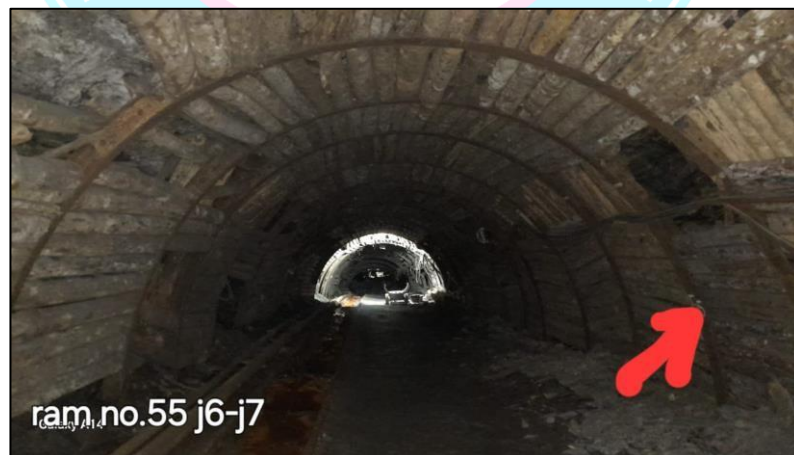
4.1.3 Analisis Efisiensi dan Kebocoran Udara

Kuantitas udara yang mengalir di dalam tambang bawah tanah sering kali mengalami penyusutan akibat adanya kebocoran udara (*air leakage*). Berdasarkan observasi lapangan di area perawatan PT Bukit Asam Unit Ombilin, ditemukan beberapa titik kritis yang menjadi penyebab utama tidak optimalnya distribusi udara, khususnya pada jalur ventilasi antara titik J6-J7 dan J14-J37. bias di lihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 sebagai berikut:



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.1 Visualisasi Lubang pada Struktur Penyekat Jalur Ventilasi J6-J7



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.2 Dokumentasi Celah Kebocoran Udara pada Penampang Saluran

1. Deskripsi Temuan pada Titik J6-J7

Berdasarkan dokumentasi lapangan (Gambar 4.1 dan 4.2), pada jalur ventilasi J6-J7 ditemukan kondisi fisik penampang yang kurang ideal. Tanda panah merah pada foto menunjukkan adanya lubang-lubang pada struktur penyekat jalan udara. Penyebab Struktur penampang yang sudah mengalami degradasi atau pemasangan penyekat yang kurang rapat menyebabkan udara tidak mengalir sepenuhnya melalui jalur utama. Dampak Lubang pada penampang ini mengakibatkan terjadinya "arus pendek" (*short-circuiting*), di mana sebagian udara segar langsung terbang ke jalur pembuangan (*return airway*) sebelum sempat mencapai area yang membutuhkan suplai udara optimal.

2. Deskripsi Temuan pada Titik J14-J37

Pada titik J14-J37 (Gambar 4.3), ditemukan permasalahan yang lebih kompleks berupa adanya rongga besar atau "goa" yang terletak tepat di atas struktur penampang.

- a. Penyebab Kondisi geologi batuan atap yang tidak rata atau terjadinya runtutan kecil di masa lalu menciptakan rongga kosong di atas konstruksi penampang ventilasi.
- b. Dampak Rongga ini menjadi celah bagi udara untuk meloloskan diri. Selain menyebabkan kehilangan kuantitas udara, rongga atau goa ini sangat berbahaya karena dapat menjadi tempat terjebak gas metana (CH_4). Mengingat metana memiliki massa jenis yang lebih ringan daripada udara, gas tersebut akan cenderung naik dan terkumpul di langit-langit rongga yang tidak terjangkau oleh aliran udara utama (*stagnant zone*). Kondisi geologi yang tidak rata pada titik J14-J37 menyebabkan terbentuknya rongga di atas struktur penampang yang berpotensi menjadi zona stagnan, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.3 visualisasi Rongga (Goa) di Atas Penampang Jalur Ventilasi J14-J37

3. Analisis Teknis Dampak Kebocoran

Secara teknis, kebocoran yang terjadi di kedua titik tersebut mengakibatkan dua kerugian utama:

- a. Penurunan Tekanan Efektif Kebocoran melalui lubang dan rongga menyebabkan tekanan statik udara menurun, sehingga daya dorong angin untuk mencapai area perawatan yang lebih jauh menjadi berkurang.
- b. Pemborosan Energi Kipas Kipas angin induk (*main fan*) harus bekerja lebih keras untuk mengompensasi udara yang hilang. Hal ini meningkatkan konsumsi energi listrik tanpa memberikan manfaat bagi kualitas udara di titik kerja.

4. Upaya Penanganan dan Rekomendasi

Untuk mengoptimalkan kembali sistem ventilasi pada area tersebut, disarankan beberapa langkah teknis sebagai berikut:

- a. Penutupan Penampang (*Sealing*) Melakukan perbaikan pada penampang J6-J7 dengan menutup lubang-lubang menggunakan material kedap udara seperti semen khusus atau busa poliuretan (*ventilation foam*).
- b. Pengisian Rongga Atas (*Grouting/Backfilling*) Rongga atau goa di atas penampang J14-J37 harus segera ditutup atau diisi. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan ruang kosong tempat gas berbahaya berkumpul sekaligus memastikan aliran udara tetap fokus pada lintasan utama.
- c. Inspeksi Periodik Melakukan pemantauan rutin menggunakan alat deteksi gas dan *anemometer* pada titik-titik rawan kebocoran untuk memastikan perbaikan yang dilakukan tetap berfungsi efektif.

4.2 Analisis Kebutuhan Udara Pekerja Perawatan Tambang Bawah Tanah

4.2.1 Data Kebutuhan Udara Pekerja Perawatan

4.2.1.1 Data Jumlah Pekerja

Berdasarkan hasil pengamatan pada shift pagi, jumlah personel yang beraktivitas di dalam tambang bervariasi tergantung pada jenis pekerjaan perawatan yang dilakukan. Personel terdiri dari mekanik pompa, pendamping dari perusahaan, serta mahasiswa/siswi praktik lapangan. Data jumlah pekerja dirangkum dalam Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Rekapitulasi Jumlah Pekerja (Shift Pagi)

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh
1.	10 Maret 2026	- Perawatan di galeri 3	4	18
		- Perawatan isapan pompa J6	5	
		- Mekanik pompa	4	
		- Di J38	1	
		- Pendamping dan mahasiswa keliling	4	
2.	11 Maret 2026	-Pembuata / pengelasan isapan pompa	5	18
		-Pemasangan tiang di lobang galeri 3	4	
			4	
		- Mekanik pompa	1	

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh
		-Di J38	4	
		-Pendaping dan mahasiswa keliling		
		- Pemantauan operasional (<i>running</i>) di area Galeri	3	
3.	12 Maret 2026	- Pemasangan pompa isapan di J6	5	
		- Mekanik pompa	4	17
		- Siswa PL	1	
		- Pendaping dan mahasiswa Keliling	4	
		- Perawatan saluran air bersih	3	
		- Pembersihan <i>suction</i> (isapan) pompa J6	2	
4.	13 Maret 2026	- Mekanik pompa	5	15
		- Di J38	1	
		- Pendaping dan mahasiswa Keliling	4	
5.	14 Maret 2026	- Libur	Libur	Libur
6.	15 Maret 2026	- Libur	Libur	Libur
		- perbaikan pompa Orion J6	3	
7.	16 Maret 2026	- Mekanik pompa	4	
		- Di J38	1	14
		- Pendaping dan mahasiswa	4	
		- Keliling	4	
		- Penyambungan kabel lampu <i>emergency</i>	4	
		- Pemantauan di lobang pendidikan	4	
8.	17 Maret 2026	- Mekanik pompa	3	
		- Di J38	1	16
		- Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
9.	18 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
10.	19 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
11.	20 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
12.	21 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
13.	22 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
14.	23 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
15.	24 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
16.	25 Maret 2026	Perawatan penyangga	3	
		-Perawatan pompa	4	16

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh
		-Di J38	1	
		-Mekanik pompa	4	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
17.	26 Maret 2026	-Perawatan penyangga	3	
		-Gantii pipa pompa Orion J6	5	
		-Mekanik pompa	4	16
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
18.	27 Maret 2026	-Perawatan penyangga	3	
		-Gantii pipa pompa Orion J6	5	
		-Mekanik pompa	4	16
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
19.	28 Maret 2026	-Libur	Libur	Libur
20.	29 Maret 2026	-Libur	Libur	Libur
21.	30 Maret 2026	-Trasport pompa orion di J14	4	
		-Pembersihan area bak pompa J6	4	
		-Mekanik pompa	5	18
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	5	
22.	31 Maret 2026	-Perawatan di area pompa J2	4	
		-Perbauikan pipa orion	4	
		-Di J38	1	16
		-Mekanik pompa	3	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
23.	1 April 2026	-Perawatan bak pompa di J6	4	
		-Perbaikan paret dan perawatan pompa orion	4	
		-Di J38	1	16
		-Mekanik pompa	3	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
24.	2 April 2026	-Lanjut rawatan di J6	4	
		-Pembenahan pompa dan gardu listrik	4	
		-Di J38	1	16
		-Mekanik pompa J6/J7	3	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
25.	3 April 2026	-Libur	Libur	Libur
26.	4 April 2026	-Libur	Libur	Libur
27.	5 April 2026	-Libur	Libur	Libur
28.	6 April 2026	-Perawatan pompa	4	
		-Perawatan di bak pompa	4	16
		-Di J38	1	
		-Mekanik pompa	3	

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
29.	7 April 2026	-Rawatan di J6	5	15
		-Mekanik pompa	5	
		-Di J38	1	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
30.	8 April 2026	-Perawatan di lubang pendidikan	4	16
		-Rawatan di bak pompa	4	
		-Mekanik pompa	3	
		-Di J38	1	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	4	
31.	9 April 2026	-Lanju perawatan di area pompa J6	4	16
		-Perawatan di lubang pendidikan	4	
		-Mekanik pompa	3	
		-Pendampingan dan mahasiswa	5	
		-Pemeliharaan rutin (<i>rawatan</i>) di lubang pendidikan	4	
32.	10 April 2026	-Pemeliharaan bak penampung J6	4	18
		-Mekanik pompa	5	
		-Pendampingan dan mahasiswa	5	
		-Pendampingan dan mahasiswa keliling	5	
Rata - Rata				16
Sumber: Penulis (2026)				

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan yang dilakukan selama 18 hari kerja, tercatat adanya fluktuasi jumlah personel yang melakukan aktivitas perawatan di tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin. Personel tersebut terdiri dari tenaga mekanik yang berfokus pada pemeliharaan pompa, tim pendamping dari perusahaan, serta mahasiswa dan siswa praktik lapangan. Dari keseluruhan data yang terkumpul, jumlah pekerja tertinggi mencapai 18 orang, sementara jumlah terendah adalah 12 orang. Secara statistik, diperoleh nilai rata-rata jumlah pekerja sebanyak 15,7 orang, yang kemudian dibulatkan menjadi 16 orang per shift untuk keperluan perhitungan teknis.

4.2.1.2 Data Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang beroperasi di dalam lokasi penelitian didominasi oleh perangkat mekanis bertenaga listrik yang berfungsi untuk

mendukung sistem penyaliran (*drainage*) dan ventilasi utama. Penggunaan alat-alat bermotor listrik ini, meskipun tidak menghasilkan gas buang seperti mesin diesel, tetap memberikan kontribusi terhadap peningkatan suhu lingkungan akibat panas yang dipancarkan dari kerja motor mesin. Peralatan yang di gunakan bias di lihat pada Table 4.4 di bawah ini

Tabel 4.4 Peralatan yang di Gunakan

No	Nama Alat	Lokasi	Kapasitas	Jumlah	Jam Operasional
1.	Blower	Mesin Induk	37Kw (50 HP)	1	24 jam
2.	Pompa	J6	11 Kw	1	14 jam 56 menit
3.	Pompa	J7	22 Kw	1	14 jam 56 menit
4.	Pompa	J37	30 Kw	1	14 jam 56 menit

Sumber: Penulis (2026)

Keberadaan peralatan mekanis ini menuntut adanya aliran udara tambahan di luar kebutuhan pernapasan manusia. Aliran udara tersebut diperlukan untuk mendinginkan mesin-mesin yang bekerja secara kontinu agar tidak terjadi *overheating* yang dapat memicu kegagalan sistem atau risiko kebakaran kabel. Selain itu, sistem ventilasi harus mampu mengalirkan udara yang cukup untuk menyapu panas tersebut keluar dari lubang tambang sehingga suhu di area kerja tetap berada dalam rentang Nilai Ambang Batas (NAB) yang nyaman bagi para pekerja perawatan

4.2.1.3 Data Luas Penampang

Pengukuran dimensi lorong dilakukan pada lima titik pengamatan utama untuk menentukan luas penampang aktual (A). Pengukuran dimensi fisik lorong tambang untuk menentukan luas

penampang dilakukan secara presisi dengan menggunakan alat ukur manual dapat di lihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut:

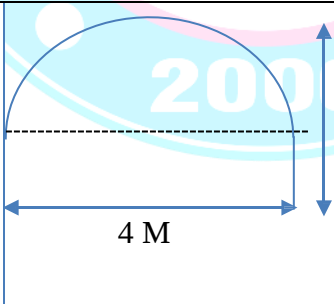
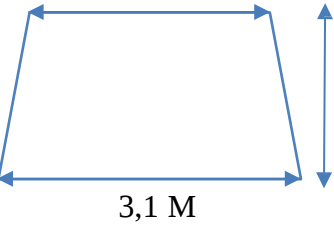


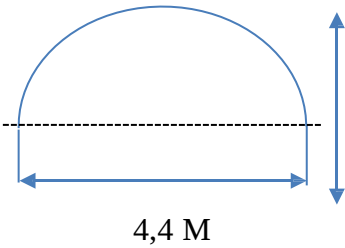
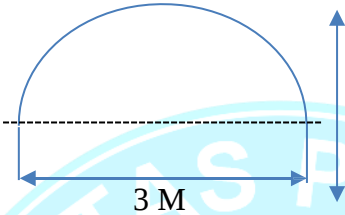
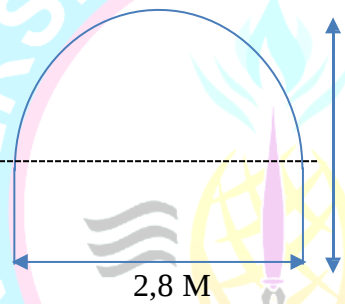
Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.4 Pita Ukur (Roll Meter) Untuk Mengukur Dimensi Penampang

Variasi dimensi ini disebabkan oleh kondisi geologi batuan penyangga dan perbedaan fungsi awal dari masing-masing lorong tersebut. dapat di lihat pada Tabel 4.5 di bawah ini

Tabel 4.5 Perhitungan dan Bentuk Luas Penampang

No	Lokasi	Bentuk Penampang	Perhitungan Luas Penampang $A \text{ M}^2$
1.	Adit		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 2^2}{2} = 6,28$ $A_2 = (2 - 1)4 = 4m^2$ $A = A^1 + A^2 = 6,28 + 4 = 10,28 m^2$
2.	J4 – J2		$A = \frac{a + b}{2} (h)$ $= \frac{3M + 3,10m}{2} \times 2,7$ $= \frac{6,10}{2} \times 2,7 = 8,23 m^2$

3.	J6 – J7		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 2,2^2}{2} = 6,90$ $A_2 = (2,70 - 1,5) 4 = 0,35 m^2$ $A = A^1 + A^2 = 6,90 + 0,35 = 7,25 m^2$
4.	J14 – J37		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 1,5^2}{2} = 4,71$ $A_2 = (2,70 - 1,5) 3 = 3,6 m^2$ $A = A^1 + A^2 = 4,71 + 3,6 = 8,31 m^2$
5.	Mesin Induk		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 1,38^2}{2} = 4,33$ $A_2 = (2,4 - 1,4) 2,8 m = 2,8 m^2$ $A = A^1 + A^2 = 4,33 + 2,8 = 7,13 m^2$

Sumber: Penulis 2026

Perbedaan luas penampang ini memiliki korelasi langsung terhadap karakteristik aliran udara di dalam tambang. Sesuai dengan hukum kontinuitas, pada kuantitas udara yang tetap, penyempitan luas penampang akan menyebabkan peningkatan kecepatan aliran udara. Adanya rongga atau penyempitan di sepanjang lorong juga berpotensi menciptakan hambatan udara (*resistance*) yang dapat mengganggu efisiensi distribusi udara segar ke *front* kerja terjauh. Oleh karena itu, data luas penampang ini menjadi parameter vital dalam menghitung volume udara total yang mampu dialirkan oleh sistem ventilasi yang ada saat ini.

4.2.1.4 Data Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara diukur secara langsung menggunakan *anemometer* digital di setiap titik pengamatan dengan melakukan

beberapa kali pengulangan untuk mendapatkan nilai rata-rata yang akurat. Data menunjukkan bahwa kecepatan udara bervariasi bias dilihat pada Table 4.6 di bawah ini:

Tabel 4.6 Kecepatan Aliran Udara

No	Lokasi	Kecepatan Udara m/detik	Kuantitas m^3 /detik
1.	<i>Adit</i>	1,05	10,85
2.	J4-J2	1,24	10,93
3.	J6-J7	1,51	11,00
4.	J14-J37	1,35	11,08
5.	Mesin Induk	1,26	11,15

Sumber: Penulis 2026

Antara 1,05 m/detik hingga 1,51 m/s. Kecepatan tertinggi tercatat di area J6–J7, yang secara teknis sejalan dengan luas penampangnya yang lebih kecil dibandingkan area lainnya. Secara keseluruhan, kuantitas udara yang masuk melalui *Adit* adalah sebesar 10,85 m^3 /detik, sementara udara yang keluar melalui Mesin Induk tercatat sebesar 11,15 m^3 /detik.

Pengukuran kecepatan ini sangat penting untuk mengevaluasi apakah aliran udara di dalam tambang sudah memenuhi standar kecepatan minimum yang diwajibkan untuk mencegah stagnasi udara. Untuk mendapatkan nilai kecepatan aliran udara yang akurat di setiap titik pengamatan, dilakukan pengukuran langsung di lapangan menggunakan instrumen digital pada Gambar 4.5 berikut:



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.5 *Anemometer* Digital sebagai Alat Ukur Kecepatan Angin

Kecepatan udara yang cukup tidak hanya menjamin distribusi oksigen, tetapi juga berfungsi untuk mengencerkan akumulasi gas berbahaya seperti metana (CH_4) atau karbon monoksida (CO) yang mungkin timbul secara alami dari lapisan batuan. Hasil pengukuran ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan kebutuhan udara teoritis untuk menentukan apakah sistem ventilasi saat ini masih mencukupi (*adequate*) atau memerlukan optimalisasi tambahan.

4.2.1.5 Data Suhu dan Kelembapan Udara

Pengukuran suhu dan kelembapan udara merupakan parameter krusial dalam evaluasi ventilasi tambang, karena sangat memengaruhi tingkat kenyamanan dan produktivitas pekerja (iklim kerja). Data berikut diperoleh menggunakan *Sling Psychrometer* (seperti terlihat pada Gambar 4.3) untuk mendapatkan nilai suhu bola basah (*Wet Bulb*), suhu bola kering (*Dry Bulb*), serta kelembapan relatif (*Relative Humidity*). Pengukuran kondisi termal dan tingkat kelembapan di lokasi penelitian dilakukan untuk memastikan iklim kerja yang aman bagi personil, dengan menggunakan instrumen manual di lihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut:



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.6 *Sling Psychrometer* untuk Pengukuran Suhu Bola Kering dan Bola Basah

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan yang tercatat dalam, kondisi termal udara pada lokasi pengamatan utama di lihat pada Table 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Ringkasan Data Suhu dan Kelembapan

Lokasi Pengamatan	Suhu Bola Basah (Tw)	Suhu Bola Kering (Td)	Kelembapan (RH)	Suhu Efektif (Teff)
Adit (Udara Masuk)	25°C	26°C	95 %	24°C
J4-J2	24 °C	25 °C	92%	23 °C
J6-J7	25 °C	26 °C	95%	24 °C
J14-J37	25 °C	25 °C	89%	24 °C
Mesin Induk (Udara Keluar)	27°C	28°C	93 %	26°C

Sumber: Penulis (2026)

Selain itu, pemantauan berkala pada lokasi Adit dan J2-J4 (Set 2) menunjukkan bahwa kelembapan udara bersifat konsisten tinggi di kisaran 89% hingga 95%, dengan fluktuasi suhu harian yang stabil antara 24°C sampai 28°C. Berdasarkan data di atas, terdapat beberapa poin penting yang dapat dianalisis:

1. Peningkatan suhu terjadi kenaikan suhu sebesar 2°C dari udara masuk (*Adit*) menuju udara keluar (*Mesin Induk*). Hal ini disebabkan oleh panas yang dilepaskan dari aktivitas mekanis mesin.
2. Kelembapan relatif yang tinggi nilai RH yang mencapai 95% menunjukkan bahwa udara di dalam tambang hampir jenuh dengan uap air. Kondisi ini umumnya terjadi karena kurangnya sirkulasi udara yang cepat atau adanya rembesan air tanah di sepanjang jalur ventilasi.
3. Evaluasi iklim kerja jika merujuk pada standar keselamatan kerja (Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018), suhu efektif rata-rata sebesar 24°C - 26°C masih berada dalam batas aman dan nyaman untuk bekerja (batas maksimal biasanya berada di kisaran 30°C). Namun, kelembapan yang terlalu tinggi ($>90\%$) perlu diwaspadai karena dapat menghambat proses penguapan keringat alami tubuh pekerja, yang berisiko menyebabkan kelelahan lebih cepat (*heat strain*).

4.2.2 Analisis Kebutuhan Udara

4.2.2.1 Kebutuhan Udara Berdasarkan Jumlah Pekerja

Kebutuhan udara untuk pernapasan pekerja merupakan parameter paling mendasar dalam merancang dan mengevaluasi sistem ventilasi tambang bawah tanah. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018, suplai udara bersih minimum yang harus disediakan untuk setiap pekerja adalah $2 \text{ m}^3/\text{menit}$ atau setara dengan $0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan selama masa perawatan di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin, rata-rata jumlah personel yang beraktivitas dalam satu *shift* adalah sebanyak 16 orang. Personel ini meliputi mekanik pompa, tim pendamping, dan mahasiswa praktik. Perhitungan kebutuhan udara untuk pekerja ($Q_{pekerja}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$Q \text{ Pernapasan} = \text{Jumlah orang} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{detik perorang}$$

Keterangan:

Q = Kebutuhan udara (m^3 /menit atau m^3 /detik)

Diketahui:

1. Jumlah pekerja maksimal = 16 Orang
2. Standar udara per orang (Q) = 0,03 m^3 /detik (Sesuai Kepmen ESDM 1827/2018)

$$Q \text{ Pernapasan} = \text{Jumlah orang} \times 0,03 \text{ } m^3/\text{detik perorang}$$

$$\text{Maka, } Q_{\text{pernapasan}} = 16 \times 0,03 = 0,48 \text{ } m^3/\text{detik}$$

Sehingga, suplai udara bersih minimum yang wajib dialirkan khusus untuk pernapasan pekerja di area perawatan adalah sebesar 0,48 m^3 /detik. Angka ini merupakan batas absolut yang harus terpenuhi selama aktivitas berlangsung guna menjamin kesehatan kerja personel dan mencegah terjadinya hipoksia atau gangguan pernapasan di lokasi penelitian.

4.2.2.2 Kebutuhan Udara Berdasarkan Gas-Gas Berbahaya

Selain untuk pernapasan, udara ventilasi berfungsi sebagai media pengencer gas-gas berbahaya, khususnya gas metana (CH_4), agar konsentrasinya tetap berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yaitu 1%. Kebutuhan udara untuk mengencerkan emisi gas metana dihitung berdasarkan kedalaman area penambangan menggunakan persamaan:

$$Y = 4,1 + 0,023 (X)$$

Keterangan,

Y = Keluaran emisi gas metan (m^3 /ton batubara)

X = Kedalaman penambangan rata rata (m)

$$Y = 4,1 + 0,023 (0)$$

$$= 4,1 \text{ } m^3 / \text{ton}$$

Berdasarkan hasil perhitungan emisi gas metana menggunakan persamaan regresi $Y = 4,1 + 0,023 (X)$, didapatkan bahwa pada titik permukaan ($X = 0$), keluaran emisi gas metan secara teoritis adalah

sebesar $4,1 \text{ m}^3/\text{ton}$ batubara. Namun, data aktual di lapangan pada lokasi pengamatan (*adit* hingga J37) menunjukkan angka 0% untuk konsentrasi CH_4 . Sebagai data penguat, hasil inventarisasi dan pemantauan kualitas atmosfer tambang secara komprehensif di area penelitian dirangkum dalam Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Hasil Pemantauan Kualitas Gas Tambang

No	Lokasi	O ₂ %	CH ₄ %	CO %	H ₂ S PPM
1.	<i>Adit</i>	20.9	0	0	0
2.	J2-J4	20.9	0	0	0
3.	J6-J7	20.9	0	0	0
4.	J14-J37	20.9	0	0	0
5.	Mesin Induk	20.9	0	0	0

Sumber: Penulis (2026)

Hal ini mengindikasikan bahwa sistem ventilasi yang berjalan saat ini Sangat efektif dalam mengencerkan emisi gas yang keluar dari lapisan batubara, sehingga atmosfer tambang tetap berada dalam kondisi aman dan memenuhi standar kesehatan kerja (K3). Hasil pemantauan konsentrasi gas metana (CH_4) di lokasi penelitian menunjukkan kondisi atmosfer yang aman, sebagaimana terdokumentasi pada hasil deteksi pada Gambar 4.7 berikut:



Sumber: Penulis (2026)

Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Tambang Menggunakan alat gas detektor pada Lokasi Pengamatan

Berdasarkan hasil observasi visual di lapangan, keberadaan partikulat debu di area perawatan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin sangat dipengaruhi oleh intensitas aktivitas fisik manusia dan mekanis. Debu termineralisasi yang mengendap di lantai terowongan cenderung terangkat kembali ke udara (*re-suspended dust*) saat pekerja melakukan aktivitas jalan kaki maupun pada saat berlangsungnya proses penggantian penyangga (*timbering/support replacement*). Aktivitas alat angkut dan pergerakan pekerja di sepanjang lorong menjadi pemicu utama debu naik ke udara dan membentuk suspensi yang dapat memengaruhi jarak pandang serta kenyamanan pernapasan.

Meskipun demikian, hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem ventilasi yang beroperasi saat ini memiliki efektivitas yang sangat baik dalam menjaga kualitas udara dari paparan debu. Aliran udara ventilasi sanggup menetralkan partikulat debu segera setelah debu tersebut terangkat ke udara. Kecepatan aliran udara yang konsisten bekerja dengan cara "menyapu" (*sweeping effect*) partikulat debu secara langsung dan membawanya menuju saluran pembuangan udara balik (*return airway*). Mekanisme pembersihan alami oleh arus ventilasi ini menyebabkan konsentrasi debu di area kerja tidak bertahan lama dan segera hilang, sehingga lingkungan kerja tetap terkendali dan memenuhi aspek kesehatan kerja meskipun tanpa penggunaan instrumen pembasah (*dust suppression*).

4.2.2.3 Kebutuhan Udara Berdasarkan Kecepatan Angin Minimum

Penentuan kebutuhan udara berdasarkan kecepatan angin minimum bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh area bukaan tambang tersapu oleh aliran udara segar secara kontinu. Hal ini sangat penting untuk mencegah terbentuknya zona stagnan (udara diam) yang dapat memicu akumulasi gas-gas berbahaya serta peningkatan suhu lokal di area perawatan.

$$Q = V \times A$$

Keterangan :

Q = Kuantitas udara, (m^3 /detik)

V = Kecepatan aliran udara tambang, (m/detik)

A = Luas penampang jalan udara tambang, (m^2)

Diketahui:

V = Kecepatan aliran udara = 1,05 m / detik

A = Luas penampang = 10,28 m^2

$$Q = V \times A$$

$$= 1,05 \times 10,28 \text{ } m^3$$

$$= 10,85 \text{ } m^3 \text{ /detik}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diperoleh bahwa kuantitas udara yang mengalir berdasarkan parameter kecepatan angin minimum adalah sebesar 10,85 m^3 /detik. Nilai ini merepresentasikan volume udara total yang bergerak melewati penampang jalan udara seluas 10,28 m^2 /detik pada setiap detiknya. Analisis lebih mendalam terhadap hasil perhitungan ini dapat dijabarkan ke dalam beberapa poin penting:

1. Efektivitas Sirkulasi Kecepatan aliran udara sebesar 1,05 m^3 /detik sudah sangat memadai untuk menjaga dinamika udara di dalam lubang bukaan. Kecepatan ini berada di atas batas kecepatan minimum umum ventilasi tambang bawah tanah (yang biasanya berkisar antara 0,3 m^3 /detik hingga 0,5 m^3 /detik).
2. Pencegahan Akumulasi Gas Dengan dorongan angin sebesar 1,05 m/detik, partikel gas emisi ataupun gas hasil oksidasi tidak memiliki kesempatan untuk mengendap atau terkonsentrasi pada satu titik, melainkan akan langsung terencerkan dan terbawa menuju jalur pembuangan (*return airway*).
3. Penyediaan Oksigen yang Merata Dimensi luas penampang yang cukup besar (10,85 m^2) dipadukan dengan kecepatan angin yang stabil menjamin bahwa suplai oksigen akan terdistribusi secara merata ke seluruh sudut lorong, sehingga meminimalisir adanya area dengan kadar oksigen rendah (*dead end zone*).

4.2.2.4 Kebutuhan Udara Berdasarkan Peralatan Mekanis

Aktivitas operasional dan perawatan di Unit Pertambangan Ombilin sangat bergantung pada kesiapan peralatan mekanis, khususnya sistem pompa drainase yang memiliki kapasitas daya antara 11 kW hingga 30 kW. Untuk menjamin kontinuitas kerja dan meminimalisir risiko henti produksi, diterapkan sistem redundansi pada peralatan utama sebagai berikut.

1. Sistem Pompa Terdapat total 6 unit pompa, di mana 3 unit dioperasikan secara aktif untuk memenuhi kebutuhan drainase, sementara 3 unit lainnya disiagakan sebagai cadangan teknis.
2. Sistem *blower* Tersedia 2 unit *blower*, dengan konfigurasi 1 unit aktif dan 1 unit cadangan yang siap digunakan apabila terjadi kerusakan atau kendala teknis pada unit utama.

Meskipun seluruh peralatan ini bertenaga listrik sehingga tidak menghasilkan gas buang beracun seperti mesin diesel, pengoperasian motor listrik pada pompa dan *blower* tersebut tetap memancarkan energi panas yang signifikan. Akumulasi panas ini menjadi faktor utama yang mendasari perlunya perhitungan debit ventilasi yang akurat guna menjaga suhu lingkungan kerja tetap optimal.

Untuk menjaga suhu lingkungan kerja tetap stabil dan mencegah panas berlebih (*overheating*) pada mesin, sistem ventilasi harus menyediakan kuantitas udara yang cukup untuk memindahkan panas tersebut. Sesuai dengan standar teknis operasional, setiap tenaga kuda (HP) dari peralatan yang beroperasi membutuhkan suplai udara sekitar 3 m³/menit (setara dengan 0,03 m³/detik).

Berikut adalah detail perhitungan konversi daya dan kebutuhan udara untuk ketiga kapasitas pompadan satu *blower* tersebut:

Diketahui: *Blower* 50 HP = 1 unit

$$\begin{aligned} Q &= HP \times 0,03 \\ &= 50 \times 0,03 \\ &= 1,50 \end{aligned}$$

Diketahui : pompa 11 Kw = 1 unit

: 11 kw di ubah ke HP = $11 \times 1,341 = 14,75$ HP

$$\begin{aligned} Q &= HP \times 0,03 \\ &= 14,75 \times 0,03 \\ &= 0,44 \end{aligned}$$

Diketahui : pompa 22 Kw = 1 unit

: 22 kw di ubah ke HP = $22 \times 1,341 = 29,5$ HP

$$\begin{aligned} Q &= HP \times 0,03 \\ &= 29,5 \times 0,03 \\ &= 0,89 \end{aligned}$$

Diketahui : pompa 30 Kw = 1 unit

: 30 kw di ubah ke HP = $30 \times 1,341 = 40,235$ HP

$$\begin{aligned} Q &= HP \times 0,03 \\ &= 40,23 \times 0,03 \\ &= 1,21 \end{aligned}$$

Total Kebutuhan Per Alat: $Q_{total} = 1,50 + 0,44 + 0,89 + 1,21 = 4,04 \text{ m}^3$ /detik

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diperoleh total kebutuhan udara untuk menetralsir panas dari seluruh peralatan mekanis yang beroperasi di area perawatan adalah sebesar $4,04 \text{ m}^3$ /detik. Nilai ini merupakan akumulasi dari kebutuhan udara untuk 1 unit *blower* berkapasitas 50 HP dan 3 unit pompa air yang aktif dengan variasi kapasitas daya yang berbeda. Beberapa poin penting yang dapat dijabarkan dari hasil analisis data di atas meliputi:

1. Efek Termal Peralatan Listrik Meskipun peralatan mekanis yang digunakan di Unit Pertambangan Ombilin digerakkan oleh motor listrik dan tidak menghasilkan emisi gas buang beracun seperti mesin diesel, motor listrik dengan kapasitas besar tetap memancarkan energi panas yang signifikan ke

udara sekitar. Kebutuhan udara sebesar $4,04 \text{ m}^3 / \text{detik}$ ini mutlak diperlukan khusus untuk memindahkan beban panas tersebut agar suhu lingkungan kerja tetap stabil.

2. Pencegahan Masalah Teknis (*Overheating*) Tanpa adanya suplai udara pendingin yang cukup dari sistem ventilasi, akumulasi panas dari pengoperasian pompa-pompa drainase yang bekerja secara kontinu dapat memicu terjadinya *overheating* pada motor listrik. Hal ini berisiko menurunkan efisiensi kerja mesin hingga menyebabkan kerusakan fatal pada komponen pompa.
3. Penciptaan Iklim Kerja yang Aman Selain untuk menjaga kondisi mesin, sirkulasi udara ini berfungsi penting dalam menjaga batas kenyamanan iklim kerja bagi para personel perawatan. Aliran udara yang memadai akan mencegah peningkatan suhu efektif ruangan, sehingga menghindarkan pekerja dari risiko kelelahan ekstrem (*heat stress*) selama menjalankan tugas perawatan di dalam tambang.
4. Dominasi Beban Pompa Dari total kebutuhan peralatan sebesar $4,04 \text{ m}^3 / \text{detik}$, peralatan pompa air menyumbang beban sebesar $2,54 \text{ m}^3 / \text{detik}$ (akumulasi dari pompa 11kW, 22kW, dan 30kW). Hal ini mengindikasikan bahwa manajemen tata udara sangat dipengaruhi oleh sistem penyaliran air (*drainage system*).

4.2.2.5 Rekapitulasi Total Kebutuhan Udara

Total kebutuhan udara (Q_{total}) untuk area perawatan tambang bawah tanah dievaluasi dari akumulasi atau nilai maksimal dari parameter-parameter di atas. Secara umum, pemenuhan kebutuhan ventilasi dihitung dengan mempertimbangkan kondisi operasional terberat, yaitu saat jumlah pekerja maksimal dan seluruh peralatan mekanis beroperasi secara bersamaan dan bias di lihat pada Tabel 4.9 di bawah ini :

$$Q_{total} = Q_{pekerja} + Q_{alat} + Q_{pengencer/gas}$$

$$Q_{\text{total}} = 0,48 + 4,04 + 0$$

$$= 4,52 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Tabel 4.9 Rekapitulasi Total Kebutuhan Udara di Area Perawatan

No	Parameter Perhitungan	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kebutuhan Udara untuk Pekerja	Q_{pekerja}	0.48	$\text{m}^3 / \text{detik}$
2	Kebutuhan Udara Berdasarkan Gas	Q_{gas}	0.00	$\text{m}^3 / \text{detik}$
3	Kebutuhan Udara Peralatan Mekanis	Q_{gas}	4,04	$\text{m}^3 / \text{detik}$
4	Total Akumulasi ($Q_{\text{pekerja}} + Q_{\text{alat}} + Q_{\text{pengencer/gas}}$)	Q_{acc}	4,52	$\text{m}^3 / \text{detik}$
5	Kebutuhan Berdasarkan Kecepatan Minimum	Q_{min}	10.85	$\text{m}^3 / \text{detik}$

Sumber: Penulis (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan akumulasi di atas, total kebutuhan udara minimal untuk mendukung operasional perawatan di tambang bawah tanah adalah sebesar $4,52 \text{ m}^3/\text{detik}$. Angka ini diperoleh dari penggabungan tiga parameter utama, yaitu kebutuhan oksigen untuk pekerja, kebutuhan udara pendingin untuk peralatan mekanis, serta kebutuhan pengenceran gas berbahaya. Analisis terhadap hasil akumulasi tersebut dijabarkan sebagai berikut

1. Integrasi Parameter Operasional Nilai $4,52 \text{ m}^3/\text{detik}$ mencerminkan kondisi operasional puncak (*peak condition*), di mana 16 orang pekerja berada di dalam lubang secara bersamaan dengan seluruh unit pompa dan *blower* dalam keadaan aktif. Dengan terpenuhinya debit udara ini, risiko sesak napas pada pekerja maupun risiko panas berlebih (*overheating*) pada motor listrik peralatan dapat diminimalisir secara efektif.
2. Kondisi Gas Berbahaya Dalam perhitungan ini, nilai kebutuhan udara untuk gas (Q_{gas}) ditetapkan sebesar $0 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hal ini didasarkan pada data aktual lapangan yang

tercantum dalam Tabel Deteksi Gas, di mana konsentrasi gas (CH_4 , CO , H_2S) berada pada angka 0%. Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas udara di area perawatan sangat stabil, sehingga beban kerja sistem ventilasi saat ini lebih difokuskan pada pengendalian suhu dan penyediaan oksigen, bukan pada pengenceran emisi gas.

3. Margin Keamanan terhadap Kecepatan Minimum Meskipun total akumulasi kebutuhan adalah $4,52 \text{ m}^3/\text{detik}$, sistem ventilasi harus tetap mempertimbangkan kriteria kecepatan angin minimum sebesar $10,85 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hal ini menunjukkan adanya margin keamanan yang cukup luas, di mana suplai udara aktual tidak hanya memenuhi kebutuhan biologis dan mekanis, tetapi juga memberikan perlindungan ekstra terhadap potensi akumulasi gas yang mungkin muncul secara tiba-tiba di masa mendatang.

Secara keseluruhan, pemenuhan kuantitas udara sebesar $4,52 \text{ m}^3/\text{detik}$ merupakan syarat mutlak agar aktivitas perawatan di Unit Pertambangan Ombilin dapat berjalan sesuai dengan standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pertambangan yang berlaku.

2.2.2.6 Perbandingan Udara Aktual dan Kebutuhan

Tahap akhir dalam evaluasi kelayakan sistem ventilasi di area perawatan PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin adalah melakukan analisis perbandingan. Analisis ini membandingkan antara kuantitas udara aktual yang mengalir di lapangan (Q_{aktual}) dengan total kebutuhan udara yang disyaratkan secara teknis (Q_{total}). dapat dilihat pada Tabel 4.10 sebagai berikut.

Tabel 4.10 Perbandingan Q Aktual dan Q Kebutuhan

NO	Lokai	Q Aktual m^3/detik	Q kebutuhan m^3/detik	Selisih m^3/detik	Keterangan
1	Adit	10,85	4,52	6,33	Mencukupi
2	J4-J2	10,93	4,52	6,41	Mencukupi
3	J6-J7	11,00	4,52	6,48	Mencukupi
4	J14-37	11,08	4,52	6,56	Mencukupi

NO	Lokai	Q Aktual m^3/detik	Q kebutuhan m^3/detik	Selisih m^3/detik	Keterangan
5	Mesin Induk	11,15	4,52	6,63	Mencukupi

Sumber: Penulis (2026)

Berdasarkan data pengukuran lapangan dan hasil rekapitulasi perhitungan sebelumnya, diperoleh parameter Kuantitas Udara Aktual (Q_{aktual}) $10.85 \text{ m}^3 / \text{detik}$ (Berdasarkan pengukuran di area masuk/*Adit*). Kebutuhan Udara Operasional (Q_{acc}) $4.52 \text{ m}^3 / \text{detik}$ (Akumulasi dari kebutuhan 16 pekerja, pemindahan panas peralatan mekanis, dan pengenceran gas). Kebutuhan Udara Standar Minimum (Q_{min}) $10.85 \text{ m}^3 / \text{detik}$ (Berdasarkan syarat kecepatan minimum untuk mencegah udara stagnan). Untuk mengetahui margin keamanan suplai udara terhadap aktivitas operasional perawatan, dilakukan perhitungan selisih (ΔQ) antara udara aktual dengan akumulasi kebutuhan operasional:

$$\Delta Q = Q_{\text{aktual}} - Q_{\text{acc}}$$

$$\Delta Q = 10.85 - 4.52$$

$$\Delta Q = +6.33 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Dari hasil perbandingan di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan analitis mengenai kondisi sistem ventilasi saat ini:

1. Surplus ketersediaan udara operasional terdapat kelebihan suplai udara sebesar $6.33 \text{ m}^3 / \text{detik}$ hingga $6.63 \text{ m}^3 / \text{detik}$ di atas kebutuhan pokok operasional. Surplus ini merupakan indikator positif yang menjamin bahwa kebutuhan respirasi pekerja akan tetap terpenuhi secara aman, sekaligus memberikan ruang (*buffer*) bagi penetralisirasi panas (*heat stress*) yang dihasilkan oleh pengoperasian pompa dan *blower* secara terus-menerus.
2. Pemenuhan standar anti-Stagnasi kuantitas udara aktual di lapangan $10.85 \text{ m}^3 / \text{detik}$ tepat memenuhi standar

kebutuhan aliran minimum $10.85 \text{ m}^3 / \text{detik}$. Hal ini mengonfirmasi bahwa udara di dalam lubang bukaan tambang bergerak dengan kecepatan yang memadai untuk menyapu seluruh lorong, sehingga tidak ada *dead end* atau area udara diam yang berisiko menjadi tempat terakumulasinya gas.

3. Kondisi lingkungan kerja yang optimal Mengingat hasil pengukuran gas berbahaya (CH_4 , CO , H_2S) di lapangan bernilai 0%, suplai udara aktual saat ini tidak terbebani oleh kebutuhan pengenceran gas ekstrem. Sistem ventilasi bekerja dengan efisiensi tinggi murni untuk menjaga kualitas iklim kerja (suhu dan oksigen).
4. Kesimpulan akhir secara keseluruhan, sistem ventilasi tambang bawah tanah di area perawatan Sawahluwung PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin dinyatakan Layak dan Sangat Mencukupi untuk mendukung seluruh kegiatan perawatan secara aman dan sesuai dengan regulasi K3 Pertambangan yang berlaku.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data lapangan, dan analisis teknis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di area perawatan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin, dapat disimpulkan bahwa kondisi kualitas udara di lokasi penelitian masih berada dalam kategori aman untuk mendukung kegiatan kerja. Hasil pengukuran menunjukkan kadar oksigen sebesar 20,9%, sedangkan gas metana (CH_4), karbon monoksida (CO), dan hidrogen sulfida (H_2S) tidak terdeteksi. Suhu udara berkisar antara 23–26°C dengan kelembapan relatif 89–95%. Meskipun kelembapan udara tergolong tinggi, seluruh parameter kualitas udara masih memenuhi ketentuan yang berlaku sehingga lingkungan kerja masih layak digunakan untuk kegiatan perawatan tambang.
2. Berdasarkan analisis kebutuhan udara, total kebutuhan udara minimum untuk kegiatan perawatan adalah sebesar 4,52 m³/detik. Sementara itu, hasil pengukuran di lapangan menunjukkan debit udara aktual berada pada kisaran 10,85–11,15 m³/detik di setiap titik pengamatan. Nilai tersebut lebih besar daripada kebutuhan udara minimum, Dengan demikian sistem ventilasi di area perawatan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin dinilai telah memenuhi kebutuhan udara dan mampu mendukung kegiatan kerja secara aman sesuai dengan ketentuan keselamatan dan kesehatan kerja pertambangan.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian mengenai kebutuhan udara dan kondisi infrastruktur ventilasi, berikut adalah langkah-langkah strategis yang direkomendasikan:

1. Meskipun konsentrasi gas berbahaya berada pada nilai 0%, manajemen disarankan untuk melakukan evaluasi rutin pada sistem drainase untuk menekan laju penguapan air di dalam tambang guna mengurangi tingkat kelembapan yang tinggi (89–95%). Selain itu, perlu dilakukan perbaikan fisik pada area kebocoran udara (*air leakage*) di titik penyekat J6-J7 dan rongga atap di lintasan J14-J37 menggunakan material penutup (*sealant*) atau kain ventilasi (*brattice cloth*) serta semen cepat kering (*fast-setting grout*) untuk menutup celah dan lubang yang ada. Langkah ini krusial untuk mencegah terjadinya *short-circuiting* udara dan memastikan aliran udara tersalurkan dengan maksimal ke seluruh area kerja.
2. Evaluasi kebutuhan udara lanjutan meskipun suplai udara saat ini dinyatakan surplus dan mencukupi, disarankan bagi perusahaan untuk melakukan pemantauan berkala dan pengecekan kembali efektivitas sistem ventilasi jika terdapat perubahan intensitas aktivitas perawatan atau penambahan jumlah personel di masa mendatang, guna memastikan kondisi lingkungan kerja tetap terjaga sesuai dengan standar K3 Pertambangan yang berlaku.

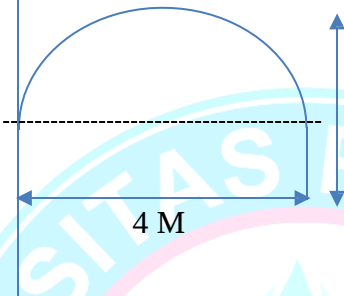
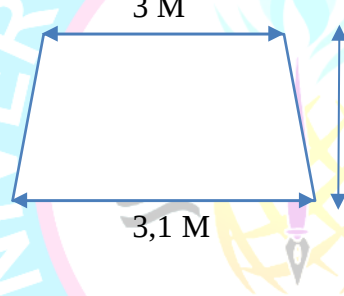
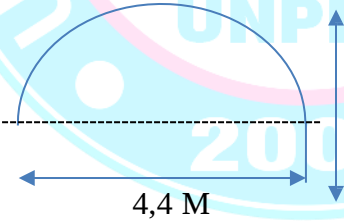
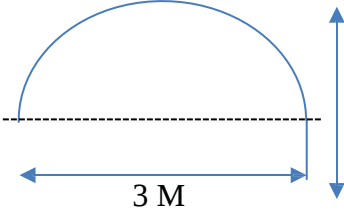
DAFTAR PUSTAKA

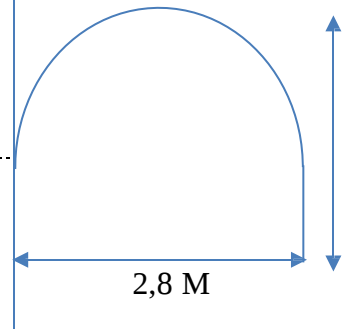
- Alman Syarif, Bambang Heriyadi A. (2021). Evaluasi dan Rencana Perubahan Jalur Ventilasi untuk Kebutuhan Lubang Pendidikan Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT.Bukit Asam Tbk-UPO.
- Ari Fefbrianda Bafnis. (2014). Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambanngan Pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT. Bukit Asam– UPO.
- Catur Rahmad Syabani, C. R. (2023). Ventilasi Tambang Bawah Tanah. Paratikum Perencanaan Tambang Bawah Tanah Laboratorium Tambang Bawah Tanah.
- Dwi Galih Cahyono, D. G. (2023). Ventilasi Tambang – Pengendalian Kualitas Udara.
- Feishal. (2019). Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase Pada Jalan Setia Budi Kelurahan Tanjung Sari Kecamatan Medan Selayang.
- Hendri Micky, H. (2018). Keputusan Mentri ESDM Nomor 1827 K30 MEM 2018 Keputusan Mentri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
- Janah. (2014). Kajian Sistem Jaringan Ventilasi Tambang Emas Blok Cikoneng PT Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten.
- Nasution, Komar , Abro K. ., (2015). Analisis Sistem Exhaust Untuk Kebutuhan Supply Udara Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT. Bukit Asam (Perseso) TBK.
- Sari Wulandari, Noor Hakim, Shella Putri N. H. (2022). Perilaku aliran udara dan temperatur berdasarkan variasi kemiringan terowongan tambang bawah Tanah Simulasi laboratorium

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN LUAS PENAMPANG

Tabel A.1 Perhitungan dan Bentuk Luas Penampang

No	Lokasi	Bentuk Penampang	Perhitungan Luas Penampang A M^2
1.	Adit		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 2^2}{2} = 6,28$ $A_2 = (2 - 1) 4 = 4 m^2$ $A = A^1 + A^2 = 6,28 + 4 = 10,28 m^2$
2.	J4 – J2		$A = \frac{a + b}{2} (h)$ $= \frac{3M + 3,10m}{2} \times 2,7$ $= \frac{6,10}{2} \times 2,7$ $= 8,23 m^2$
3.	J6 – J7		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 2,2^2}{2} = 6,90$ $A_2 = (2,70 - 1,5) 4 = 0,35 m^2$ $A = A^1 + A^2 = 6,90 + 0,35 = 7,25 m^2$
4.	J14 – J37		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 1,5^2}{2} = 4,71$ $A_2 = (2,70 - 1,5) 3 = 3,6 m^2$ $A = A^1 + A^2 = 4,71 + 3,6 = 8,31 m^2$

No	Lokasi	Bentuk Penampang	Perhitungan Luas Penampang A M^2
5.	Mesin Induk		$A^1 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{3,14 \times 1,38^2}{2} = 4,33$ $A_2 = (2,4 - 1,4) 2,8m = 2,8m^2$ $A = A^1 + A^2 = 4,33 + 2,8 = 7,13 m^2$

Sumber: Penulis, 2026



LAMPIRAN B

KEBUTUHAN UDARA PER ALAT

Tabel B.1 Kebutuhan Udara Per Alat

No	Jenis Alat	Jumlah Unit	Daya/Kapasitas Alat	Jam Operasional (Jam/Hari)	Lokasi	Kebutuhan Udara Per Unit (m^3/S)	Total Kebutuhan Udara Alat (m^3/S)	Keterangan
1.	Blower	1 Unit	37 Kw/50 HP	24 Jam	Mesin Induk	1,50	1,50	Ventilasi Utama
2.	Pompa	1 Unit	11 Kw	14 jam 56 menit	J6	0,44	0,44	Pompa Air
3.	Pompa	1 Unit	22 Kw	14 jam 56 menit	J7	0,89	0,89	Pompa Air
4.	Pompa	1 Unit	30 Kw	14 jam 56 menit	J37	1,21	1,21	Pompa Air
Total							4,04	

Sumber: Penulis 2026

LAMPIRAN C
REKAPITULASI JUMLAH PEKERJA

Tabel C.1 Rekapitulasi Jumlah Pekerja (Shift Pagi)

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh	Jumlah Kebutuhan Udara Per Lokasi	Jumlah Kebutuhan Udara	Shift
1.	10 Maret 2026	-Perawatan di galeri 3 -Perawatan isapan pompa J6 -Mekanik pompa -Di J38 -Pendaping dan mahasiswa keliling	4 5 4 1 4	18	0,12 0,15 0,12 0,03 0,12	0,54	Pagi
2.	11 Maret 2026	-Pembuata / pengelasan isapan pompa -Pemasangan tiang di lobang galeri 3 - Mekanik pompa -Di J38 -Pendaping dan mahasiswa keliling	5 4 4 1 4	18	0,15 0,12 0,12 0,03 0,12	0,54	Pagi
3.	12 Maret 2026	-Pemantauan operasional (<i>running</i>) di area Galeri -Pemasangan pompa isapan di J6 -Mekanik pompa -Siswa PL -Pendaping dan mahasiswa Keliling	3 5 4 1 4	17	0,09 0,15 0,12 0,03 0,12	0,51	Pagi
4.	13 Maret 2026	-Perawatan saluran air bersih -Pembersihan <i>suction</i> (isapan)	3 2	15	0,09 0,06	0,45	

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh	Jumlah Kebutuhan Udara Per Lokasi	Jumlah Kebutuhan Udara	Shift
		pompa J6 -Mekanik pompa -Di J38 -Pendamping dan mahasiswa Keliling	5 1 4		0,15 0,03 0,12		Pagi
5.	14 Maret 2026	-Libur	Libur	Libur		Libur	Libur
6.	15 Maret 2026	-Libur	Libur	Libur		Libur	Libur
7.	16 Maret 2026	-perbaikan pompa Orion J6 -Mekanik pompa -Di J38 -Pendamping dan mahasiswa Keliling	4 5 1 4	14	0,12 0,15 0,03 0,12	0,42	Pagi
8.	17 Maret 2026	-Penyambungan kabel lampu <i>emergency</i> -Pemantauan di lobang pendidikan -Mekanik pompa -Di J38 -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 3 1 4	16	0,12 0,12 0,09 0,03 0,12	0,48	Pagi
9.	18 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
10.	19 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
11.	20 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
12.	21 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
13.	22 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh	Jumlah Kebutuhan Udara Per Lokasi	Jumlah Kebutuhan Udara	Shift
14.	23 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
15.	24 Maret 2026	-Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran	Cuti Lebaran
16..	25 Maret 2026	-Perawatan penyangga -Perawatan pompa Di J38 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	3 4 1 4 4	16	0,09 0,12 0,03 0,12 0,12	0,48	Pagi
17.	26 Maret 2026	-Perawatan penyangga -Gantii pipa pompa Orion J6 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	3 5 4 4	16	0,09 0,15 0,12 0,12	0,48	Pagi
18.	27 Maret 2026	-Penggadaan material kayu (balok & papan) -Perbaikan pompa J6 -Galeri 3 -Mekanik Pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 3 1 3 5	16	0,12 0,09 0,03 0,09 0,15	0,48	Pagi
19.	28 Maret 2026	-Libur	Libur	Libur	Libur	Libur	Libur
	29 Maret 2026	-Libur	Libur	Libur	Libur	Libur	Libur
20.	30 Maret 2026	-Trasport pompa orion di J14 -Pembersihan area bak pompa J6 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 5 5	18	0,12 0,12 0,15 0,15	0,54	Pagi
21.	31 Maret 2026	-Perawatan di area pompa J2	4	16	0,12	0,48	

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh	Jumlah Kebutuhan Udara Per Lokasi	Jumlah Kebutuhan Udara	Shift
		-Perbauikan pipa orion -Di J38 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 1 3 4		0,12 0,03 0,09 0,12		Pagi
22.	1 April 2026	-Perawatan bak pompa di J6 -Perbaikan paret dan perawatan pompa orion -Di J38 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 1 3 4	16	0,12 0,12 0,03 0,09 0,12	0,48	Pagi
23.	2 Afri 2026	-Lanjut rawatan di J6 -Pembenahan pompa dan gardu listrik -Di J38 -Mekanik pompa J6/J7 -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 1 3 4	16	0,12 0,12 0,03 0,09 0,12	0,48	Pagi
24.	3 April 2026	-Libur	Libur	Libur	Libur	Libur	Libur
25.	4 April 2026	-Libur	Libur	Libur	Libur	Libur	Libur
26.	5 April 2026	-Libur	Libur	Libur	Libur	Libur	Libur
27.	6 April 2026	-Perawatan pompa -Perawatan di bak pompa -Di J38 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 1 3 4	16	0,12 0,12 0,03 0,09 0,12	0,48	Pagi
28.	7 April 2026	-Rawatan di J6 -Mekanik pompa	5 5	15	0,15 0,15	0,45	

No	Tanggal	Lokasi	Jumlah Pekerja	Jumlah Seluruh	Jumlah Kebutuhan Udara Per Lokasi	Jumlah Kebutuhan Udara	Shift
		-Di J38 -Pendampingan dan mahasiswa keliling	1 4		0,03 0,12		Pagi
29.	8 April 2026	-Perawatan di lubang pendidikan -Rawatan di bak pompa -Mekanik pompa -Di J38 -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 3 1 4	16	0,12 0,12 0,09 0,03 0,12	0,48	Pagi
30.	9 April 2026	-Lanju perawatan di area pompa J6 -Perawatan di lubang pendidikan -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 3 5	16	0,12 0,12 0,09 0,15	0,48	Pagi
31.	10 April 2026	-Pemeliharaan rutin (rawatan) di lubang pendidikan -Pemeliharaan bak penampung J6 -Mekanik pompa -Pendampingan dan mahasiswa keliling	4 4 5 5	18	0,12 0,12 0,15 0,15	0,54	Pagi
	Rata – Rata			16		0,48	

Sumber: Penulis 2026

LAMPIRAN D
DOKUMENTASI LOKASI PENGAMBILAN DATA PENELITIAN



Sumber: Penulis 2026

Gambar D.1 Lokasi Adit



Sumber: Penulis 2026

Gambar D.2 Lokasi J2-J4



Sumber: Penulis 2026

Gambar E.3 Lokasi J6-J7



Sumber: Penulis 2026

Gambar E.4 Lokasi J14-J37

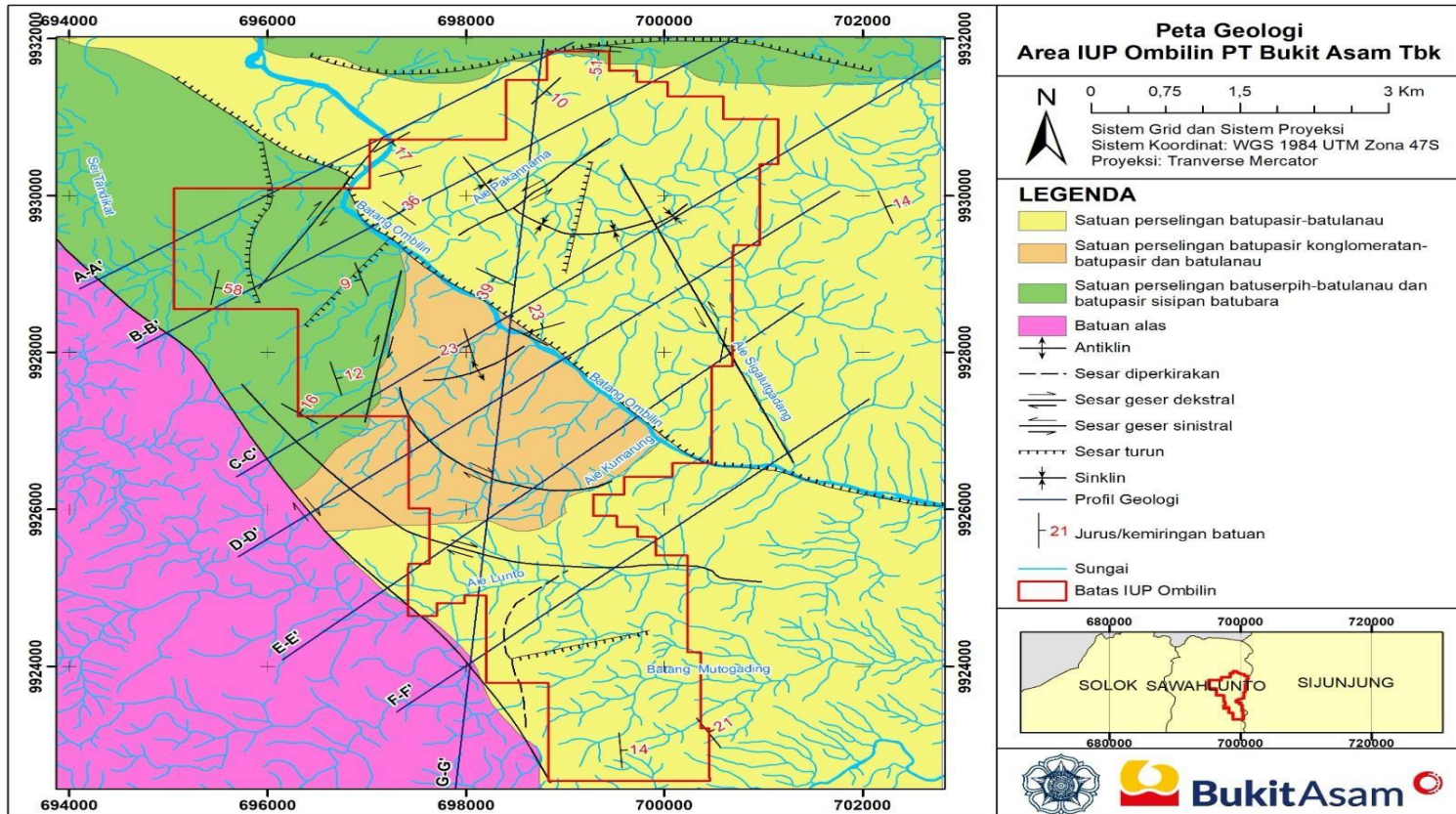


Sember: Penulis 2026

Gambar E.5 Lokasi Mesin Induk

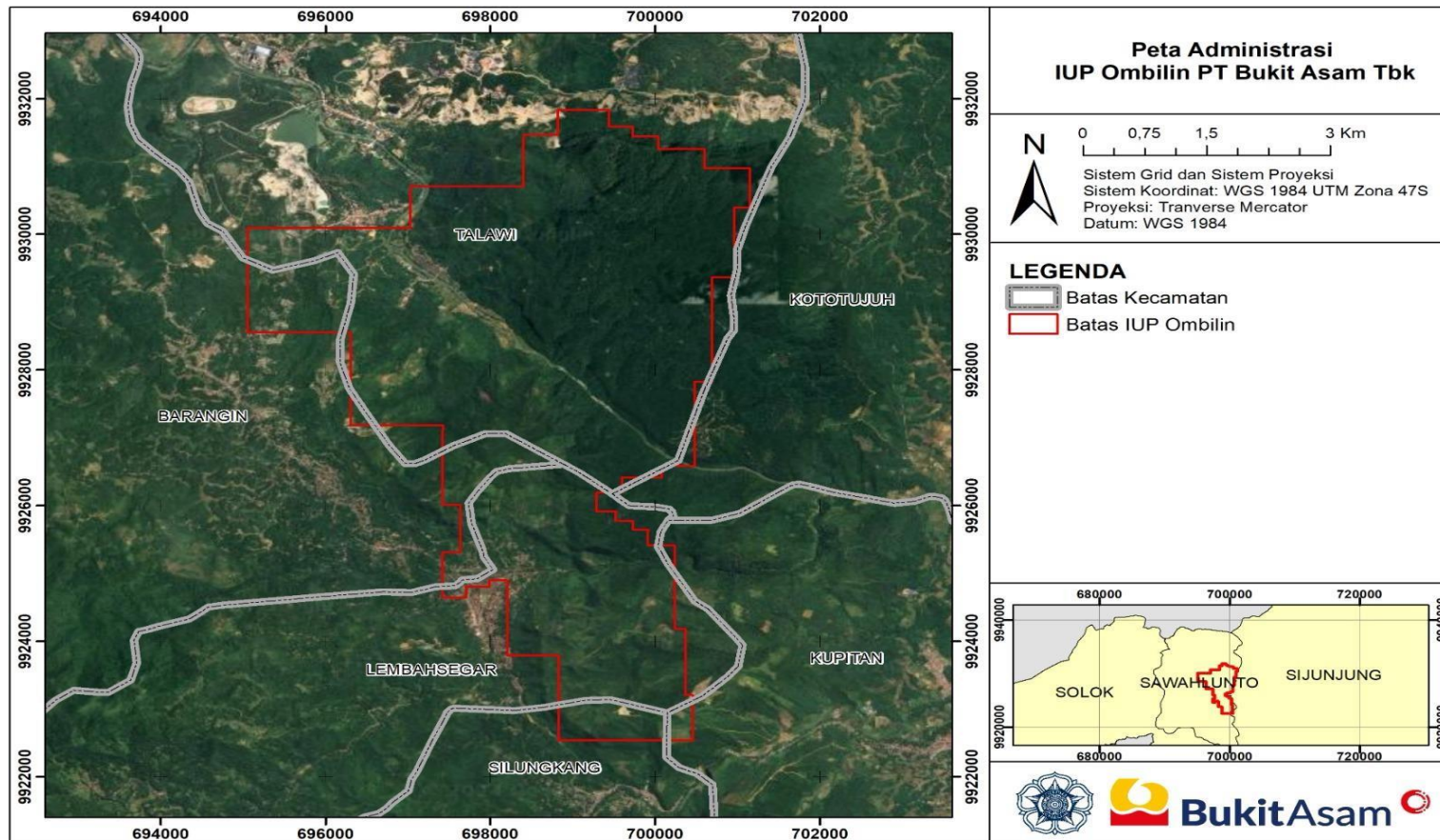
LAMPIRAN E

GAMBAR PETA GEOLOGI, PETA ADMINISTRASI, PETA LAYOUT LUBANG PENDIDIKAN



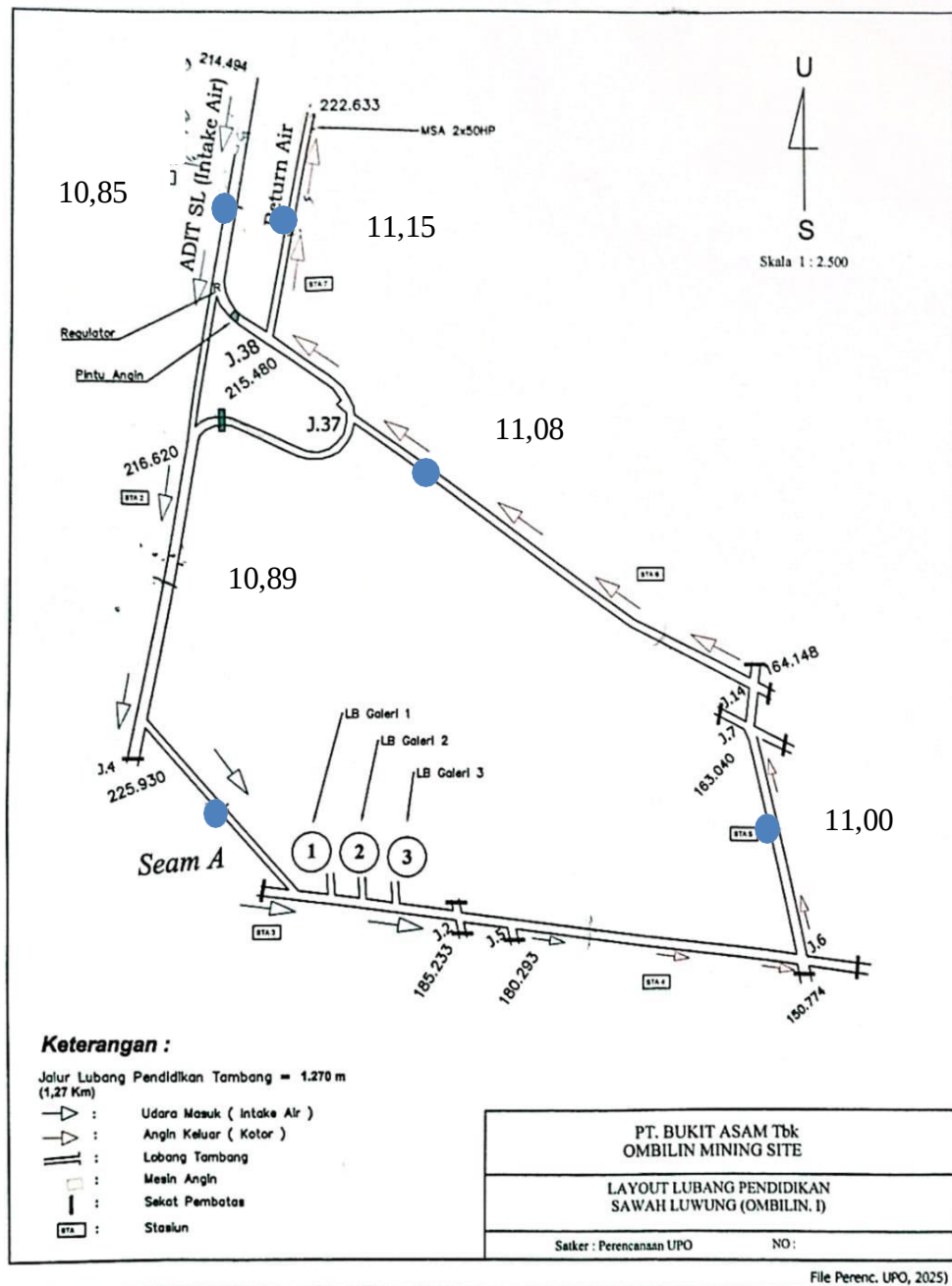
Sumber: Perusahaan PT Bukit Asam Tbk

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



Sumber: Perusahaan PT Bukit Asam Tbk

Gambar E.2 Peta Administrasi IUP Ombilin PT Bukit Asam Tbk



Sumber: Perusahaan PT Bukit Asam Tbk

Gambar E.3 Layout Lubang Pendidikan Shawalunto (Ombilin .1)

LAMPIRAN F
DOKUMENTASI PERALATAN VENTILASI DAN DRAINASE TAMBANG BAWAH TANAH



Sumber: Penulis 2026

Gambar F.1 Pompa di Lokasi J6



Sumber: Penulis 2026

Gambar F.2 Pompa di Lokasi J7



Sumber: Penulis 2026

Gambar F.3 Pompa di Lokasi J37



Sumber: Penulis 2026

Gambar F.4 Blower di Lokasi Mesin Induk

LAMPIRAN G

DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA



Sumber: Penulis 2026

Gambar G.1 Pengukuran Luas Penampang



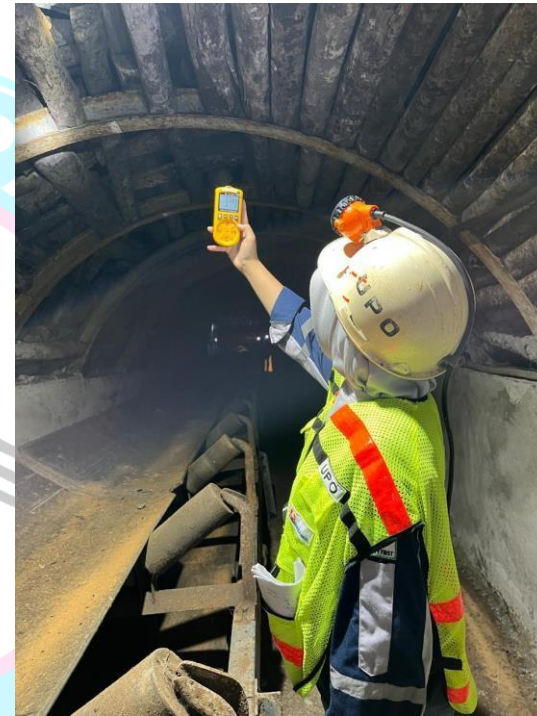
Sumber: Penulis 2026

Gambar G.2 Pengukuran Kecepatan Angina Menggunakan
Anemometer



Sumber : Penulis 2026

Gambar G.3 Pengukuran Suhu Menggunakan Alat
Sling Psychrometer



Sumber : Penulis 2026

Gambar G.4 Pengukuran Gas Menggunakan
Alat Gas Detektor

LAMPIRAN H

SPESIFIKASI TEKNIS MESIN

Tabel H.1 Spesifikasi Teknis Mesin *Bolwer*

<i>Type Fan</i>	<i>Bifurcated Axial</i>
<i>Type Impeler</i>	Steel Aeropil
Motor	50 HP
Tegangan	525 Volt/1,05 Volt
Daya	37,5 Kw
Jenis Alat	<i>Exselerifan</i>
Jenis Mesih	<i>Dowet</i>

Spesifikasi Teknis Pompa J6

Merek Mesin	<i>Asea Type MBN 160 M</i>
Kapasitas Pompa	1 Litwr/detik
Daya	11 Kw
Tegangan	500 Volt
Ampare	18,3
Berat Pompa	80 Kg

Spesifikasi Teknis Pompa J6

Merek Mesin	<i>Asea Type MBN 180 M</i>
Kapasitas Pompa	1 Litwr/detik
Daya	22 Kw
Tegangan	500 Volt
Ampare	32
Berat Pompa	155 Kg

Spesifikasi Teknis Pompa J6

Merek Mesin	<i>Asea Type MBN</i>
Kapasitas Pompa	1 Litwr/detik
Daya	30 Kw
Tegangan	500 Volt
Ampare	45,0
Berat Pompa	155 Kg

Sumber: PT BA UPO,2026