

**ANALISIS KEBUTUHAN KIPAS UNTUK SISTEM *AIR FLOW*
TAMBANG DALAM PT BUKIT ASAM TBK UNIT
PERTAMBANGAN OMBILIN**

TUGAS AKHIR



**DWI WAHYU NINGSIH
2023310037**

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

**ANALISIS KEBUTUHAN KIPAS UNTUK SISTEM *AIR FLOW*
TAMBANG DALAM PT BUKIT ASAM TBK UNIT
PERTAMBANGAN OMBILIN**

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



DWI WAHYU NINGSIH
2023310037

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM.
Rodiyah Nursani, S.Si., M.T.

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

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KEBUTUHAN KIPAS UNTUK SISTEM AIR FLOW TAMBANG DALAM PT BUKIT ASAM TBK UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN

TUGAS AKHIR

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

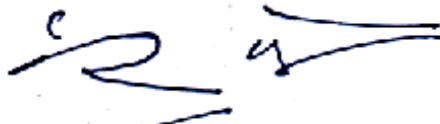
Oleh:

DWI WAHYU NINGSIH
2023310037

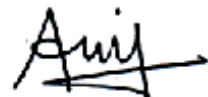
Prabumulih, 20 Mei 2026

Pembimbing I

Pembimbing II



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



Rodiyah Nursani, S.Si., M.T.
NUPTK 3633756657230142



Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan

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

HALAMAN PERSETUJUAN

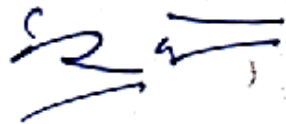
Tugas akhir berupa laporan tugas akhir ini dengan judul "Analisis Kebutuhan Kipas Untuk Sistem *Air Flow* Tambang Dalam PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih pada tanggal 20 Mei 2026.

Prabumulih, 20 Mei 2026

Tim Penguji Tugas Akhir

Ketua:

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

()

Anggota:

1. Rodiyah Nursani, S.Si., M.T.
NUPTK 3633756657230142

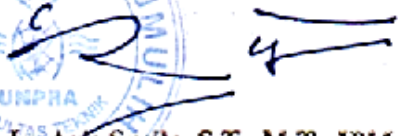
()

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

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

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

Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan

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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Wahyu Ningsih

Nim : 2023310037

Prodi : Teknik Pertambangan

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



Prabumulih, 20 Mei 2026

Yang membuat pernyataan,

Dwi Wahyu Ningsih
2023310037

ABSTRAK

ANALISIS KEBUTUHAN KIPAS UNTUK SISTEM AIR FLOW TAMBANG DALAM PT BUKIT ASAM TBK UNIT PERTAMBANGAN OMBILIN

Dwi Wahyu Ningsih, 2023310037, 2026

Sistem ventilasi merupakan faktor krusial dalam operasional tambang bawah tanah untuk menjamin ketersediaan udara bersih dan mengencerkan gas-gas berbahaya bagi pekerja. Penelitian ini dilakukan di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (UPO) dengan fokus pada analisis kebutuhan kipas angin (*fan*) guna mengoptimalkan sistem aliran udara (*air flow*). Permasalahan utama yang diangkat adalah ketidakseimbangan antara volume udara yang disuplai dengan luas area kerja serta potensi akumulasi gas metana (CH_4) dan karbon monoksida (CO). Metode penelitian yang digunakan meliputi pengukuran langsung parameter ventilasi di lapangan, seperti kecepatan udara, luas penampang jalan udara, kelembapan, dan tingkat konsentrasi gas. Data tersebut kemudian diolah secara matematis untuk menghitung kebutuhan udara total berdasarkan jumlah pekerja, peralatan mesin, dan standar kesehatan kerja. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai spesifikasi dan penempatan kipas angin (kipas utama dan kipas bantu) yang tepat untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman dan produktif sesuai dengan peraturan keselamatan pertambangan yang berlaku.

Kata Kunci: Ventilasi Tambang, Kebutuhan Udara, Kipas Angin (*Fan*), Tambang Bawah Tanah, PT Bukit Asam Tbk.

ABSTRACT

ANALYSIS OF FAN REQUIREMENTS FOR AIRFLOW SYSTEMS IN PT BUKIT ASAM TBK UNDERGROUND MINES, OMBILIN MINING UNIT

Dwi Wahyu Ningsih, 2023310037, 2026

Ventilation systems are a crucial factor in underground mining operations to ensure the availability of fresh air and dilute hazardous gases for workers. This research was conducted at PT Bukit Asam Tbk Ombilin Mining Unit (UPO), focusing on analyzing fan requirements to optimize the air flow system. The main issues addressed are the imbalance between the volume of air supplied and the size of the working area, as well as the potential accumulation of methane (CH_4) and carbon monoxide (CO) gases. The research method involves direct measurement of ventilation parameters in the field, such as air velocity, airway cross-sectional area, humidity, and gas concentration levels. This data is then mathematically processed to calculate the total air requirement based on the number of workers, mechanical equipment, and occupational health standards. The results of the study are expected to provide technical recommendations regarding the appropriate specifications and placement of fans (main fans and auxiliary fans) to create a safe and productive working environment in accordance with applicable mining safety regulations.

Keywords: Mine Ventilation, Air Requirements, Fans, Underground Mining, PT Bukit Asam Tbk.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Analisis Kebutuhan Kipas Untuk Sistem *Air Flow* Tambang Dalam PT Bukit Asam Unit Pertambangan Ombilin.

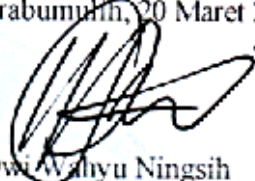
Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Ahli Madya di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih. Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si. selaku Rektor Universitas Prabumulih
2. Bapak Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih, sekaligus pembimbing I.
3. Bapak Ridho Yovanda, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan, sekaligus penguji.
4. Ibu Rodiyah Nursani, S.Si., M.T. sebagai pembimbing II.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
6. Bapak/Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
7. Kepala Teknik Tambang, Pimpinan, dan seluruh Staf PT BA UPO yang telah memberikan izin dan membantu untuk melakukan penelitian.
8. Kepada kedua orang tua, sosok yang akan selalu hidup dalam ingatan penulis. Kasih sayang, doa dan semua pengorbanan mereka akan selalu menjadi dasar terkuat dalam hidup. Setiap pencapaian yang telah penulis raih adalah wujud dari dedikasi dan harapan, agar mereka bangga. Terima kasih telah mengusahakan segala hal baik bagi penulis. Semoga selalu diberi kesehatan agar terus kebersamaan penulis.
9. Kepada diri sendiri yang selalu berjuang, bertahan, tetap konsisten dan tidak menyerah walaupun menghadapi banyak tantangan. Dalam sunyi, lelah, dan segala keraguan, tetap berusaha bangkit dan menyelesaikan apa yang telah dimulai.

10. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih khususnya angkatan 2023 serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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

Prabumulih, 20 Maret 2026



Dwi Wahyu Ningsih
20233310037

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Deskripsi dan Sejarah Perusahaan	5
2.2 Peta Izin Usaha Pertambangan (IUP)	5
2.3 Kondisi Geologi Wilayah Penelitian	6
2.4 Landasan Teori	6
2.4.1 Geologi Batu Bara di Daerah Penelitian	10
2.4.2 Tambang Bawah Tanah	10
2.4.2.1 Ventilasi Tambang	11
2.4.2.2 Komponen Sistem Ventilasi	12
2.4.2.3 Jaringan Ventilasi Tambang	14
2.4.2.4 Udara Segar	15
2.4.2.5 Gas - Gas Pada Tambang Bawah Tanah	16

2.4.3 Kuantitas Udara Tambang Bawah Tanah	18
2.4.3.1 Luas Penampang Saluran Udara	21
2.4.3.2 Perhitungan Kebutuhan Udara	25
2.4.3.3 Suhu dan Kelembapan	26
2.4.4 Kipas Ventilasi	29
2.4.4.1 Jenis-Jenis Kipas Ventilasi	29
2.4.4.2 Daya Penggerak Fan	32
2.4.4.3 Prinsip Kerja dan Persamaan	32
2.4.4.4 <i>Shock Loss</i> (Kehilangan Julang)	33
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Lokasi Waktu Kegiatan Penelitian	36
3.2 Tahapan Penelitian	37
3.3 Bagan Alir Penelitian	39
3.4 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data	40
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data	40
3.4.2 Tahap Pengolahan Data	41
3.4.3 Analisis Data	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Kondisi Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah	44
4.1.1 Karakteristik Geometri Jalur Aliran Udara	45
4.1.2 Struktur Jaringan Ventilasi Seri dan Paralel	45
4.1.3 Batasan Analisis Aerodinamika (<i>Pressure Drop</i> dan <i>Air Power</i>)	46
4.2 Analisis Kuantitas Udara Tambang	46
4.2.1 Analisis Kualitas Udara Tambang	47
4.2.2 Kebutuhan Udara untuk Pernapasan Personil	50
4.2.3 Spesifikasi dan Kebutuhan Udara Berdasarkan Peralatan	51
4.3 Performa dan Efektivitas Kipas Utama (<i>Main Fan</i>)	52
4.3.1 Kapasitas Mekanis dan Putaran Kipas	53
4.3.2 Analisis Kinerja Sistem Paralel-Tunggal (<i>Standby System</i>) ..	54
4.3.3 Dampak Penampang Kritis (7,13 m ²) Terhadap Beban Kerja Kipas	56

	Halaman
4.3.4 Analisis Efektivitas Dilusi Berdasarkan Data Gas	58
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Komposisi Udara Segar	16
Tabel 2. 2 Klasifikasi Kecepatan Aliran Udara	21
Tabel 2. 3 Faktor Gesekan	34
Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian.....	36
Tabel 4. 1 Perbandingan Kualitas Udara Aktual dengan Standar Regulasi	48
Tabel 4. 2 Spesifikasi Teknis Mesin Angin Utama (<i>Main Fan</i>).....	54
Tabel 4. 3 Geometri Luas Penampang Antar Adit dan Mesin Induk.....	57

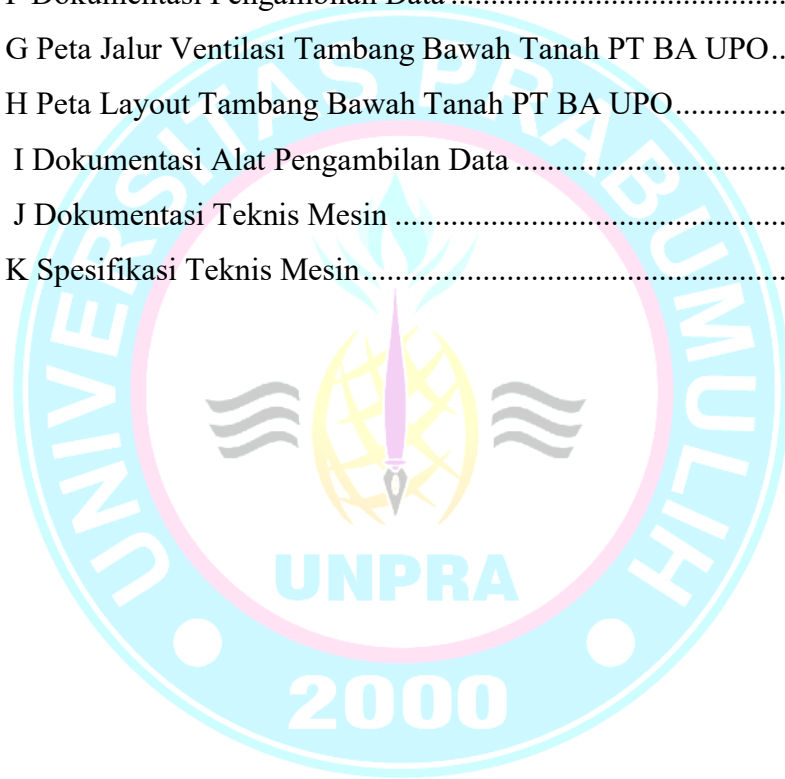


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Peta Lokasi PT BA UPO.....	7
Gambar 2. 2 Peta IUP PT BA UPO	8
Gambar 2. 3 Peta Geologi PT BA UPO.....	9
Gambar 2. 4 Rangkaian Seri	14
Gambar 2. 5 Rangkaian Paralel.....	15
Gambar 2. 6 Penampang Trapesium	22
Gambar 2. 7 Penampang Persegi Panjang.....	23
Gambar 2. 8 Penampang Setengah Lingkaran	23
Gambar 2. 9 Penampang Lingkaran	24
Gambar 2.10 <i>Fan Blower</i>	29
Gambar 2.11 <i>Exhaust Fan</i>	30
Gambar 2.12 <i>Main Fan</i>	30
Gambar 2.13 <i>Booster Fan</i>	31
Gambar 2.14 <i>Auxiliary Fan</i>	31
Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian	39
Gambar 4. 1 Kondisi Bukaan Terowongan Utama (Adit)	44
Gambar 4. 2 <i>Gas Detector</i>	48
Gambar 4. 3 <i>Sling Psychrometer</i>	49
Gambar 4. 4 Kipas Utama (<i>Main Fan</i>) Sistem Ventilasi.....	53
Gambar 4. 5 Rumah Kipas	55
Gambar 4. 6 Meteran.....	56
Gambar 4. 7 Adit (a) Mesin Induk (b).....	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Barat.....	63
Lampiran B Tabel Kuantitas Udara Pada Tambang Dalam Sawahluwung	64
Lampiran C Konsentrasi Gas Pada Lokasi Adit	67
Lampiran D Tabel Data Pekerja 10 Maret - 10 April 2026	73
Lampiran E Dokumentasi Lokasi Pengambilan Data	77
Lampiran F Dokumentasi Pengambilan Data	80
Lampiran G Peta Jalur Ventilasi Tambang Bawah Tanah PT BA UPO.....	83
Lampiran H Peta Layout Tambang Bawah Tanah PT BA UPO.....	84
Lampiran I Dokumentasi Alat Pengambilan Data	85
Lampiran J Dokumentasi Teknis Mesin	86
Lampiran K Spesifikasi Teknis Mesin.....	87



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
A	: Luas Penampang
V	: Kecepatan
Q	: Debit/Kuantitas
RH	: <i>Relative Humidity</i> (Kelembapan Relatif)
CH ₄	: Metana
CO ₂	: Karbon Monoksida
CO	: Karbon Dioksida
O ₂	: Oksigen
H ₂ S	: Hidrogen Sulfida
NO ₂	: Nitrogen Oksida
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
Kepmen	: Keputusan Menteri
HP	: <i>Horse Power</i> (Tenaga Kuda)
m ²	: Meter Persegi (Satuan Luas Penampang)
IUP	: Izin Usaha Pertambangan
K3	: Keselamatan dan Kesehatan Kerja
RPM	: <i>Revolutions Per Minute</i> (Putaran per menit)
KW	: <i>Kilo Watt</i>
m ³ /s	: Meter kubik per detik (Satuan debit udara)
m/s	: Meter per detik (Satuan kecepatan udara)
TLV	: <i>Threshold Limit Value</i> (Nilai Ambang Batas)
APD	: Alat Pelindung Diri
TWA	: <i>Time Weighted Average</i> ((Rata-Rata Tertimbang Waktu)
Td	: <i>Temperature Dry</i> (Suhu Bola Kering)
Tw	: <i>Temperature Wet</i> (Suhu Bola Basah)
T.Eff	: <i>Temperature Effective</i> (Suhu Efektif)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber daya alam merupakan salah satu kekayaan alam yang harus tetap dijaga kelestariannya. Saat ini banyak daerah yang memanfaatkan sumber daya alamnya untuk berbagai kepentingan. Bahan tambang yang saat ini masih menjadi primadona adalah batu bara, yang digunakan sebagai salah satu sumber energi primer. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumberdaya energi dan mineral yang cukup besar, termasuk didalamnya batu bara. Batu bara merupakan sumber daya alam yang tak terbaharui atau *non-renewable resource*, ini berarti sekali bahan galian tambang ini habis, maka tidak akan dapat pulih atau kembali ke keadaan semula (Akmal, 2025).

Tambang Bawah Tanah memiliki tantangan utama terkait dengan kondisi lingkungan tempat kerja yang sulit. Ini terkait dengan kualitas udara, temperatur dan kelembapan serta keberadaan gas berbahaya. Tambang bawah tanah memiliki sistem kebutuhan yang tidak dimiliki oleh penambangan di tempat terbuka yaitu sistem ventilasi. Sistem ini merupakan bagian vital dari penambangan bawah tanah yang mencakup kebutuhan udara, kualitas udara suhu dan kelembapan (Saputra, 2019).

Kualitas udara di tambang bawah tanah, perlu dilakukan perhitungan yang melibatkan jumlah karyawan yang bekerja, luas penampang terowongan, kecepatan angin yang masuk dan keluar (Asmunandar, 2018). Analisis faktor kuantitatif dan kualitatif ini penting untuk memenuhi kebutuhan udara pekerja. Beberapa faktor harus dianalisa adalah jumlah gas yang ada, jumlah mesin dan suhu serta kelembapan (Heriyadi, 2018). Dari pada analisa ini dapat menentukan kualitas dan jumlah di perlukan untuk memastikan kebutuhan keberlangsungan operasi sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri ESDM No. 555.K/26/M.PE/1995 adalah regulasi yang mengatur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pertambangan, khususnya pada kegiatan pertambangan umum.

Fungsi ventilasi adalah aspek yang perlu diawasi sebagaimana layaknya di dalam daerah kerja. Jumlah udara yang disuplai pada area kerja harus juga diperhatikan dengan kebutuhan minimal $2 \text{ m}^3/\text{menit}$ atau $0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$ per-orang. Debit arah dan kemurnian serta kontaminasi udara, serta temperatur udaranya. Ketentuan ini antara lain diatur dalam KEPMEN No. 1827 K/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik dan Keputusan Dirjen Minerba No. 185 K/37.04/DJB/2019 tentang Pedoman Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko, dan Pengendalian Risiko pada Kegiatan Usaha Pertambangan menurut (Yulianti, 2018).

Udara merupakan kebutuhan vital manusia untuk bernapas. Tambang bawah tanah menyediakan fasilitas khusus untuk manusia dapat berada di bawah tanah. Udara dialirkan secara mekanis ke dalam penambangan bawah tanah untuk keperluan pernafasan manusia yang beraktivitas (Ririn Yulianti, 2021). Oleh karena itu, ventilasi tambang menjadi kebutuhan vital dalam kegiatan penambangan bawah tanah (Oktavianingsih, 2021).

Kebutuhan udara di dalam tambang bawah tanah tetap sama, meskipun penambangan tersebut telah ditutup dan lebih banyak berfokus pada pemeliharaan, kebutuhan tetap sama (Ranjani, 2024). Alasan utama untuk ini adalah kemungkinan akumulasi gas metana, karbon monoksida, dan gas berbahaya lainnya yang berasal dari timbunan batu bara bekas. Maka kualitas zona penambangan tetap diatur dan merujuk pada prosedur pengawasan, pemeriksaan, dan perawatan fasilitas penambangan.

Kewajiban untuk mengidentifikasi kebutuhan kipas dalam sistem ventilasi pada tambang yang tidak beroperasi. Melalui analisis ini, kapasitas, jumlah, dan pengoperasian kipas yang paling efisien akan diidentifikasi. Hal ini memastikan efisiensi energi yang efisien tetap terjaga dan semua standar keselamatan di sektor pertambangan diindahkan. Seperti yang diuraikan sebelumnya, tujuan penelitian adalah untuk menganalisis sistem ventilasi dalam tambang bawah tanah, khususnya kebutuhan kipas untuk sistem *air flow* di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (PT BA UPO).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini:

1. Bagaimana kondisi sistem ventilasi tambang dalam di masa perawatan ?
2. Berapa jumlah kuantitas udara tambang dalam di masa perawatan ?
3. Berapa kapasitas kipas utama yang terpasang saat ini pada tambang dalam di masa perawatan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Secara teoritis, tujuan penelitian adalah sebuah usaha yang dilakukan oleh peneliti untuk mengetahui sesuatu. Tujuan penelitian yang dilakukan di perusahaan tambang batu bara di PT BA UPO:

1. Menganalisis kinerja dan kondisi sistem ventilasi tambang di masa perawatan.
2. Menghitung kuantitas udara pada tambang dalam di masa perawatan.
3. Menganalisis kapasitas kipas utama yang terpasang saat ini pada tambang dalam di masa perawatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian dilakukan untuk meningkatkan pemahaman kita. Penelitian memberikan informasi dan pengetahuan yang dibutuhkan untuk memecahkan masalah dan membuat keputusan. Secara spesifik, manfaat penelitian di bidang apa pun mencakup dua aspek, yaitu:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini menambah referensi tentang bagaimana sistem ventilasi bekerja saat kipas ventilasi berada dalam masa perawatan. Karena PT BA UPO sudah tidak memproduksi. Hasil penelitian bisa digunakan dosen/mahasiswa lain sebagai rujukan untuk kuliah ventilasi tambang, K3, atau pasca tambang.

2. Manfaat Praktis

Menjadi acuan bagi pengelola tambang dalam mengoptimalkan perawatan sistem *air flow* dengan mempertimbangkan aspek keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Secara spesifik, penelitian ini merupakan studi kasus pada sistem ventilasi tambang PT BA UPO yang berada dalam masa perawatan. Penelitian ini akan fokus pada kapasitas sistem ventilasi yang dihasilkan dalam mempertahankan debit udara semula dan selama proses tambang, menjaga kualitas udara yang dihasilkan terhindari oleh gas-gas berbahaya. Selain itu, analisis pada penelitian ini bertujuan untuk melihat tingkat kepatuhan sistem yang berjalan terhadap regulasi pertambangan, serta efisiensi operasi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi dan Sejarah Perusahaan

Tambang Batubara Ombilin (Sawahlunto) dimulai tahun 1892 oleh kolonial Belanda sebagai salah satu tambang tertua di Asia Tenggara, vital bagi energi Hindia Belanda hingga Jepang menguasainya, lalu dikelola negara pasca-kemerdekaan, bergabung dengan Bukit Asam (BA) tahun 1990, dan kini menjadi Warisan Dunia UNESCO (2019). PT BA UPO berada di Sawahlunto, Sumatera Barat, sekitar 70 km di arah timur laut dari Padang. Tempat ini terletak di antara lembah sempit pegunungan Bukit Barisan, dengan koordinat geografi sekitar 0°41' LS dan 100°46' BT. Topografi yang berbukit dan lembah yang terbatas memberikan keunikan dan tantangan dalam hal geoteknik, terutama dalam hal pengelolaan kestabilan area tambang bawah tanah. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai posisi daerah penelitian, ditampilkan pada Gambar 2.1 berupa peta lokasi Unit Pertambangan Ombilin.

Daerah Sawahlunto terletak di dalam Formasi Sawahlunto, yang terdiri dari batuan yang terbentuk pada periode Eosen, sekitar 40 hingga 60 juta tahun yang lalu. Formasi Sawahlunto terletak di cekungan Pra-Tersier Ombilin dengan lebar 22,50 km dan panjang 47 km. Cekungan ini mengandung beberapa formasi, termasuk Formasi Sangkarewang, Formasi Brani, Formasi Ombilin, Formasi Sawah Tambang, dan Formasi Sawahlunto dengan kedalaman yang diperkirakan mencapai dua km (Sunardi, 2020).

2.2 Peta Izin Usaha Pertambangan (IUP)

Peta Izin Usaha Pertambangan (IUP) membahas letak geografis dan administratif wilayah operasional PT BA UPO. Berdasarkan peta tersebut, lokasi penelitian secara administratif berada di wilayah Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Letak astronomis area ini dapat didefinisikan dengan jelas melalui rentang garis batas koordinat Bujur Timur dan Lintang Selatan yang tertera pada bagian tepi peta. Selain letak secara definitif, pembahasan ini juga mencakup

aksesibilitas atau kesampaian daerah, yang menguraikan rute perjalanan, jarak tempuh, serta jenis sarana transportasi yang diperlukan untuk mencapai lokasi tambang dari pusat kota terdekat yang dimana bisa di lihat pada Gambar 2.2.

Interpretasi spasial dari peta ini juga mencakup identifikasi fasilitas infrastruktur penting, batas blok penambangan, serta akses jalan utama yang masuk ke dalam wilayah konsesi perusahaan, yang secara keseluruhan mendukung kegiatan operasional tambang bawah tanah.

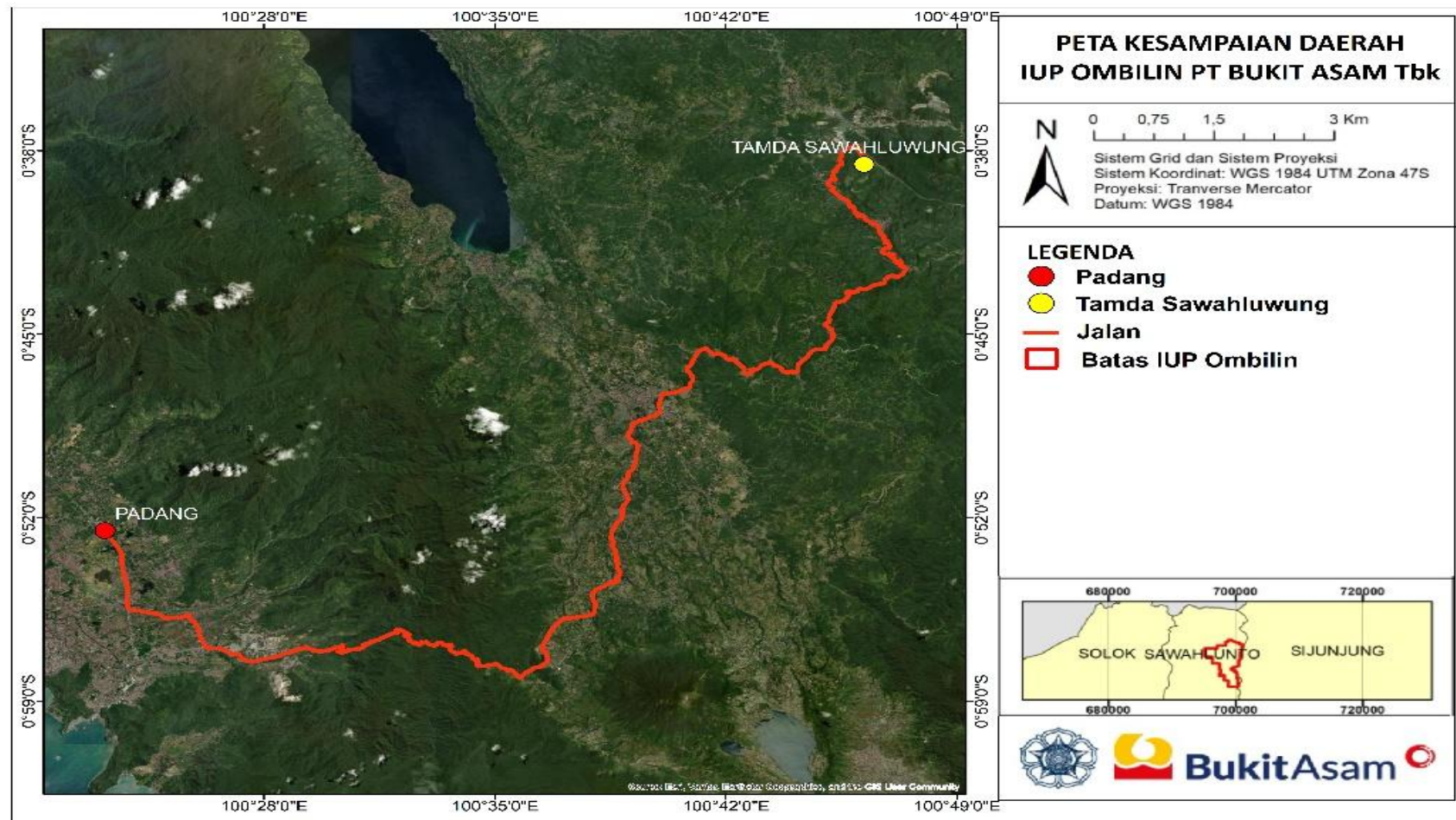
2.3 Kondisi Geologi Wilayah Penelitian

Kondisi geologi wilayah penelitian mendeskripsikan karakteristik bentang alam, jenis batuan, serta struktur bumi yang ada di area PT BA UPO berdasarkan interpretasi peta geologi. Pembahasan diawali dengan pemaparan geomorfologi wilayah tersebut, yang menguraikan bentuk relief permukaan bumi apakah didominasi oleh perbukitan bergelombang, lembah, atau topografi curam, yang secara regional merupakan bagian dari Cekungan Ombilin. Dari aspek stratigrafi, formasi batuan penyusun area penambangan dijelaskan secara berurutan dari batuan yang paling tua hingga yang paling muda dengan merujuk pada legenda warna peta. Litologi atau batuan penyusun yang dominan seperti batu pasir, serpih, batu lempung, serta keberadaan lapisan endapan batu bara yang bisa di lihat pada gambar 2.3.

Selain stratigrafi, analisis terhadap kondisi struktur geologi seperti keberadaan sesar (patahan) dan lipatan (antiklin maupun sinklin) menjadi komponen krusial dalam pembahasan peta ini. Berdasarkan garis-garis tegas yang merepresentasikan struktur pada peta geologi, kondisi tektonik area penelitian dapat diidentifikasi.

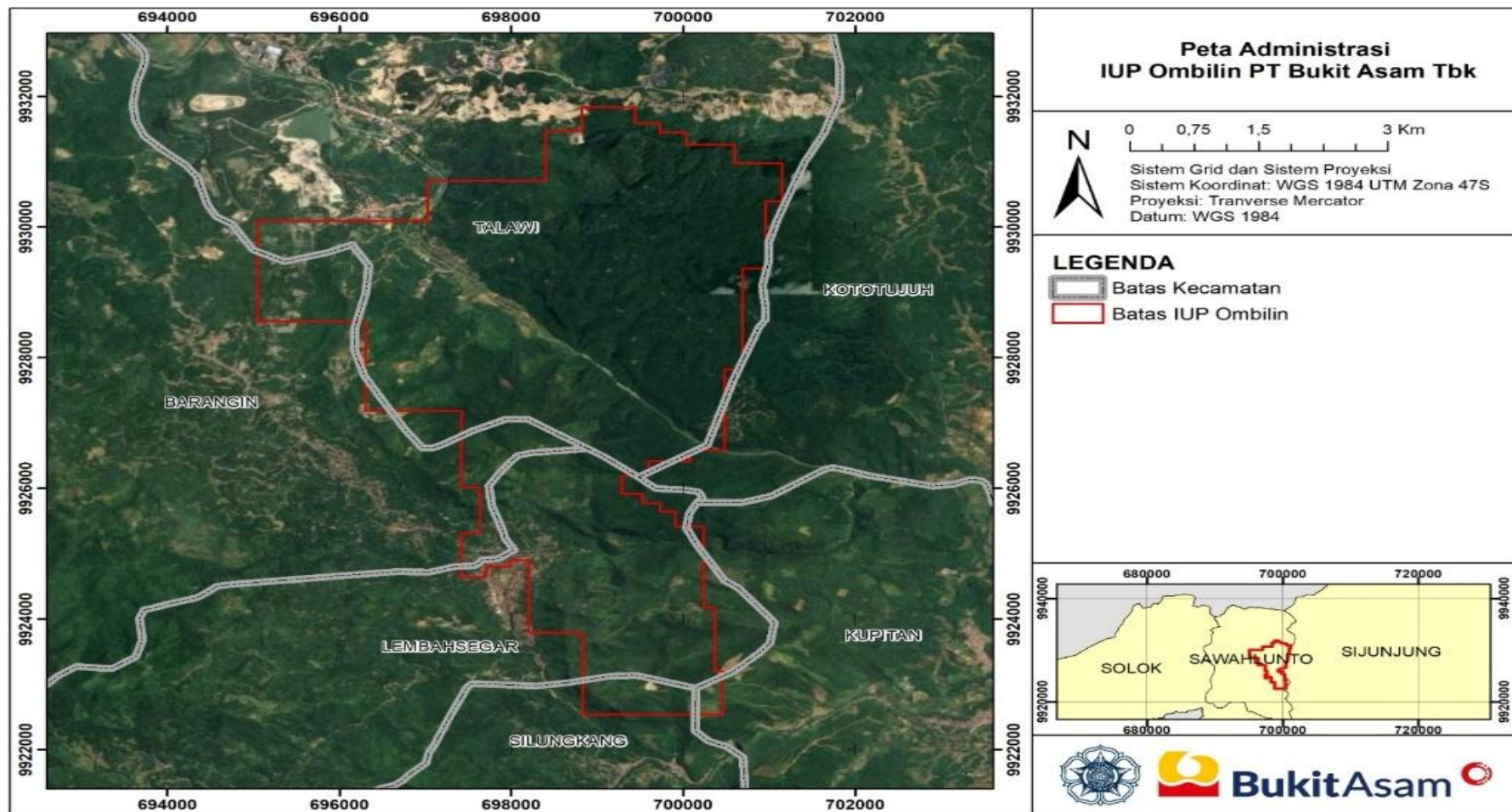
2.4 Landasan Teori

Analisis kebutuhan sistem ventilasi tambang bawah tanah sangat diperlukan karena berperan pada masalah keamanan, kenyamanan, dan keselamatan pekerja. Untuk itu, pemanfaatan kipas utama dan kipas bantu diperlukan untuk memenuhi kebutuhan udara, mengurangi konsentrasi gas berbahaya, mengatur suhu dan kelembapan sehingga memenuhi standar keselamatan.



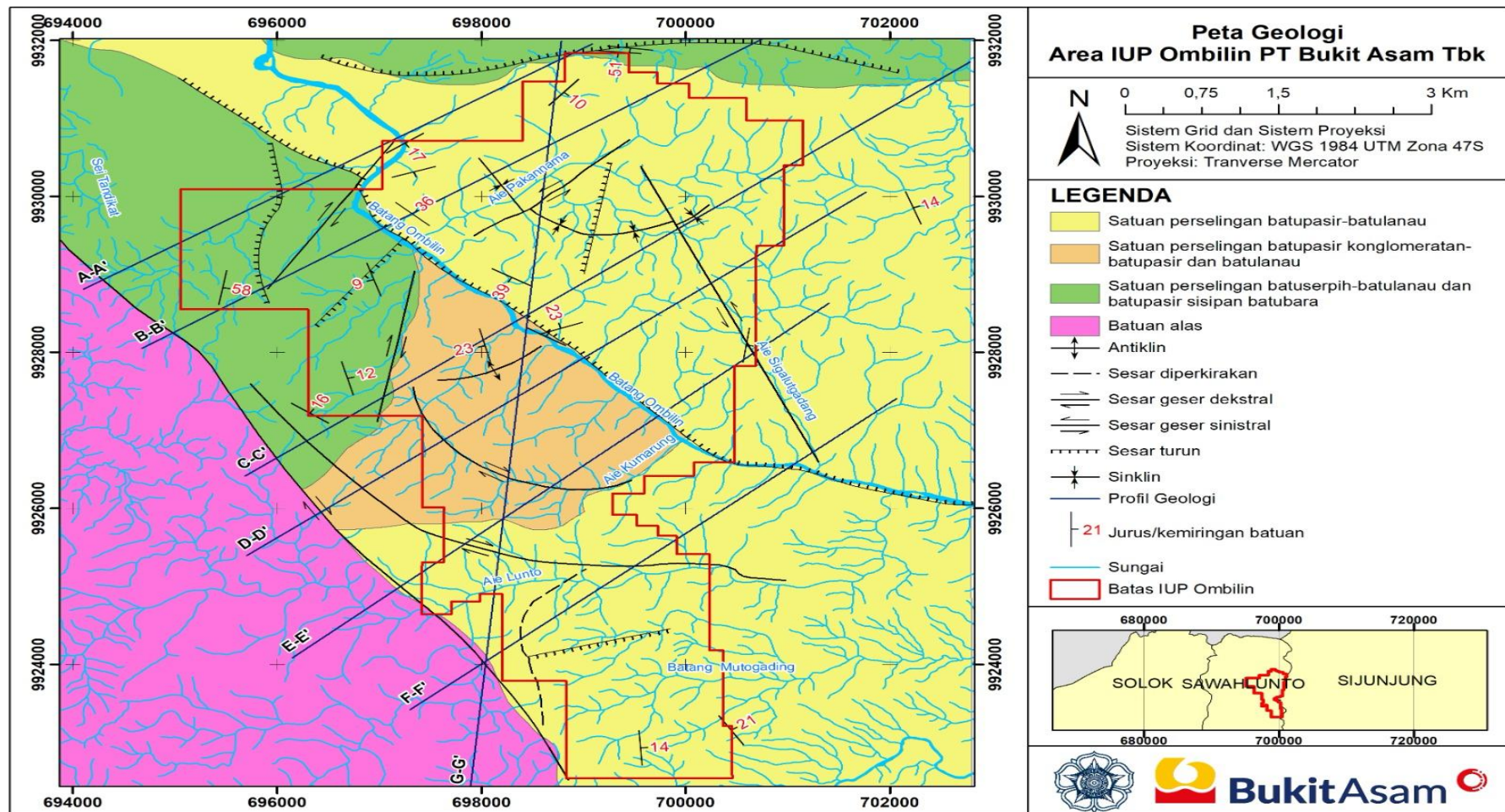
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 2. 1 Peta Lokasi PT BA UPO



Sumber: PT BA UPO

Gambar 2. 2 Peta IUP PT BA UPO



Sumber: PT BA UPO, 2026

Gambar 2. 3 Peta Geologi PT BA UPO

2.4.1 Geologi Batu Bara di Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Cekungan Ombilin, Sawahlunto, Sumatera Barat yang merupakan cekungan batu bara tertua di Indonesia. (Lampiran A) memperlihatkan peta geologi wilayah Lembur, Sumatera Barat, yang diambil dari sumber ESDM tahun 1996. Peta ini memberikan gambaran visual mengenai sebaran formasi geologi. Formasi Sawahlunto, yang berbentuk pada Zaman Eosen sekitar 40-60 juta tahun yang lalu dan tergolong ke dalam formasi sawahlunto yang terdiri dari batu pasir, batu lempung, dan batu bara sebagai hasil akumulasi dominan.

Batu bara yang ada di Sawahlunto umumnya adalah tipe bituminus yang mengandung karbon diatas medium hingga tinggi dengan warna hitam pekat dan sedikit shale, sangat kompak, dan memiliki nilai kalor yang tinggi dengan sedikit kandungan sulfur khususnya tergantung berada pada unit batu bara yang mana, sehingga merupakan kualitas batu bara yang baik untuk konsumsi industri. Struktur dari Cekungan Ombilin memiliki ciri bentuk memanjang dengan lebar mencapai 22 km dan panjang 47 km (Akmal, 2025).

Tektonik aktivitas Bukit Barisan telah menyebabkan terganggunya lipatan dan sesar yang mempengaruhi posisi lapisan batu bara dalam tanah, yang menyebabkan kedalaman batu bara selalu bergeser. Sehingga metode penambangan bawah tanah diterapkan di wilayah ini dengan *room and pillar* sebagai perlindungan stabilitas tambang. Implikasi geologis terhadap ventilasi tambang jelas. Lipatan dan sesar dapat menjadi jalur keluarnya gas berbahaya ke terowongan tambang. Hal ini menegaskan bahwa sistem ventilasi yang efektif mutlak diperlukan untuk mengendalikan gas berbahaya, menjaga kualitas udara, dan memastikan keselamatan pekerja di tambang bawah tanah Ombilin.

2.4.2 Tambang Bawah Tanah

Tambang bawah tanah merupakan sistem penambangan yang dilakukan di bawah permukaan bumi, dengan tujuan untuk mengambil bahan galian yang tidak ekonomis bila ditambang secara terbuka. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan faktor geoteknik, ekonomi, dan keselamatan kerja, serta memiliki kebutuhan khusus seperti ventilasi

(Permata, 2017). Salah satu kebutuhan khusus di dalam tambang bawah tanah yang tidak dimiliki oleh penambangan di tempat terbuka adalah sistem ventilasi. Ventilasi yang merupakan bagian penting dari desain tambang bawah tanah. Sistem ini merupakan bagian vital dari penambangan bawah tanah yang mencakup kebutuhan udara, kualitas udara, suhu, dan kelembapan. Metode penambangan bawah tanah bervariasi tergantung pada jenis endapan. Sistem penambangan di PT BA UPO, menggunakan metode *room and pillar*, di mana batu bara ditambang meninggalkan *pillar-pillar* batu bara untuk menopang langit-langit tambang (Suryanegara, 2020). Setelah memahami metode penambangan, penting untuk mengetahui ciri utama tambang bawah tanah, yaitu:

1. Adanya jaringan terowongan (*entries*, *drifts*, dan *galleries*) yang saling terhubung.
2. Keterbatasan sirkulasi udara alami, sehingga memerlukan sistem ventilasi buatan.
3. Lingkungan kerja tertutup yang memiliki potensi gas berbahaya, suhu tinggi, dan kelembapan tinggi.

Sistem perangan yang efektif sangat penting dalam mengendalikan akumulasi gas berbahaya, seperti metana (CH_4), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2).

2.4.2.1 Ventilasi Tambang

Ventilasi tambang bawah tanah merupakan hal yang sangat penting bagi keberlangsungan kegiatan penambangan yaitu sebagai sirkulasi pemasok udara ke dalam tambang bawah tanah. Sistem ventilasi dapat dikatakan gagal apabila pasokan udara segar tidak sesuai dengan kebutuhan, sehingga berpotensi membahayakan keselamatan pekerja tambang (Aulia, 2020).

Sistem ventilasi adalah penerapan prinsip mekanika fluida (dalam hal ini, udara) untuk mengatur aliran udara di pintu masuk tambang bawah tanah. Sistem ini diperlukan untuk menyediakan udara bersih bagi pekerja tambang serta peralatan yang digunakan di lokasi tersebut.

Secara umum, ventilasi tambang memiliki empat fungsi utama, yaitu:

1. Mengontrol kualitas dan jumlah udara, yakni memberikan dan mendistribusikan udara segar ke dalam tambang untuk kebutuhan pernapasan pekerja dan berbagai proses yang ada di dalamnya, termasuk debit dan tekanan.
2. Menghilangkan dan membuang gas-gas pencemar hingga mencapai keseimbangan, terutama setelah kegiatan peledakan agar sesuai dengan syarat untuk aktivitas penambangan.
3. Mengurangi debu dan partikel hingga di bawah batas aman untuk melaksanakan aktivitas tambang.
4. Mengatur suhu dan kelembapan di dalam tambang agar kondisi kerja menjadi nyaman.

Udara tidak hanya penting untuk bernapas tetapi juga untuk melarutkan kontaminasi kimia dan fisika seperti gas, debu, panas, dan kelembapan.

2.4.2.2 Komponen Sistem Ventilasi

Sistem ventilasi di dalam lubang tambang tersusun dari berbagai elemen yang berfungsi secara sinergis untuk memasok udara bersih ke area operasional dan mengeluarkan udara yang telah terkontaminasi dari dalam lubang tambang. Mengklasifikasikan sistem ventilasi menjadi komponen-komponen esensial dan komponen suplemen (pendukung), yang meliputi:

1. Sistem Ventilasi Alami

Sistem ventilasi alami memanfaatkan tenaga alam untuk mengalirkan udara ke dalam tambang bawah tanah tanpa bantuan alat. Udara dialirkan ke dalam tambang dengan perbedaan tekanan antara jalur masuk dan jalur keluar udara.

2. Sistem Ventilasi Buatan atau Mesin

Sistem ventilasi mesin menggunakan kipas (*fan*) untuk

mengalirkan udara ke dalam tambang. Fungsi kipas tersebut adalah untuk memberikan perbedaan tekanan di dalam tambang bawah tanah dan juga sebagai pengatur sirkulasi udara agar setiap area di dalam tambang mendapatkan pasokan udara. Sistem ventilasi buatan/mesin terbagi menjadi tiga, yaitu:

a. Ventilasi Hisap (*Exhaust*)

Sistem ventilasi hisap ini berfungsi dengan menghisap udara kotor dari dalam tambang bawah tanah. Hisapan dari mesin angin (*fan*) tersebut mengakibatkan penurunan tekanan udara di dalam tambang, sehingga udara dari luar yang memiliki tekanan lebih tinggi akan masuk ke dalam tambang. Kipas (*fan*) pada sistem ventilasi hisap berfungsi untuk mengeluarkan udara kotor dari tambang (Faisal, 2020).

b. Ventilasi Hembus (*Forcing*)

Sistem ventilasi hembus berfungsi untuk mendistribusikan udara segar yang bertekanan tinggi ke dalam tambang bawah tanah dengan bantuan kipas. Cara kerja sistem ini berbeda dengan sistem ventilasi hisap.

c. Ventilasi gabungan (*overlap*)

Ventilasi gabungan (*overlap*) tambang adalah sebuah sistem hibrida yang mengombinasikan saluran ventilasi primer dan sekunder untuk mengalirkan udara segar ke area kerja tertentu di tambang bawah tanah. Tujuannya adalah untuk memastikan pasokan udara yang efisien dan memadai di lokasi yang mungkin sulit dijangkau oleh sistem ventilasi utama saja, sekaligus mengelola pembuangan udara kotor. Hal tersebut dilakukan

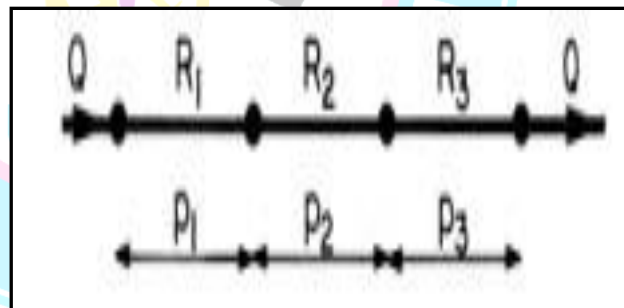
agar udara yang masuk ke dalam *front* tidak langsung terhisap oleh *exhaust fan*, sehingga udara dapat bersirkulasi dengan baik pada *front* kerja (Saputra, 2016).

2.4.2.3 Jaringan Ventilasi Tambang

Ventilasi pada tambang bawah tanah terdiri dari berbagai saluran udara yang saling terhubung. Setiap saluran udara tersebut digambarkan melalui titik-titik (*nodes*) yang berfungsi membentuk suatu jaringan. Oleh karena itu, sebuah saluran udara bisa dibagi lagi menjadi beberapa saluran. Ada dua rangkaian jalur udara sebagai berikut:

1. Rangkaian Seri

Sebuah rangkaian seri terdiri dari saluran udara yang diatur mulai dari satu ujung ke ujung lainnya, sehingga jumlah udara yang melewati setiap saluran tetap sama (Yuniartol, 2020). Bisa dilihat pada Gambar 2.4 :



Sumber: Faisal, 2020

Gambar 2. 4 Rangkaian Seri

Tahanan udara pada rangkaian seri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikutip dari (Yuniartol, 2020).

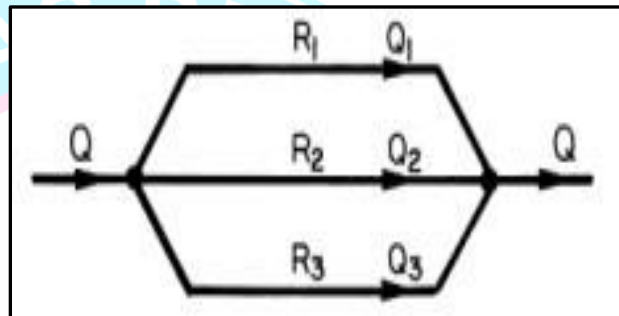
$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

R = Tahanan Udara (Ns^2/m^8)

2. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel adalah sistem yang terdiri dari jalur udara dengan beberapa cabang, di mana jumlah udara yang mengalir ditentukan oleh tahanan masing-masing jalurnya. Dalam sistem ventilasi tambang, percabangan paralel disebut “pemisahan” sementara setiap cabang disebut “cabang” pada Gambar 2.5.



Sumber: Faisal, 2020

Gambar 2. 5 Rangkaian Paralel

$$\frac{1}{\sqrt{R_{\text{tot}}}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

R = Tahanan Udara (Ns^2/m^8)

Tahanan udara pada rangkaian paralel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikutip dari (Syabanudin, 2021).

2.4.2.4 Udara Segar

Petugas ventilasi dan pengkondisian udara tambang harus fokus pada jumlah udara yang dapat disediakan oleh sistem ventilasi tambang dan komposisi kimia di udara. Udara di tambang bawah tanah merupakan campuran berbagai gas (Larasati, 2020). Secara

kimia, komposisi udara kering di permukaan bumi dapat dilihat pada Tabel 2.1. (vol % dan wt % masing-masing merupakan persentase volume dan berat).

Tabel 2. 1 Komposisi Udara Segar

Unsur	Persen Volume (%)	Persen Berat (%)
Nitrogen (N ₂)	78,09	75,53
Oksigen (O ₂)	20,95	23,14
Karbon dioksida (CO ₂)	0,03	0,046
Argon (Ar), dll.	0,93	1,284

Sumber: Rustiyanto, P.A, 2024

Dalam perhitungan ventilasi tambang selalu dianggap bahwa udara segar normal terdiri dari Nitrogen 79% dan Oksigen-21%. Di samping itu selalu dianggap bahwa udara segar akan selalu mengandung karbon dioksida (CO₂) sebesar 0,03%. Demikian pula perlu diingat bahwa udara dalam ventilasi tambang selalu mengandung uap air dan tidak pernah ada udara yang benar-benar kering. Oleh karena itu akan selalu ada istilah kelembapan udara.

2.4.2.5 Gas - Gas Pada Tambang Bawah Tanah

Ada beberapa tipe gas pengotor yang dapat membahayakan atau bahkan beracun. Kedua unsur tersebut dapat bereaksi dengan darah dan bahkan menyebabkan kematian (Ferdi Tegar Syahputra, 2024). Gas berbahaya adalah gas yang membahayakan kesehatan manusia dan berpotensi terbakar saat kontak. Beberapa gas yang ditemukan di bawah tanah:

1. Oksigen (O₂)

Oksigen normal ada di udara kira-kira 21,0%, dan tingkatan tidak boleh di bawah 19.5%. Orang biasanya merasa sangat lelah jika oksigen sistem kerja dibiarkan di bawah ambang batas yang diperlukan. Penyebab utama penurunan oksigen di bawah tanah antara lain pembakaran dan peledakan, reaksi oksidasi, pembentukan bahan organik, dan konsumsi manusia yang menyebabkan pengeluaran karbon dioksida.

2. Nitrogen (N_2)

Udara mengandung sekitar 78,9 % nitrogen. Gas ini tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Dengan jumlah yang mencapai hampir 80 % dari total komposisi udara, nitrogen merupakan komponen utama di atmosfer bumi.

3. Karbon monoksida (CO)

Transparan dan tidak berbau gas menentukan sebagian besar dari produk hasil pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil. Namun, ini adalah gas yang tidak berbau dengan tingkat racun tinggi.

4. Karbon dioksida (CO_2)

Ketika manusia bernapas, mereka mengambil udara dengan oksigen. Ketika menghembuskan nafas, maka yang dikeluarkan adalah karbon dioksida. Gas ini tidak berwarna dan bila terhirup dalam jumlah banyak, akan terasa sesak nafas.

5. Gas metana (CH_4)

Gas ini terbentuk selama aktivitas penambangan. Peristiwa kecelakaan yang terjadi pada tambang batu bara bawah tanah adalah ledakan gas metana dengan konsentrasi lebih dari 5 %.

6. Nitrogen oksida (NO_2)

Gas ini berasal dari gas buang knalpot mesin tambang, baik mesin diesel maupun bensin, bersifat racun, berwarna cokelat kemerahan, gas ini lebih berat dari udara.

7. Nitrogen sulfida (H_2S)

Gas ini dapat terbentuk dari peledakan bijih- bijih sulfida atau bahan-bahan pelapukan. Gas ini tidak berwarna, cepat terbakar.

8. Debu

Penting sekali untuk memahami area-area kritis yang menghasilkan debu di pertambangan bawah tanah. Hampir

semua aktivitas penambangan menciptakan polusi debu. Jika suatu kegiatan penambangan mengeluarkan debu, maka kegiatan itu dianggap sebagai sumber utama penghasil debu.

Identifikasi dan pemantauan kualitas udara secara berkala menjadi prosedur standar keselamatan yang esensial. Untuk memastikan bahwa komposisi udara di area kerja, khususnya parameter oksigen (O_2), metana (CH_4), dan karbon monoksida (CO), tetap berada dalam standar Nilai Ambang Batas (NAB) operasional, diperlukan perangkat pemantau portabel yang presisi, salah satunya adalah *gas detector* cara alat ini bekerja sebagai berikut:

1. Nyalakan alat dengan menekan tombol *ESC/Power* di area dengan udara bersih (di luar tambang) agar sensor mendapatkan titik nol yang akurat.
2. Bawa alat masuk ke area kerja. Alat ini bekerja secara kontinu. Layar akan menampilkan persentase O_2 (normal di kisaran 20.9%) dan konsentrasi gas lainnya dalam satuan ppm.
3. Tombol UP dan ENT digunakan untuk navigasi menu atau melihat riwayat alarm.
4. Jika alat mengeluarkan bunyi alarm atau bergetar, itu tanda konsentrasi gas sudah melewati ambang batas aman. Segera lakukan evakuasi sesuai prosedur K3.

2.4.3 Kuantitas Udara Tambang Bawah Tanah

Kuantitas udara tambang merujuk pada volume udara yang disuplai ke dalam tambang, yang ditentukan melalui pengukuran kecepatan aliran udara dan luas penampang jalur udara yang akan dilalui (Refky, 2019). Dalam mengendalikan kuantitas udara tambang, udara segar perlu disuplai dan polutan seperti debu, gas, dan panas harus dikeluarkan menggunakan sistem ventilasi. Tujuan perhitungan udara tambang adalah untuk menentukan kebutuhan udara dan distribusinya ke setiap jalur yang

diperlukan di tambang bawah tanah. Setelah diketahui kecepatan udara dan luas dari penampang jalur udara, maka kuantitas udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3) (Yulianti, 2018).

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2.3)$$

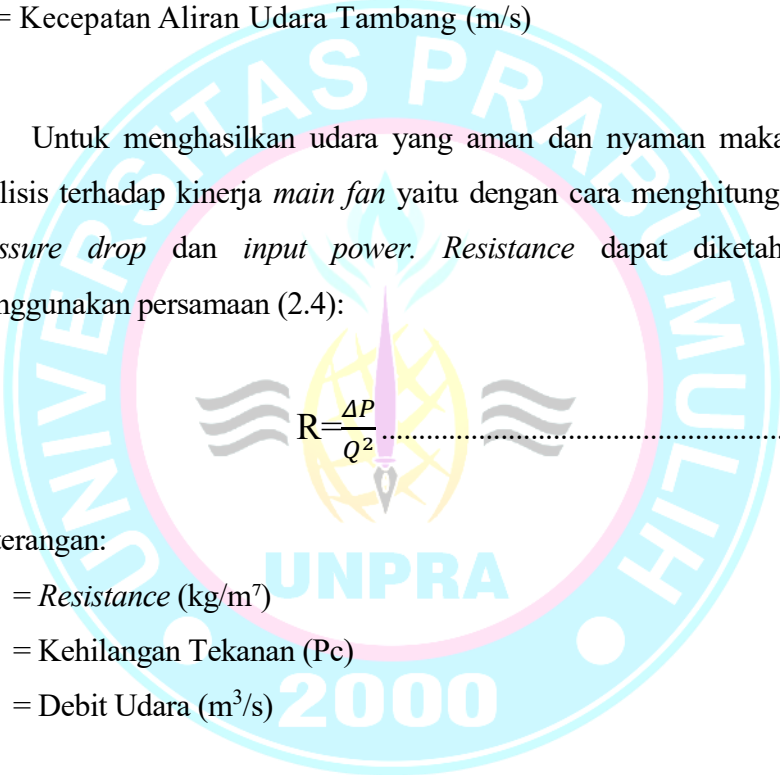
Keterangan:

Q = Debit Udara (m^3/s)

A = Luas Penampang Jalur Udara Tambang (m^2)

V = Kecepatan Aliran Udara Tambang (m/s)

Untuk menghasilkan udara yang aman dan nyaman maka dilakukan analisis terhadap kinerja *main fan* yaitu dengan cara menghitung *resistance*, *pressure drop* dan *input power*. *Resistance* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.4):



$$R = \frac{\Delta P}{Q^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

R = *Resistance* (kg/m^7)

ΔP = Kehilangan Tekanan (Pc)

Q = Debit Udara (m^3/s)

Setelah didapatkan *Resistance* maka akan dilanjutkan dengan menghitung *pressure drop* dengan menggunakan persamaan (2.5):

$$P = R \times Q^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

P = *Pressure Drop* (Pa)

R = *Resistance* (kg/m^7)

Q = Kuantitas (m^3/s)²

Pengumpulan debit udara dan *pressure drop* berguna untuk menghitung *input power* yang digunakan. *Input power* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.6):

$$AP = \frac{P \cdot Q}{75} \text{ (HP)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

Ap = Air Power

P = Pressure Drop

Q = Kuantitas

Salah satu tujuan sistem ventilasi pada tambang bawah tanah untuk membuang debu di depan *Front* penambangan agar tidak mengganggu kegiatan penambangan dan kesehatan pekerja. Debu tersebut harus di hitung dengan persamaan (2.7):

$$\Omega = \frac{Ed}{Cd} \times \frac{P}{3600} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

Ed = Tingkat emisi debu yang dapat terhirup (mg/ton)

P = Laju produksi mineral (ton/jam)

Cd = Peningkatan konsentrasi debu yang dapat terhirup (mg/m³)

Pengambilan data dilakukan langsung di lapangan yang terletak tambang dalam. Data yang diambil meliputi pengukuran kebutuhan udara, spesifikasi utama kipas utama, dan pengamatan kondisi lokasi rencana kerja. Berikut adalah Tabel 2.2 yang menjelaskan klasifikasi kecepatan aliran udara dalam tambang bawah tanah:

Tabel 2. 2 Klasifikasi Kecepatan Aliran Udara

No.	Kategori Kecepatan Aliran	Kecepatan Aliran
1	Rendah	< 100 fpm (0,508 m/s)
2	Sedang	100 – 750 fpm (0,508 – 3,81 m/s)
3	Tinggi	>750 fpm (>3,81 m/s)

Sumber: Nata dan Nanda, 2019

Untuk mengetahui nilai kecepatan aliran udara (V) aktual yang melintasi terowongan tambang, diperlukan metode pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran ini umumnya dilakukan menggunakan instrumen khusus yang dirancang untuk merespons pergerakan udara dengan tingkat akurasi tinggi, yaitu *anemometer* cara alat ini bekerja sebagai berikut:

1. Tekan tombol power (I) untuk menyalakan alat. Gunakan tombol UNIT untuk memilih satuan kecepatan udara yang diinginkan (biasanya m/s atau fpm).
2. Pegang alat dengan bagian baling-baling menghadap langsung ke arah datangnya angin. Pastikan posisi alat berada di tengah penampang lubang (*centerline*) agar mendapatkan representasi kecepatan rata-rata.
3. Gunakan fitur MAX/MIN jika Anda ingin mengetahui fluktuasi kecepatan tertinggi atau terendah. Tekan tombol HOLD jika ingin mengunci angka pada layar agar mudah dicatat.
4. Hindari menghalangi aliran udara dengan badan saat mengukur; berdirilah di sisi samping alat.

2.4.3.1 Luas Penampang Saluran Udara

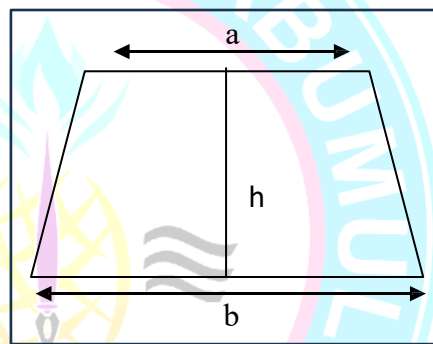
Untuk mengetahui kuantitas aliran udara, kecepatan udara dilakukan pengukuran pada luas penampang jalur udara di setiap titik pengukuran menggunakan *roll meter*. Dalam perhitungan ventilasi tambang selalu dianggap bahwa udara segar normal terdiri dari pengukuran terhadap luas lubang bukaan, luas pari, dan luas pipa.

Lubang tambang bawah tanah, terdapat dua jenis jalur udara penampang terowongan dan penampang saluran udara, yang masing-masing memiliki peran berbeda dalam sirkulasi udara.

1. Luas Penampang Terowongan

Berbagai bentuk penampang terowongan seperti persegi panjang dan trapesium, mempengaruhi aliran udara di tambang bawah tanah. Oleh karena itu, perhitungan luas penampang terowongan harus disesuaikan dengan masing-masing tertentu. Berikut adalah perhitungan luas penampang terowongan yang diperlukan:

a. Berbentuk Trapesium



Sumber: Penulis, 2025

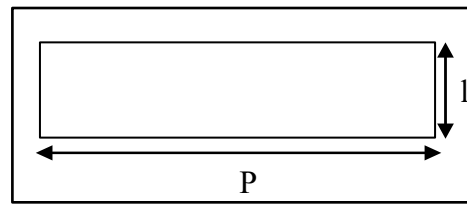
Gambar 2. 6 Penampang Trapesium

$$A = \frac{a+b}{2} (h) \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

- A = Luas Penampang (m²)
- a = Panjang Sisi Atas Trapesium (m)
- b = Panjang Sisi Bawah Trapesium (m)
- h = Tinggi (m)

b. Berbentuk Persegi Panjang



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 2. 7 Penampang Persegi Panjang

$$A = P \times l \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

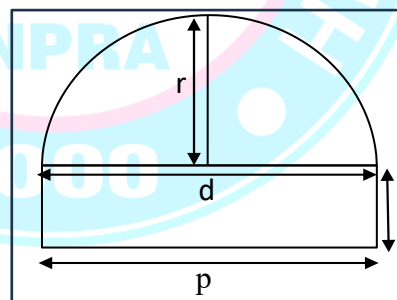
A = Luas Penampang (m^2)

P = Panjang Penampang (m)

l = Lebar Penampang (m)

(Feishal, 2019)

c. Berbentuk Setengah Lingkaran



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 2. 8 Penampang Setengah Lingkaran

Luas $\frac{1}{2}$ Lingkaran

$$A = \frac{1}{2} \pi r^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Luas Persegi Panjang

$$A = P \times l \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m^2) π

π = Bilangan konstanta 3,14

r = Jari-jari lingkaran (m)

d = Diameter lingkaran (m)

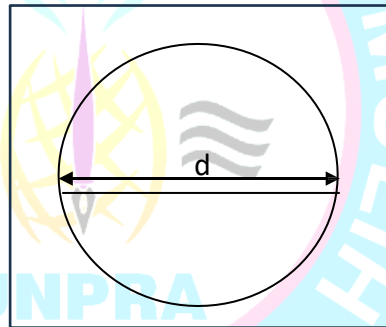
p = Panjang penampang (m)

l = Lebar penampang (m)

(Dian dan Zakri, 2019)

4. Luas Penampang Saluran Udara (*Duct*)

Secara umum, dimensi saluran udara tambang bawah tanah berbentuk lingkaran. Oleh karena itu, luas penampang saluran udara dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 2. 9 Penampang Lingkaran

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m^2)

d = Diameter Lingkaran (m)

π = Bilangan Konstanta 3,14

(Anggriani, 2018)

Karena setiap lorong tambang dapat memiliki karakteristik dimensi yang bervariasi akibat proses penggalian, perhitungan luas penampang (A) udara yang representatif sangat dibutuhkan untuk evaluasi jaringan ventilasi. Untuk mendapatkan nilai luas penampang secara matematis, data primer terkait dimensi fisik terowongan-seperti tinggi dan lebar bukaan harus diidentifikasi secara langsung di lapangan. Pengukuran dimensi geometri lorong tambang ini dilakukan menggunakan alat ukur jarak spasial berupa meteran pita (*measuring tape*) cara alat ini bekerja sebagai berikut:

1. Tarik ujung meteran dari dinding kiri ke dinding kanan lubang tambang secara tegak lurus.
2. Lakukan hal yang sama dari lantai tambang (*floor*) ke atap tambang (*roof*).
3. Meteran ini memiliki fitur kunci otomatis, tarik pita meteran dan ia akan terkunci sendiri. Tekan tombol hitam di bagian tengah untuk menarik kembali pita meteran.
4. Karena penampang tambang seringkali tidak rata, lakukan pengukuran di beberapa titik untuk mendapatkan hasil rata-rata yang lebih presisi.

2.4.3.2 Perhitungan Kebutuhan Udara

1. Untuk Kebutuhan Udara Pernapasan

Untuk menghitung kebutuhan udara bernapas yang diperlukan setiap individu di tambang bawah tanah, menggunakan persamaan (2.13):

$$Q = \text{Jumlah orang} \times 2 \text{ m}^3/\text{detik} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

Q = Pernapasan

2 m³/detik = Kebutuhan udara minimum untuk perorangan.

2. Perhitungan Kebutuhan Udara Untuk Peralatan

Kebutuhan udara untuk alat berat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14):

$$\text{Kebutuhan Udara} = 3\text{m}^3/\text{menit} \times \text{HP} \dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$3\text{m}^3/\text{menit}$ = Kebutuhan minimum untuk alat berat

Hp = *Horse Power* alat berat.

3. Perhitungan Gas Metana

Perhitungan pancaran gas metana menggunakan persamaan (2.15):

$$Y = 4,1 + 0,023 (x) \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

Y = Keluaran emisi gas metana (m^3CH_4)

X = Kedalaman lubang (m)

2.4.3.3 Suhu dan Kelembapan

Ventilasi diperlukan untuk mencapai dan mempertahankan kondisi kerja yang nyaman di tambang bawah tanah. Faktor lingkungan yang paling penting adalah suhu dan kelembapan. Ada enam faktor utama tentang pengaruh yang tinggi terhadap temperatur dengan faktor tambang bawah tanah (Saleh, 2020). Setiap faktor perlu dianalisis lebih lanjut untuk menjamin pekerjaan ventilasi.

1. Faktor *geothermal*

Gradasi *geothermal* adalah panas yang terdapat di dalam bumi, yang ada karena material panas yang terletak ribuan kilometer di bawah permukaan. Ini menghasilkan aliran panas yang mencapai permukaan. Semakin dalam, suhu di bawah tanah semakin tinggi atau semakin panas.

2. Faktor suhu di permukaan

Suhu yang ada di permukaan bisa berfungsi sebagai sumber panas, terutama saat pemanasan suatu benda langit, seperti planet atau satelit. Hal ini menyebabkan efek rumah kaca, yang diakibatkan oleh peningkatan kadar CO₂ di atmosfer.

3. Mesin

Mesin mekanis di dalam tambang bawah tanah, memproduksi panas. Jumlah panas yang dilepaskan oleh mesin ke udara di tambang tergantung pada daya yang dihasilkan oleh mesin tersebut.

4. Faktor *Auto-compression*

Ini adalah faktor alam yang memengaruhi suhu di ruang kerja. Faktor *auto-compression* berarti setiap kilometer mendalam, suhu bisa naik sebesar 1°C.

5. Air tanah

Kehadiran air tanah yang menggenangi tambang bawah tanah dapat mempengaruhi tingkat kelembapan udara. Kelembapan yang tinggi akan membuat udara terasa lebih panas.

Pengukuran langsung atau perhitungan beberapa fitur ventilasi sangat penting dilakukan guna mendapatkan informasi yang berkaitan dengan aspek-aspek sistem ventilasi di tambang.

1. Pengukuran Suhu Udara

Suhu udara di area pertambangan dapat diukur dengan mudah menggunakan *termometer* merkuri. Dalam kondisi yang panas dan lembap, ukuran suhu bola basah diambil menggunakan *termometer* bola basah.

2. Pengukuran Kecepatan Udara

Mengukur kecepatan udara adalah bagian penting dari pemeriksaan ventilasi atau penilaian yang dilakukan sesuai dengan peraturan tambang. Kecepatan udara adalah karakteristik yang paling umum diukur di saluran udara serta di area kerja tambang. Salah satu perangkat yang digunakan untuk

mengukur kecepatan udara dalam sistem ventilasi tambang adalah *anemometer vane*.

3. Pengukuran Kelembapan Udara

Kelembapan di area tambang menunjukkan seberapa banyak uap air yang terdapat di udara tersebut, dan biasanya dinyatakan sebagai "kelembapan relatif". Untuk mengukur kelembapan di udara serta dapat mengukur kecepatan udara dengan cara digital.

Data digital yang diukur menjadi dasar perhitungan teknis Sehingga rumus suhu dan kelembapan ventilasi dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

$$RH = \frac{\text{Masa uap air aktual}}{\text{Masa uap Maksimum pada suhu tersebut}} 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Mengevaluasi kondisi termal dan beban panas lingkungan kerja, diperlukan analisis terhadap nilai *Relative Humidity* (RH). Nilai kelembapan relatif ini diturunkan dari perbandingan suhu udara lingkungan dengan tingkat kejenuhan uap airnya, yang dapat diukur melalui parameter temperatur bola basah (*wet bulb*) dan temperatur bola kering (*dry bulb*) menggunakan *sling psychrometer* cara alat ini bekerja sebagai berikut:

1. Pastikan kain (sumbu) pada termometer suhu basah (bagian bawah) sudah dibasahi dengan air bersih (air suling lebih baik).
2. Pegang gagang putih yang bisa berputar, lalu putar/ayunkan alat dalam gerakan melingkar di depan Anda selama sekitar 1 hingga 2 menit.
3. Setelah selesai diputar, segera baca suhu pada termometer suhu basah terlebih dahulu, kemudian termometer suhu kering. Jangan biarkan terlalu lama agar suhu tidak berubah kembali.
4. Selisih antara suhu kering dan suhu basah (depresi suhu basah) kemudian dicocokkan dengan tabel psikrometrik untuk mengetahui persentase kelembapan udara.

2.4.4 Kipas Ventilasi

Kipas adalah mesin yang berputar sehingga udara mengalir terus menerus pada suatu tekanan dan menyalurkannya pada tekanan yang lebih tinggi. Energi potensial (tekanan) dan energi kinetik (kecepatan) dihasilkan dari perubahan energi mekanik kipas (Sriyanti, 2021). Kipas dalam tambang berfungsi sebagai penyuplai udara dengan kecepatan dan debit tertentu tergantung kapasitas *duct* yang akan digunakan. Suplai udara bergerak dari luar ke dalam tambang.

Kipas mempunyai perbedaan tekanan antar kedua sisinya, sehingga aliran udara bergerak dari tempat yang tekanannya tinggi ke yang rendah. *Fan* mesti dibuat dari bahan yang tahan terhadap api atau bagian motor penggerakannya dikasih pelindung. Kinerja *fan* harus mampu mengubah energi mekanis menjadi energi fluida dengan cara menyimpan atau memasok tekanan agar *head losses* pada aliran bisa diatasi.

2.4.4.1 Jenis-Jenis Kipas Ventilasi

Bagian *fan* terbagi menjadi dua (Asmunandar A. d., 2017), yaitu:

1. *Fan Blower*



Sumber: Asmunandar, 2017

Gambar 2. 10 *Fan Blower*

Gambar di atas menampilkan berfungsi untuk menyuplai udara masuk. Metodenya dengan membangkitkan tekanan di *intake* yang lebih tinggi dibandingkan tekanan

atmosfer, sehingga udara terhisap masuk ke dalam *pit*.

2. Exhaust Fan



Sumber: Darling, P, 2011

Gambar Gambar 2.11 Exhaust Fan

Gambar di atas menampilkan berfungsi menghisap udara berbahaya berupa gas. Caranya dengan membangkitkan tekanan yang lebih rendah di *outtake* (tekanan negatif) dibandingkan tekanan *atmosfer*. Dalam ventilasi mekanis atau mesin, *fan* yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:

a. Main Fan



Sumber: Widiatmojo, A, 2015

Gambar 2.12 Main Fan

Gambar di atas menampilkan kipas utama (*main fan*) yaitu mesin angin utama untuk memasok atau

menyuplai kebutuhan udara segar bagi para pekerja maupun mesin/alat tambang.

b. *Booster Fan*



Sumber: Asmunandar, 2017

Gambar Gambar 2.13 *Booster Fan*

Gambar di atas mengilustrasikan kipas penguat, yang digunakan pada saluran udara yang bercabang agar mempercepat aliran udara tapi volumenya tidak bertambah.

c. *Auxiliary Fan*



Sumber: Howden Group, 2024

Gambar Gambar 2.14 *Auxiliary Fan*

Gambar di atas menunjukkan kipas bantu untuk saluran udara tertutup atau dikenal dengan sebutan lubang buntu.

2.4.4.2 Daya Penggerak Fan

Daya penggerak kipas adalah energi yang dibutuhkan untuk mengatasi kehilangan energi dalam aliran udara atau mengatasi tahanan ventilasi yang muncul dalam saluran udara. Energi yang dibutuhkan oleh kipas dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang diambil dari (Hartami, 2020) persamaan (2.17).

$$AP = P \times Q \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

AP = Daya Penggerak *Fan* (*Watt*)

P = Tekanan Udara (Pa)

Q = Debit Udara (m³/s)

2.4.4.3 Prinsip Kerja dan Persamaan

Untuk mengalirkan udara di dalam tambang, diperlukan main *fan* yang dipasang di mulut tambang untuk menciptakan perbedaan tekanan dengan udara luar, sehingga aliran udara dapat terjadi. Dalam hal ini, terowongan tambang yang saling terhubung sedemikian rupa menciptakan *Resistance* (Widiatmojo, 2020). Kipas ventilasi tambang itu bekerja dengan cara unik menggunakan perbedaan tekanan udara antara pintu masuk dan keluar untuk menggerakkan angin di lorong tambang. Saat baling-balingnya berputar, dia menciptakan gaya yang mendorong udara segar masuk ke area kerja, sementara udara kotor atau udara yang sudah digunkan dialirkan keluar melalui saluran buangan. Hubungan antara debit udara, tekanan dan daya kipas persamaan (2.18):

$$P = \frac{Q \times \Delta P}{\eta} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

P = Daya kipas (Watt)

Q = Debit udara (m^3/s)

ΔP = Tekanan statik (Pa)

η = Efisiensi kipas (%).

2.4.4.4 *Shock Loss* (Kehilangan Julang)

Peningkatan *friction factor* (K) yang dihitung atau diperkirakan dapat diterapkan untuk mengakomodasi *Shock Loss* di setiap saluran udara dalam sistem ventilasi tambang. *Shock Loss* adalah variasi dari total tekanan dalam saluran udara, yang mencakup titik-titik seperti pintu masuk udara, belokan, percabangan, perubahan ukuran saluran, dan transisi di saluran udara keluar. *Shock Loss* yang singkat terjadi karena perubahan arah aliran udara. Beberapa penyebab kerugian guncangan dapat dilihat pada nilai K , termasuk *sinuositas*, hambatan, dan pemilihan bahan. Memilih nilai K yang benar untuk perhitungan sangat penting agar dapat mengevaluasi kerugian dari guncangan dengan tepat. Selain itu, juga dijelaskan metode untuk menghitung peningkatan nilai K yang berkaitan dengan berbagai jenis kerugian guncangan. Untuk itu, faktor gesekan yang dikembangkan oleh McPherson (1993) memberikan dasar kuantitatif yang sangat diperlukan dalam menghitung rugi tekanan sepanjang saluran udara tambang. Tabel 2.3 menyajikan nilai faktor gesekan untuk berbagai kondisi permukaan, yang menjadi acuan umum dalam analisis ventilasi tambang.

Tabel 2. 3 Faktor Gesekan (McPherson, 1993)

Kategori	Faktor Gesekan, k (kg/m ³)	Koefisien Gesekan, f
Saluran Udara Persegi Panjang		
Beton halus berlapis	0.004	0.0067
<i>Shotcrete</i>	0.0055	0.0092
Tanpa pelapis, hanya ketidak teraturan kecil	0.009	0.015
<i>Girders</i> pada batu atau dinding beton	0.0095	0.0158
Tanpa pelapis, kondisi tipikal tanpa tidak teraturan besar	0.012	0.020
Tanpa pelapis, sisi tidak rata	0.014	0.023
Tanpa pelapis, kondisi kasar atau tidak beraturan	0.016	0.027
<i>Girders</i> pada sisi prop	0.019	0.032
Lubang dengan sisi kasar, lantai bertingkat, <i>handrails</i>	0.040	0.067
Saluran Udara Lengkung Baja		
Beton halus seluruhnya	0.004	0.0067
Diberi bata di sekeliling lengkung	0.006	0.010
Beton atau kayu sebagai penopang antar flensa	0.0075	0.0125
Slab atau kayu penyangga antara flensa hingga pegas	0.009	0.015
Penopang di belakang lengkung	0.012	0.020
Lengkung tidak sejajar, kondisi kasar	0.016	0.027
Saluran Logam		
Lengkung dengan penyangga batu dan jaring	0.010	0.017
Lengkung berbentuk lengkung dengan jaring dan baut batu	0.014	0.023
Saluran persegi panjang, tanpa lapisan, baut batu dan jaring	0.013	0.022
<i>Raise bor</i>	0.005	0.008
<i>Beltway</i>	0.014	0.023
Terowongan TBM	0.0045	0.0075
Tambang Batubara: Saluran Persegi Panjang, Dibaut Atap		
<i>Intake</i> , kondisi bersih	0.009	0.015
<i>Return</i> , beberapa ketidakteraturan/longsoran	0.010	0.017
Saluran <i>belt</i>	0.005–0.011	0.0083–0.018
Saluran <i>cribbed</i>	0.050–0.140	0.080–0.230

<i>Shafts</i>		
Beton halus, tidak terhalang	0.003	0.005
Bata berlapis, tidak terhalang	0.004	0.0067
Beton dilapisi, pipa dan <i>fitting</i> pemandu tali	0.0065	0.0108
Bata dilapisi, pipa dan <i>fitting</i> pemandu tali	0.0075	0.0125
Lubang dibor, permukaan terpotong baik	0.010	0.0167
Tanpa pelapis, ketidakteraturan besar dihilangkan	0.012	0.020
Tanpa pelapis, tidak ada <i>fitting</i>	0.0140	0.023
Lubang <i>tubbing</i> baja, tanpa <i>fitting</i>	0.007–0.014	0.0012–0.023
Bata tanpa pelapis, dua sisi terdapat buntan	0.018	0.030
Dua sisi memiliki buntan, masing-masing dengan <i>grid</i>	0.022	0.037
<i>Longwall dengan conveyor baja dan penyangga</i>		
Kondisi baik, dinding halus	0.035	0.056
Kondisi tipikal, batu bara pada <i>conveyor</i>	0.050	0.083
Kondisi kasar, permukaan <i>Longwall</i> tidak rata	0.065	0.108
<i>Ducting Ventilasi</i>		
<i>Ducting</i> kain lipat (hanya sistem <i>forcing</i>)	0.0037	0.0062
<i>Ducting</i> fleksibel dengan penguat pegas spiral penuh	0.011	0.018
<i>Fiberglass</i>	0.0024	0.004
Baja <i>galvanis spiral wound</i>	0.0021	0.0035

Sumber: McPherson, 1993

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Waktu Kegiatan Penelitian

Pelaksanaan penelitian akan dilakukan pada PT BA UPO di Sawahluwung yang berada di wilayah Kota Sawahlunto lebih tepatnya Propinsi Sumatera Barat selama dua bulan, yaitu mulai Maret sampai dengan April. Pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan secara jelas dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Rencana Penelitian

N O	Kegiatan	Minggu							
		1				2			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Observasi awal								
2	Studi Literatur								
3	Penyusunan proposal								
4	Pengumpulan referensi dan data terkait penelitian								
5	Pengelolaan data								
6	Analisis data								
7	Konsultasi dan bimbingan								
8	Penyusunan dan pengumpulan Tugas Akhir								

Sumber: Penulis, 2026

3.2 Tahapan Penelitian

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

1. Observasi lapangan

Observasi lapangan adalah kegiatan yang berupa kunjungan dan pengamatan langsung. Tujuan dari *observasi* langsung untuk mengumpulkan data yang terkait dengan penelitian Tugas Akhir. Data dapat berupa data *primer* dan data *sekunder*.

2. Pengambilan data

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

- a. Data *Primer*, merupakan sumber data yang diperoleh secara langsung dari sumber asli atau pihak pertama. Pengambilan data dilakukan dengan pengamatan langsung ke lapangan yang meliputi :

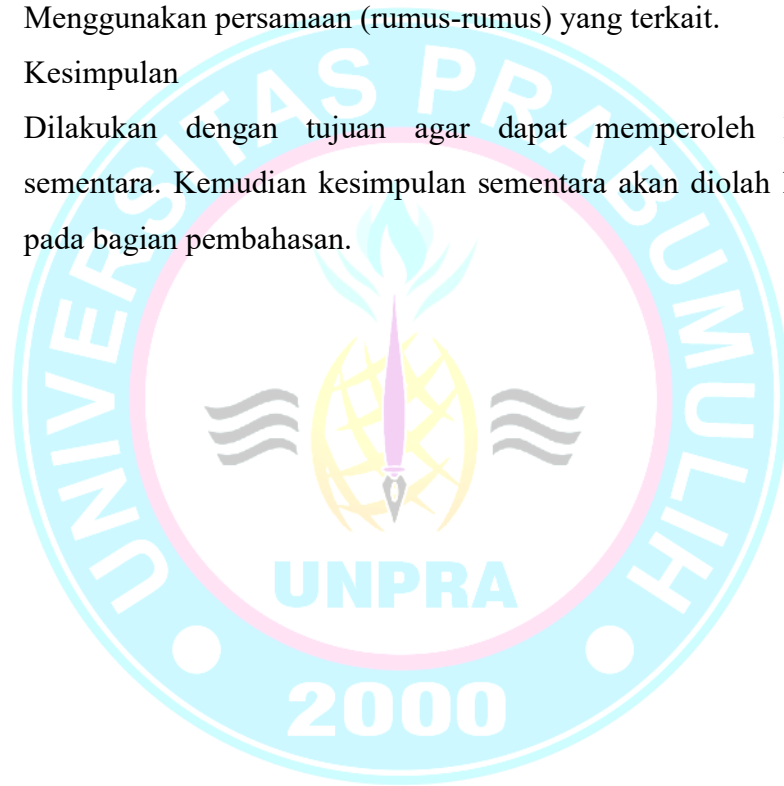
- 1) Pengukuran Kecepatan Angin
- 2) Luas Penampang Lubang
- 3) Tekanan Udara
- 4) Suhu dan Kelembapan Udara
- 5) Konsentrasi Gas Berbahaya
- 6) Kuantitas Udara
- 7) Kondisi Operasional Kipas

- b. Data *Sekunder*, pada umumnya berupa bukti, catatan, atau laporan *historis* yang telah tersusun dalam arsip perusahaan, meliputi:

- 1) Peta Lokasi dan Topografi
- 2) Data Sistem Ventilasi sebelumnya
- 3) Dokumentasi Teknis Perusahaan
- 4) Peta Geologi
- 5) Curah Hujan
- 6) Peta IUP

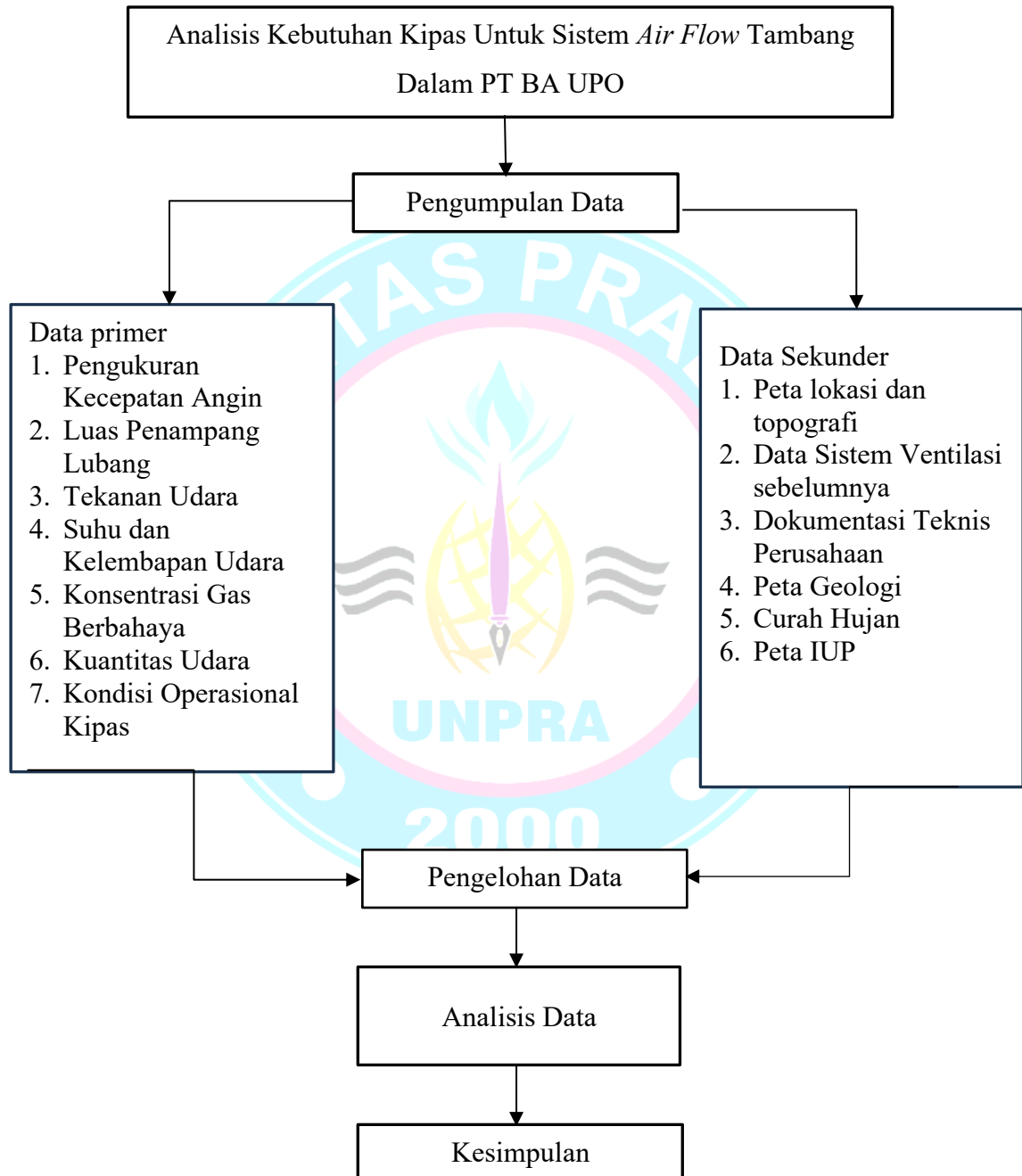
3. Pengumpulan dan Pengolahan Data Teknik pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu:

- a. Daftar pustaka, yaitu mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan membaca buku literatur yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas dalam penelitian sehingga dapat digunakan sebagai landasan dalam pemecahan masalah.
 - b. Studi lapangan, yaitu mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan.
4. Analisis Hasil Pengolahan Data
- Data yang telah didapatkan dari hasil pengamatan selama di lapangan akan Dilakukan pengolahan data berupa perhitungan dengan Menggunakan persamaan (rumus-rumus) yang terkait.
5. Kesimpulan
- Dilakukan dengan tujuan agar dapat memperoleh kesimpulan sementara. Kemudian kesimpulan sementara akan diolah lebih lanjut pada bagian pembahasan.



3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini merupakan proses penelitian yang akan dilalui oleh penulis sehingga dapat mengumpulkan data yang diperlukan dalam sebuah Penelitian. Bagan alir dari penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut:



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu data primer yang diperoleh langsung melalui pengukuran lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari dokumen atau catatan internal perusahaan.

1. Data Primer

Data primer adalah data utama yang diambil secara langsung dari lokasi penelitian di dalam lubang tambang bawah tanah. Data primer yang dikumpulkan meliputi:

a. Dimensi Buka-an Terowongan/Lintasan Ventilasi

Pengukuran lebar (W) dan tinggi (H) lubang buka-an tambang menggunakan meteran.

b. Kecepatan Aliran Udara (V)

Pengukuran laju kecepatan angin di berbagai titik stasiun ventilasi dan percabangan terowongan menggunakan alat *Anemometer*.

c. Kondisi Termal Udara (Suhu Basah dan Suhu Kering)

Pengukuran temperatur udara tambang menggunakan *Sling Psychrometer*.

d. Konsentrasi Gas-Gas Tambang

Pengukuran kandungan gas berbahaya dan beracun.

e. Tekanan Udara

Pengukuran tekanan statis dan dinamis aliran udara di sepanjang jalur ventilasi.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari dokumen resmi PT BA UPO. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi:

a. Peta Layout Jaringan Ventilasi

b. Spesifikasi Teknis Kipas Angin (*Fan*)

c. Data Ketenagakerjaan dan Jadwal Kerja

d. Data Peralatan Mekanis (Diesel)

3.4.2 Tahap Pengolahan Data

Data mentah yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah secara matematis. Langkah-langkah pengolahan data meliputi:

1. Perhitungan Luas Penampang Terowongan (A)

Luas penampang terowongan dihitung berdasarkan bentuk geometrinya di lapangan. Umumnya, lubang tambang berbentuk persegi panjang atau trapesium. Perhitungan bentuk trapesium menggunakan rumus pada (2.8), sementara perhitungan bentuk Persegi Panjang menggunakan rumus pada persamaan (2.9).

2. Perhitungan Debit Aliran Udara Aktual (Q_{aktual})

Debit aliran udara yang mengalir dihitung dengan mengalikan luas penampang dengan kecepatan udara rata-rata hasil pengukuran. Perhitungan debit aliran udara ini menggunakan rumus pada persamaan (2.3)

3. Perhitungan Kebutuhan Udara Bersih Minimum (Q_{min})

pasokan udara bersih minimal harus mencukupi kebutuhan pekerja, menetralkan gas, dan mengatasi kebocoran udara.

- a. Berdasarkan Jumlah Pekerja (Q_{pekerja})

setiap pekerja di dalam tambang membutuhkan udara bersih minimal sebesar $2 \text{ m}^3/\text{menit}$ atau setara dengan $0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$.

- b. Berdasarkan Peralatan

Peralatan bermesin diesel membutuhkan pasokan udara bersih minimal sebesar $3 \text{ m}^3/\text{menit}$ per HP. Kebutuhan udara untuk peralatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

4. Perhitungan Tahanan Ventilasi Tambang (Hukum Atkinson)

Gesekan antara aliran udara dengan dinding terowongan menimbulkan hambatan atau tahanan gesek (R). *Resistance* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.4)

5. Perhitungan *pressure drop*

Setelah didapatkan *Resistance* maka akan dilanjutkan dengan menghitung *pressure drop* dengan menggunakan persamaan (2.5)

6. Perhitungan Kebutuhan Daya Kipas (*Fan Power*)

Untuk mengalirkan sejumlah udara melewati tahanan tambang, diperlukan daya mekanik dari kipas angin. Pengumpulan debit udara dan *pressure drop* berguna untuk menghitung *input power* yang digunakan. *Input power* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.6)

3.4.3 Analisis Data

Setelah seluruh data lapangan diolah menggunakan rumus-rumus di atas, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis secara mendalam dan sistematis. Analisis data dilakukan melalui pendekatan perbandingan dan evaluasi dengan langkah-langkah mudah sebagai berikut:

1. Analisis Kecukupan Kuantitas Udara

Peneliti akan membandingkan hasil perhitungan Debit Aktual (Q_{aktual}) di lapangan dengan Kebutuhan Udara Minimum (Q_{total}) sesuai regulasi keselamatan kerja tambang bawah tanah.

- a. Jika $Q_{\text{aktual}} \geq Q_{\text{total}}$, maka pasokan udara di dalam tambang dinilai aman dan mencukupi.
- b. Jika $Q_{\text{aktual}} \leq Q_{\text{total}}$ maka terjadi defisit (kekurangan) udara yang dapat membahayakan keselamatan pekerja. Peneliti akan mencari tahu di terowongan mana saja kekurangan ini terjadi.

2. Analisis Kualitas Udara Tambang

Data konsentrasi gas (CO , CO_2 , CH_4 , O_2) dan kondisi termal (suhu dan kelembapan) akan dievaluasi berdasarkan Ambang Batas Aman (NAB) yang berlaku. Analisis ini bertujuan memastikan bahwa udara yang dihirup oleh para pekerja bebas dari gas beracun dan suhunya tidak terlalu panas/lembab (mencegah risiko *heat stroke*).

3. Analisis Efektivitas dan Kebutuhan Daya Kipas

Kapasitas kipas yang terpasang saat ini (*Main Fan* dan *Blower*) akan dievaluasi kinerjanya. Peneliti menganalisis apakah daya poros (P_{shaft}) dan efisiensi kipas yang ada saat ini masih optimal untuk mengatasi tahanan tambang (R) yang semakin besar seiring

bertambah panjangnya lubang tambang.

4. Perumusan Rekomendasi dan Solusi Teknis

Apabila hasil analisis menunjukkan adanya kekurangan pasokan udara atau penurunan kinerja kipas, peneliti akan mensimulasikan beberapa solusi perbaikan. Solusi ini dapat berupa:

- a. Mengatur ulang arah aliran udara (*ventilation door/stopping*).
- b. Meningkatkan kecepatan putaran kipas angin utama.
- c. Mengganti atau menambahkan unit kipas bantu (*Blower*) baru dengan spesifikasi kapasitas daya yang lebih sesuai dengan kebutuhan tambang bawah tanah PT BA UPO.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengambilan data primer dan sekunder yang dilakukan di area tambang bawah tanah PT BA UPO pada periode bulan Maret hingga April 2026, Analisis difokuskan pada kualitas udara, kuantitas udara, evaluasi kebutuhan udara berdasarkan jumlah pekerja, serta kinerja kipas utama (*main fan*). Pada tambang bawah tanah Sawahluwung PT BA UPO menunjukkan bahwa sistem ventilasi masih berfungsi dengan baik meskipun tambang berada dalam massa perawatan. Jalur utama yang masih digunakan adalah Lubang Sawaluwung, yang memiliki beberapa lorong bercabang mengikuti lapisan batubara Ombilin. Lorong-lorong tersebut dulunya berfungsi sebagai jalur eksploitasi batubara, tetapi kini dialih fungsikan oleh Balai Diklat Tambang Bawah Tanah (BDTBT) sebagai media praktik bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi pertambangan.

4.1 Kondisi Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah

Sistem ventilasi pada tambang bawah tanah sangat bergantung pada jalur masuknya udara bersih (*intake airway*) dan jalur keluarnya udara kotor (*return airway*). Pada lokasi penelitian, udara bersih masuk melalui terowongan utama (Adit) yang dapat di lihat pada gambar 4.1.



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.1 Kondisi Bukaan Terowongan Utama (Adit)

Berdasarkan pengamatan di lapangan, jalur Adit dan area Mesin Induk memiliki dimensi penampang yang memadai untuk memfasilitasi aliran udara masuk. Dimensi terowongan yang terawat dengan baik meminimalkan tahanan udara (friksi), sehingga udara dapat didistribusikan secara optimal ke dalam *front* kerja.

4.1.1 Karakteristik Geometri Jalur Aliran Udara

Kondisi eksistensi sistem juga sangat dipengaruhi oleh geometri lubang bukaan. Berdasarkan data pengukuran penampang pada jalur Adit hingga Mesin Induk, terdapat variasi bentuk penampang yang didominasi oleh bentuk busur (*arch*) dan trapesium (Habim).

1. Luas Penampang (A): Data menunjukkan (Lampiran B) variasi luas penampang, misalnya pada area Adit sebesar $\pm 10,28 \text{ m}^2$ hingga area mesin induk yang menyempit menjadi $\pm 7,13 \text{ m}^2$. Perubahan luas penampang ini secara aerodinamis menimbulkan *shock loss* (kehilangan energi akibat perubahan arah atau luas) yang menambah beban hambatan aliran udara.
2. Kecepatan Aliran (V): Kecepatan udara diukur pada titik-titik strategis untuk memastikan sirkulasi tetap terjaga. Penurunan luas penampang pada jalur tertentu akan meningkatkan kecepatan udara secara lokal sesuai dengan hukum kontinuitas ($Q = A \times V$).

4.1.2 Struktur Jaringan Ventilasi Seri dan Paralel

Jaringan ventilasi di Unit Pertambangan Ombilin diklasifikasikan sebagai jaringan kompleks yang mengombinasikan hubungan seri dan paralel. Analisis terhadap struktur ini penting untuk memahami bagaimana kuantitas udara terbagi di dalam lubang bukaan:

1. Hubungan Seri (Jalur Utama): Konfigurasi antara jalur Adit sebagai akses masuk utama dan area Mesin Induk sebagai akses keluar utama terhubung dalam suatu sirkuit linier atau seri. Berdasarkan prinsip kontinuitas dalam dinamika fluida tambang, kuantitas debit udara (Q) yang mengalir melintasi koridor utama ini dijaga agar selalu konstan. Pendekatan sirkuit seri pada jalur utama ini berfungsi secara fundamental untuk

mengakomodasi total kapasitas volume udara tambang memastikan bahwa seluruh pasokan udara bersih.

2. Hubungan Paralel (Sistem Distribusi): Di dalam tambang, aliran udara dari jalur utama dibagi ke berbagai blok atau titik pertemuan (*junction*). Sistem distribusi paralel ini menguntungkan karena dapat menurunkan total *Resistance* jaringan secara keseluruhan, sehingga beban kerja kipas (50 HP) menjadi lebih ringan dibandingkan jika seluruh jalur dihubungkan secara seri.

4.1.3 Batasan Analisis Aerodinamika (*Pressure Drop* dan *Air Power*)

Dalam kajian ini, diakui adanya keterbatasan alat ukur lapangan untuk parameter tekanan (*pressure*), sehingga nilai *Pressure Drop* (P) dan *Resistance* spesifik (R) tidak dapat ditentukan secara empiris melalui pengukuran langsung.

Secara akademik, tanpa data *pressure drop*, perhitungan *Air Power* tidak dapat dilakukan secara utuh berdasarkan data lapangan. Oleh karena itu, analisis pada bab selanjutnya akan menitik beratkan pada evaluasi kuantitas udara (Q) dan optimalisasi kapasitas motor kipas (50 HP) terhadap kebutuhan volume udara minimal bagi personil dan pembersihan gas. Pendekatan ini tetap valid secara teknis untuk memastikan bahwa kapasitas kipas yang ada saat ini masih mampu melayani kebutuhan sirkulasi udara pada jaringan kompleks Ombilin meski tanpa data tekanan yang presisi.

4.2 Analisis Kuantitas Udara Tambang

Analisis kuantitas udara difokuskan pada pemenuhan kebutuhan pernapasan pekerja dan pengenceran gas tambang. Karena keterbatasan alat untuk mengukur kehilangan tekanan (*pressure drop*), evaluasi difokuskan pada pemenuhan debit udara aktual (Q) yang dihitung melalui perkalian kecepatan rata-rata (V) dengan luas penampang (A).

Penentuan kuantitas udara yang dialirkan ke dalam tambang bawah tanah merupakan parameter fundamental dalam menjamin keselamatan kerja, khususnya pada aspek pengendalian kualitas atmosfer tambang. Meskipun saat ini PT BA UPO

berada dalam masa perawatan (*maintenance*), penyediaan udara bersih tetap menjadi prioritas utama guna mencegah akumulasi gas berbahaya dan menjaga suhu kerja yang layak.

Kuantitas udara (Q) dihitung berdasarkan perkalian antara luas penampang terowongan (A) dan kecepatan aliran udara (V). Pengukuran kuantitas udara ini penting untuk memastikan volume udara yang masuk cukup untuk mengencerkan emisi gas dan memberikan udara segar bagi pekerja.

Berdasarkan hasil perhitungan data dari lapangan, ringkasan kuantitas udara pada jalur utama adalah sebagai berikut:

1. Jalur Adit (Udara Masuk)
 - a. Luas penampang (A) : 10,28 m²
 - b. Kecepatan rata-rata (V) : 1,06 m/s
 - c. Kuantitas udara (Q) : 10,85 m³/s
2. Mesin Induk
 - a. Luas penampang (A) : 7,13 m²
 - b. Kecepatan rata-rata (V) : 1,56 m/s
 - c. Kuantitas udara (Q) : 11,15 m³/s

Sedangkan untuk aliran udara di dalam lubang (distribusi), kuantitas udara menunjukkan angka yang stabil, berkisar antara 10,91 m³/s (Adit-J4) hingga 11,09 m³/s (J7-J14-J37). Hal ini menunjukkan tidak adanya kebocoran udara (*leakage*) yang signifikan pada jalur distribusi utama.

4.2.1 Analisis Kualitas Udara Tambang

Kualitas udara merupakan parameter kritis yang menentukan keselamatan dan kesehatan pekerja di dalam tambang bawah tanah. Parameter kualitas udara yang diamati meliputi konsentrasi gas oksigen (O₂), gas beracun/mudah terbakar (CH₄, CO, H₂S), serta kondisi temperatur dan kelembapan relatif (RH). Pada tabel 4.1 menampilkan perbandingan standar regulasi dengan data yang ada dilapangan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan Kualitas Udara Aktual dengan Standar Regulasi

Parameter	Satuan	Standar (Kepmen 1827)	Hasil Pengukuran (Rata-rata)	Keterangan
Oksigen	%	Min. 19,5	20,9	Memenuhi
Metana	%	Maks. 0,25	0,00	Aman
Karbon Monoksida	%	Maks. 0,005	0,00	Aman
Hidrogen Sulfida	%	Maks. 0,001	0,00	Aman
Suhu Kering	%	Maks 18-24	25-27	Melebihi Ambang
Kelembapan	%	Maks. 85	91-93	Melebihi Ambang

Sumber : Penulis, 2026

Berdasarkan Pengukuran kualitas udara di Adit dan Mesin Angin PT BA UPO (Maret - April 2026) menunjukkan kondisi gas tambang yang sangat aman. Kadar O₂ konsisten pada angka 20,9%, memenuhi batas minimal 19,5% yang ditetapkan Kepmen ESDM No. 1827 K/MEM/2018. Hasil pengukuran parameter gas tersebut dipantau secara langsung menggunakan perangkat deteksi digital portabel. Kondisi riil dari pembacaan instrumen saat pengambilan data di lapangan dapat dilihat pada gambar 4.2



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.2 *Gas Detector*

Selain itu, deteksi gas berbahaya seperti Metana (CH_4), Karbon Monoksida (CO), dan Hidrogen Sulfida (H_2S) menunjukkan angka 0,00%. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem ventilasi selama masa perawatan mampu melakukan pengenceran (*dilution*) dengan sangat efektif, sehingga risiko keracunan gas maupun potensi ledakan gas metana di area tersebut dapat diminimalisir sepenuhnya. Untuk mengukur tingkat suhu dan kelembapan udara secara akurat, digunakan alat ukur manual berupa *sling psychrometer* dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.3 *Sling Psychrometer*

Berdasarkan pengukuran di lapangan pada parameter iklim kerja, ditemukan bahwa Suhu Kering (T_d) rata-rata berkisar antara 25°C hingga 27°C dengan Kelembapan Relatif (RH) yang cukup tinggi mencapai 93%. Jika merujuk pada regulasi, kondisi ini berada di atas ambang suhu nyaman ($18\text{--}24^\circ\text{C}$) dan batas kelembapan maksimal (85%). Kelembapan yang tinggi ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisi alamiah lubang tambang yang lembap dikarenakan air tanah dan sirkulasi udara yang difokuskan pada pemeliharaan struktur, bukan pada pendinginan ruang kerja aktif. Kehadiran genangan air atau air tanah di dalam area tambang bawah tanah memiliki pengaruh langsung yang signifikan terhadap keselamatan dan kenyamanan pekerja. Air tanah tersebut menyebabkan peningkatan kelembapan udara secara

drastis, yang pada akhirnya membuat suhu terasa (*sensible heat*) di ruang kerja menjadi jauh lebih panas bagi tubuh manusia. Berdasarkan data aktual, kondisi ini menyebabkan tingkat kelembapan relatif (RH) mencapai angka 91-93% dengan suhu kering rata-rata berkisar antara 25-27°C. Angka tersebut secara jelas telah melampaui ambang batas keselamatan yang ditetapkan dalam Kepmen ESDM No. 1827 K/MEM/2018, di mana standar untuk suhu nyaman berada pada rentang 18-24°C dan batas maksimal kelembapan adalah 85%.

4.2.2 Kebutuhan Udara untuk Pernapasan Personil

Fungsi utama ventilasi adalah menyuplai oksigen demi metabolisme personil di bawah tanah. Merujuk pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/MEM/2018, standar minimal kebutuhan udara bersih bagi setiap pekerja adalah 0,03 m³/detik per orang (atau setara 2 m³/menit per orang).

Penentuan jumlah personil (n) pada analisis ini, didasarkan pada kapasitas maksimal tim teknis yang melakukan inspeksi rutin pada satu gilir kerja (*Shift*). Berdasarkan rekapitulasi data kehadiran pekerja pada bulan Maret 2026, jumlah pekerja terbanyak dalam satu *Shift* (*Shift Pagi*) terjadi pada tanggal 10 Maret 2026 dengan rincian:

1. Perbaikan penyangga di Galery 3 : 4 orang
2. Perawatan Isapan Pompa : 4 orang
3. Mekanik Pompa : 2 orang
4. Anak Magang : 5 orang
5. Pendamping : 1 orang

Total Pekerja Maksimal: 16 Orang

Perhitungan kebutuhan udara minimum untuk pekerja (Q_{butuh}) di hitung dengan persamaan 4.1 berikut :

$$Q = \text{Jumlah orang} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots 4.1$$

$$Q = 16 \text{ orang} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,48 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Berdasarkan perhitungan di atas, suplai udara minimum yang dibutuhkan untuk menunjang aktivitas pernapasan pekerja adalah $0,48 \text{ m}^3/\text{s}$. Meskipun jumlah personil pada masa perawatan relatif lebih sedikit dibandingkan masa produksi, sistem ventilasi harus tetap mampu mendistribusikan udara secara merata hingga ke titik terjauh guna menghindari adanya area mati (*dead end*) yang berisiko bagi petugas inspeksi.

4.2.3 Spesifikasi dan Kebutuhan Udara Berdasarkan Peralatan

Suplai udara pada sistem ventilasi juga harus mengakomodasi kebutuhan operasional peralatan mekanis yang aktif selama masa perawatan, yaitu mesin kipas utama dan instalasi pompa air (*dewatering*). Secara teoritis, kebutuhan udara untuk peralatan mesin ini dikalkulasikan berdasarkan besaran daya motor HP (*Horse Power*) dengan standar umum pemenuhan suplai minimal sebesar $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk setiap 1 HP. Perhitungan total kebutuhan udara minimum berdasarkan spesifikasi masing-masing peralatan adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{total}} = \text{Daya Mesin (HP)} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots 4.2$$

1. Main Fan (*Blower*) 50 HP

$$Q = 50 \text{ HP} \times 0,03$$

$$Q = 1,50 \text{ m}^3/\text{s}.$$

2. Pompa 22 KW

22 KW di konversi ke HP

$$22 \times 1,341 = 29,5 \text{ HP}$$

$$Q = 29,5 \text{ HP} \times 0,03$$

$$Q = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3. Pompa 11 KW

11 KW di konversi ke HP

$$11 \times 1,341 = 14,75 \text{ HP}$$

$$Q = 14,75 \text{ HP} \times 0,03$$

$$Q = 0,44 \text{ m}^3/\text{s}.$$

4. Pompa 30 KW

30 KW di konversi ke HP

$$30 \times 1,341 = 40,23 \text{ HP}$$

$$Q = 40,23 \text{ HP} \times 0,03$$

$$Q = 1,21 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Per Alat } Q_{\text{total}} &= 1,50 + 0,44 + 0,89 + 1,21 \\ &= 4,04 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

Perhitungan menunjukkan bahwa total kebutuhan udara untuk mengimbangi panas yang dihasilkan oleh seluruh peralatan mekanis di area perawatan adalah sebesar 4,04 m³/detik. Nilai tersebut merupakan hasil akumulasi dari kebutuhan udara satu unit blower berkapasitas 50 HP serta tiga unit pompa air yang beroperasi dengan kapasitas daya berbeda.

4.3 Performa dan Efektivitas Kipas Utama (*Main Fan*)

Evaluasi terhadap performa kipas ventilasi yang digunakan untuk memastikan bahwa sistem *air flow* pada Unit Pertambangan Ombilin berjalan sesuai dengan standar keselamatan kerja. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan spesifikasi teknis alat dengan kondisi lingkungan kerja aktual di lapangan.

Berbekal parameter kebutuhan udara yang telah ditentukan pada subbab sebelumnya, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap performa kipas utama yang dioperasikan di Unit Pertambangan Ombilin. Analisis ini bertujuan untuk menilai sejauh mana kemampuan mekanis kipas berdaya 50 HP dalam mengatasi hambatan jaringan dan memenuhi target kuantitas udara di seluruh titik pantau, mulai dari Adit hingga ke Mesin Induk. Sistem ventilasi mekanis digerakkan oleh kipas utama (*main fan*) yang bertugas menarik atau mendorong udara melewati jaringan terowongan gambar 4.4.



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.4 Kipas Utama (*Main Fan*) Sistem Ventilasi

Apabila kita membandingkan antara ketersediaan (suplai) udara yang dihasilkan oleh kipas dengan kebutuhan aktual di dalam tambang:

- a. Total suplai udara (Q_{masuk}) : $10,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (dari pengukuran di Adit).
- b. Total kebutuhan udara pekerja dan peralatan (Q_{butuh}) : $4,52 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dari hasil perbandingan tersebut, terlihat jelas bahwa kapasitas volume udara yang dialirkan oleh kipas utama ($10,85 \text{ m}^3/\text{s}$) jauh lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan dasar untuk pernapasan pekerja ($4,52 \text{ m}^3/\text{s}$). Sisa kuantitas udara yang besar tersebut difungsikan secara efektif untuk:

1. Mengencerkan akumulasi gas metana atau gas berbahaya di area inspeksi rutin.
2. Menjaga stabilitas batuan dan penyangga dengan mengontrol suhu serta kelembapan (mencegah pelapukan).
3. Menjamin keselamatan tim perawatan yang melakukan inspeksi pompa (*dewatering*), kelistrikan, dan struktur.
4. Menyediakan cadangan udara untuk operasional peralatan mekanis selama proses pemeliharaan.

4.3.1 Kapasitas Mekanis dan Putaran Kipas

Pada sistem ventilasi di Unit Ombilin, pusat penggerak udara bertumpu pada unit kipas utama (*main fan*). Berdasarkan data teknis yang diperoleh dari lapangan, spesifikasi unit mesin angin yang digunakan bisa dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Spesifikasi Teknis Mesin Angin Utama (Main Fan)

<i>Type Fan</i>	<i>Bifurcated Axial</i>
<i>Type Impeler</i>	<i>Steel Aeropil</i>
Putaran Fan	2.947 RPM
Daya Fan	37.5 KW
Tegangan	525 Volt/1.050 Volt
Buatan	<i>Brush Electical Machines. Ltd</i>

Sumber : Penulis, 2026

Unit kipas utama yang digunakan adalah tipe *Bifurcated Axial* dengan motor penggerak berkekuatan 37,5 KW atau setara dengan 50 HP. Berdasarkan spesifikasi teknis, kipas ini beroperasi pada putaran tinggi yaitu 2.947 RPM. Secara teoritis, putaran RPM yang tinggi pada kipas aksial dirancang untuk menghasilkan perbedaan tekanan yang besar guna menarik volume udara dalam jumlah masif. Penggunaan tipe *Bifurcated* memberikan keunggulan performa pada tambang batubara seperti Ombilin, karena motor penggerak berada di luar aliran udara utama (*out of airstream*). Hal ini memastikan bahwa jika terjadi kenaikan konsentrasi gas metana atau debu batubara di jalur keluar (Mesin Induk), motor tetap terlindungi dari risiko kerusakan atau percikan api, sehingga reliabilitas sistem ventilasi tetap terjaga pada level maksimal.

4.3.2 Analisis Kinerja Sistem Paralel-Tunggal (*Standby System*)

Berdasarkan data lapangan, terdapat dua unit kipas dengan kapasitas masing-masing 50 HP yang dipasang secara berdampingan di dalam satu Rumah Kipas (*Fan House*). Penempatan ini secara teoretis merupakan konfigurasi paralel. Namun, dalam operasional aktualnya, sistem ini menerapkan prinsip *redundancy* (cadangan), di mana hanya satu unit kipas yang diaktifkan secara tunggal, sementara unit lainnya dalam posisi *standby*. Secara teknis, penempatan kedua unit kipas tersebut diatur sedemikian rupa dalam satu struktur permanen guna memudahkan proses pemeliharaan dan pergantian operasional. Visualisasi instalasi fisik kedua unit kipas di dalam area rumah kipas tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.5 berikut.



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.5 Rumah Kipas

Meskipun secara instalasi fisik merupakan hubungan paralel, operasional aktual yang menerapkan sistem satu unit aktif dan satu unit cadangan (*standby*) memiliki implikasi teknis tersendiri:

1. Optimasi Konsumsi Energi: Pengoperasian satu unit kipas tunggal merupakan strategi efisiensi yang tepat pada masa perawatan, mengingat beban kerja sirkulasi udara tidak seberat pada masa produksi aktif.
2. Keamanan Operasional: Keberadaan unit cadangan yang identik menjamin bahwa jika terjadi kegagalan mekanis pada kipas utama, transisi aliran udara dapat dilakukan dengan cepat tanpa menyebabkan stagnasi gas di bawah tanah.
3. Keseimbangan Distribusi: Karena jalur utama terhubung secara seri dengan Mesin Induk, satu unit kipas 50 HP harus mampu memberikan daya hisap yang cukup untuk menarik udara melalui seluruh percabangan paralel di *junction* J2, J4, hingga J38.

4.3.3 Dampak Penampang Kritis (7,13 m²) Terhadap Beban Kerja Kipas

Salah satu temuan krusial dalam analisis performa ini adalah keberadaan penampang terkecil sebesar 7,13 m² pada jalur J38 menuju Mesin Induk. Secara aerodinamika tambang, penyempitan penampang tepat sebelum udara memasuki kipas hisap menciptakan fenomena tekanan balik atau peningkatan hambatan statis. Untuk memperoleh data yang akurat mengenai besaran hambatan tersebut, dilakukan pengukuran dimensi penampang terowongan secara langsung di lapangan. Pengukuran ini menggunakan alat ukur mekanis (meteran) untuk memastikan setiap parameter geometri terowongan terdata dengan presisi, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.6.



Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.6 Meteran

Kondisi aktual geometri terowongan pada jalur Mesin Induk dan area Adit menunjukkan adanya variasi bentuk penampang yang secara langsung memengaruhi kelancaran aliran udara. Dokumentasi visual mengenai kondisi fisik dan struktur penyangga pada area-area kritis tersebut disajikan dalam gambar di bawah ini sebagai landasan analisis aerodinamika dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.



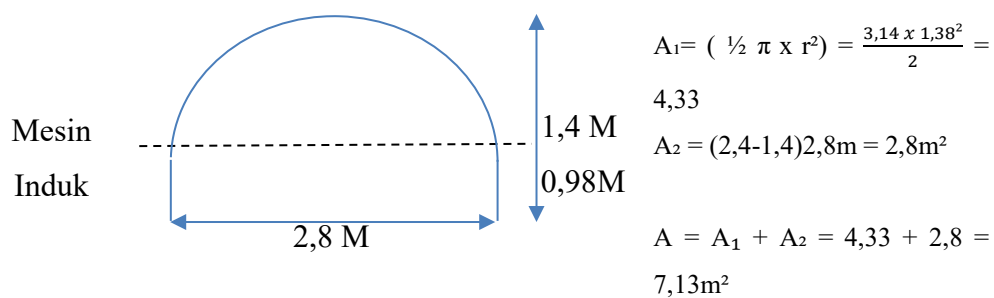
Sumber: Penulis, 2026

Gambar 4.7 (a) Adit (b) Mesin Induk

Berdasarkan data dimensi yang telah diperoleh melalui pengukuran langsung, dilakukan pemodelan matematis untuk menghitung luas penampang efektif pada setiap titik pantau. Berikut adalah tabel ringkasan perhitungan luas penampang pada lokasi Adit yang menggunakan pendekatan geometri dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Geometri Luas Penampang Antar Adit dan Mesin Induk

Lokasi	Bentuk Penampang	Perhitungan Luas Penampang /A (m ²)
Adit		$A_1 = \left(\frac{1}{2} \pi \times r^2 \right) = \frac{3,14 \times 2^2}{2} = 6,28$ $A_2 = (2-1) 4m = 4m^2$ $A = A_1 + A_2 = 6,28 + 4 = 10,28m^2$



Sumber : Penulis, 2026

Berdasarkan hukum ventilasi, besar hambatan (*Resistance*) berbanding terbalik dengan pangkat lima dari jari-jari atau luas penampang. Dengan luas hanya 7,13 m² (dibandingkan Adit 10,28 m²), area ini menjadi *bottleneck* utama yang memaksa kipas bekerja lebih keras. Kecepatan udara yang meningkat tajam di area ini menyebabkan kehilangan energi akibat turbulensi. Namun, berkat daya motor yang cukup besar (50 HP) dan putaran 2.947 RPM, kipas mampu mempertahankan momentum aliran sehingga suplai udara di area Adit dan jalur distribusi lainnya tetap stabil dan tidak terjadi aliran balik (*recirculation*).

4.3.4 Analisis Efektivitas Dilusi Berdasarkan Data Gas

Indikator keberhasilan performa kipas dapat dilihat dari kualitas atmosfer tambang yang dihasilkan. Berdasarkan data pengukuran pada bulan Maret 2026, konsentrasi gas Metana (CH₄) dan Karbon Monoksida (CO) pada lokasi Adit-Mesin Induk berada pada angka 0%.

Data ini menunjukkan bahwa performa kipas 50 HP saat ini sangat efektif dalam melakukan tugas dilusi. Meskipun terdapat hambatan geometri (penampang sempit), kuantitas udara yang ditarik masih berada di atas ambang batas minimal yang diperlukan untuk mengencerkan gas-gas tambang. Keberhasilan ini mengonfirmasi bahwa pemilihan spesifikasi kipas *Bifurcated Axial* dengan putaran 2.947 RPM sudah sesuai dengan karakteristik beban jaringan di Unit Ombilin pada kondisi saat ini

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil observasi lapangan, pengumpulan data primer, dan analisis evaluatif yang telah dilakukan terhadap sistem ventilasi tambang bawah tanah (*air flow*) di PT BA UPO selama masa perawatan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama. Kesimpulan ini dirumuskan secara khusus untuk menjawab ketiga rumusan masalah yang telah ditetapkan pada penelitian ini, yaitu:

1. Sistem ventilasi di PT BA UPO selama masa perawatan berada dalam kondisi yang sangat efektif dalam menjaga kualitas udara dari gas berbahaya, di mana kandungan Metana (CH_4) dan Karbon Monoksida (CO) konsisten pada angka 0,00% serta Oksigen (O_2) stabil pada 20,9%. Namun, dari sisi iklim kerja, kondisi suhu kering ($25\text{--}27^\circ\text{C}$) dan kelembapan relatif (93%) saat ini telah melampaui ambang batas kenyamanan dan keselamatan yang diatur dalam Kepmen ESDM No. 1827 K/MEM/2018.
2. Kuantitas udara yang dialirkan saat ini masih mencukupi untuk kebutuhan pengenceran (*dilution*) gas-gas tambang guna mencegah akumulasi gas berbahaya meskipun tambang tidak beroperasi aktif. Meskipun demikian, terdapat hambatan geometri berupa penyempitan luas penampang (*bottleneck*) di area mesin induk sebesar $7,13 \text{ m}^2$ yang menyebabkan terjadinya turbulensi dan kehilangan energi (*pressure drop*), sehingga aliran udara tidak seoptimal jika dibandingkan dengan area Adit yang memiliki luas $10,28 \text{ m}^2$.
3. Kapasitas kipas utama yang terpasang terdiri dari dua unit tipe *Bifurcated Axial* dengan kekuatan motor masing-masing 50 HP (37,5 KW) yang beroperasi pada putaran tinggi 2.947 RPM. Sistem ini menerapkan konfigurasi cadangan (*standby system*) di mana hanya satu kipas yang dioperasikan untuk menjaga kestabilan aliran, yang terbukti masih mampu mempertahankan momentum aliran udara meskipun terdapat hambatan pada jaringan ventilasi.

5.2 Saran

Sehubungan dengan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, maka saran-saran yang dapat diajukan untuk meningkatkan efektivitas sistem ventilasi di PT BA UPO adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan disarankan untuk melakukan evaluasi intensif terhadap sistem penyaliran air (*dewatering*) di area lubang tambang guna menekan tingkat kelembapan di J6 yang mencapai 93%. Secara teknis, kelembapan yang terlalu tinggi tidak hanya mengurangi kenyamanan pekerja perawatan, tetapi juga mempercepat laju korosi pada infrastruktur penyangga besi dan peralatan mekanis. Dengan mengontrol genangan air tanah, perusahaan dapat menurunkan beban panas laten di dalam tambang, sehingga memperpanjang umur pakai fasilitas perawatan.
2. Disarankan bagi pengelola tambang untuk melakukan perataan dinding atau sedikit memperluas area penyempitan (*bottleneck*) mesin induk yang hanya seluas 7,13 m². Berdasarkan prinsip mekanika fluida, hambatan aliran berbanding terbalik dengan luas penampang. Dengan meminimalkan penyempitan, hambatan (*resistance*) udara akan berkurang sehingga kipas tidak perlu bekerja ekstra keras untuk melawan turbulensi. Hal ini akan meningkatkan efisiensi energi listrik dan mengurangi risiko keausan dini pada komponen motor kipas 50 HP.
3. Manajemen operasional disarankan untuk membuat jadwal rotasi pengoperasian yang terjadwal antara unit kipas utama yang aktif dengan unit yang berada dalam posisi *standby*. Pengoperasian satu unit secara terus-menerus sementara unit lainnya dibiarkan mati dalam waktu lama dapat menyebabkan kekakuan mekanis atau kerusakan akibat kelembapan pada motor cadangan. Rotasi berkala akan memastikan kedua mesin tetap dalam kondisi prima dan siap digunakan kapan saja jika terjadi kegagalan sistem pada salah satu unit, sehingga keandalan sistem ventilasi tetap terjaga 100%.

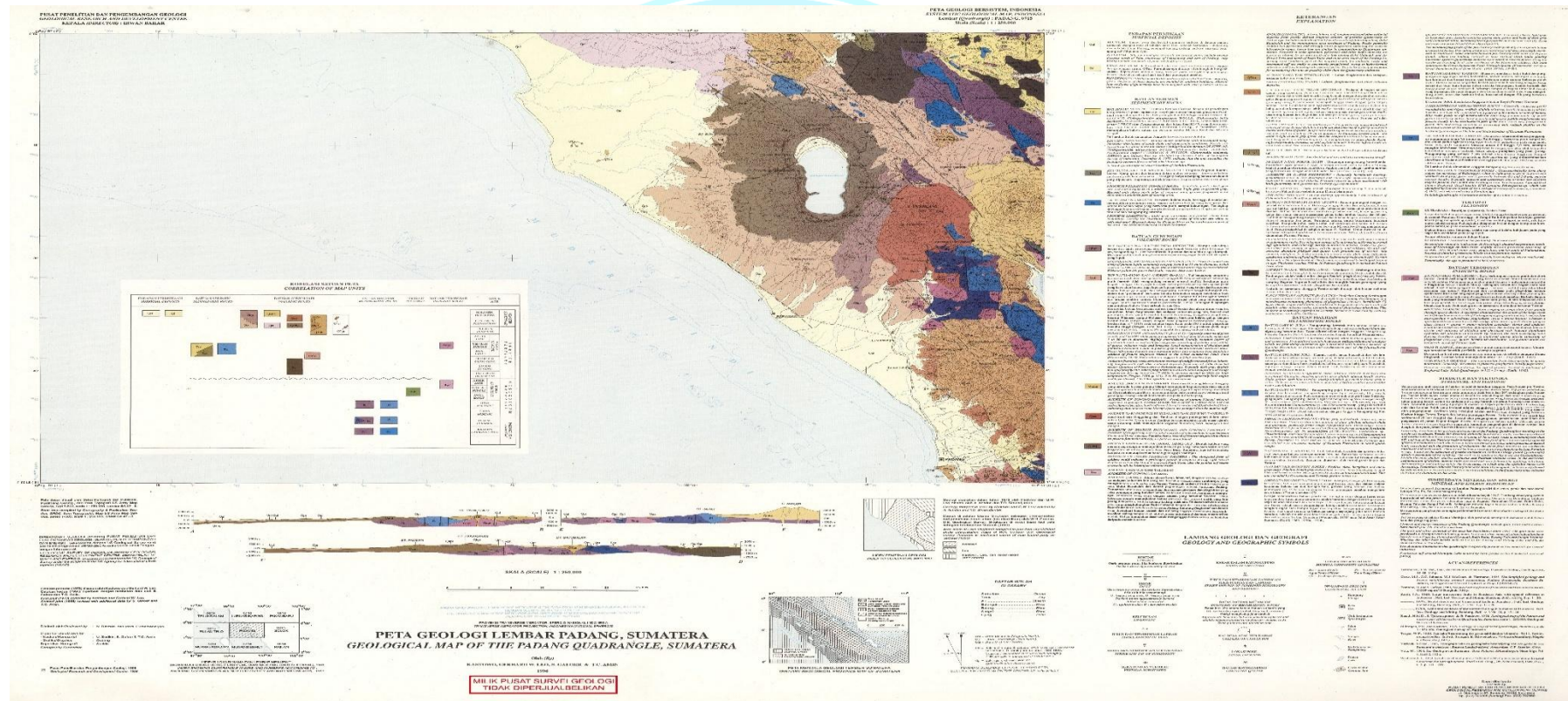
DAFTAR PUSTAKA

- Amrinsyah. (2018). *Analisis pengaruh kecepatan aliran udara terhadap penurunan temperatur efektif pada alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah*. Jurnal Bina Tambang, 4(1).
- Asmunandar, A., & Andi, et al. (2017). *Analisis sistem ventilasi tambang bawah tanah dengan fan utama dan fan bantu*. Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Aulia. (2020). *Evaluasi sistem ventilasi tambang bawah tanah terhadap kualitas udara kerja*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Dwi Saputra, A. (2019). *Analisis kinerja kipas utama pada tambang bawah tanah Toguraci di PT. Nusa Halmahera Minerals, Maluku Utara*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Faisal. (2020). *Analisis kinerja sistem ventilasi hisap pada tambang bawah tanah*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Hartami. (2020). *Analisis perhitungan energi kipas pada sistem ventilasi tambang bawah tanah*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Larasati, B. (2020). *Evaluasi Kebutuhan Udara Front Kerja Di Blok Cikoneng, Pt Cibaliung Sumberdaya Menggunakan Perangkat Lunak Ventsim 5.2*. Indonesian Mining And Energy Journal, 23 - 27.
- Nata, A., & Nanda, R. (2019). *Kajian ventilasi tambang bawah tanah*. Jurnal Pertambangan Indonesia, 5(2), 55–63.
- Oktavianingsih, D., & Heriyadi, B. (2021). *Analisis sistem ventilasi tambang bawah tanah pada PT. XYZ*. Jurnal Bina Tambang, 7(2), 45–53.
- Permata, I. (2017). *Analisis perencanaan tambang bawah tanah dengan pendekatan geoteknik, ekonomi, dan keselamatan kerja*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Rabbani, Rafid, and Elfida Moralista. "Kajian Perubahan Kuantitas Udara pada Sistem Ventilasi Area Penambangan Kubang Kicau di PT Antam TbkUBPE Pongkor, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat." *Bandung Conference Series: Mining Engineering*. Vol. 2. No. 2. 2022.

- Refky Adi Nata, H. F. (2019). Analysis on Ventilation System in Holes C1 Underground Mines of PT. Nusa Alam Lestari. *Jurnal GEOSAPTA*, Vol. 5 No. 2, 7-8.
- Rustiyanto, P. A. (2024). *Analisis sistem ventilasi tambang bawah tanah daerah Bojong Deet Sukabumi*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Saputra, A. D. (2024). *Analisis sistem ventilasi tambang bawah tanah pada tambang batu bara daerah Sumatera Selatan*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Sriyanti. (2021). *Analisis perubahan energi mekanik kipas terhadap distribusi udara di tambang bawah tanah*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Sunardi, E. (2020). Karakteristik Geokimia Batuan Induk Formasi Sangkarewang dan Sawahtambang, Cekungan Ombilin. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 252–260.
- Suryanegara, R., & Hidayat, A. (2020). *Analisis stabilitas pilar batu bara pada metode room and pillar di tambang bawah tanah*. *Jurnal Teknik Pertambangan Indonesia*, 6(1), 23–31.
- Widiatmojo, A. (2020). *Analisis tahanan aliran udara pada sistem ventilasi tambang bawah tanah*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indonesia.
- Widiatmojo, A., Widodo, N. P., & Sasaki, K. (2021). Metode Gas Tracer Untuk Evaluasi Efisiensi Ventilasi Tambang Bawah Tanah. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 3(1), 1-8.
- Yulianti, R., Widodo, N. P., & Gautama, R. S. (2021). *Kondisi resirkulasi udara terhadap penurunan sumber panas di dalam tambang bawah tanah*. *Jurnal Geomine*, 8(3), 45–53.
- Yulianti. (2018). *Pedoman identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian risiko pada kegiatan usaha pertambangan*. (Dikutip dalam Rustiyanto, P. A. (2024). *Analisis sistem ventilasi tambang bawah tanah daerah Bojong Deet Sukabumi*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.)
- Yuniartol. (2020). *Analisis sistem ventilasi rangkaian seri pada tambang bawah tanah*. Skripsi, Fakultas Teknik Pertambangan, Universitas di Indo

LAMPIRAN A

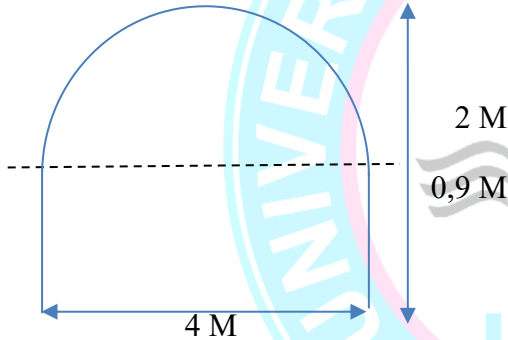
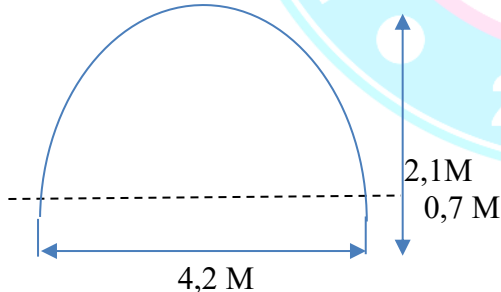
Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Barat

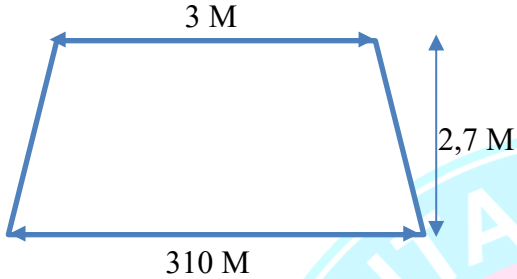
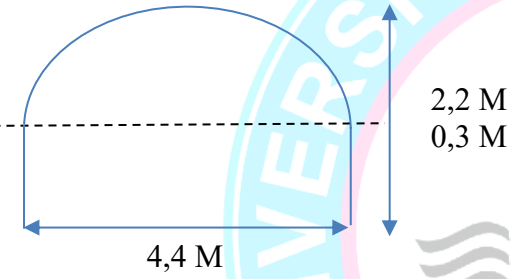
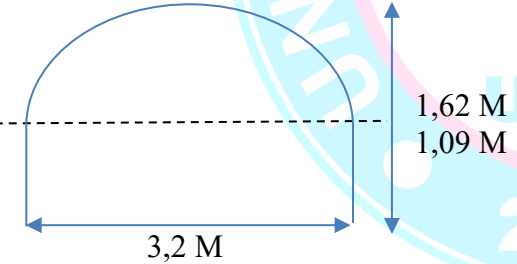


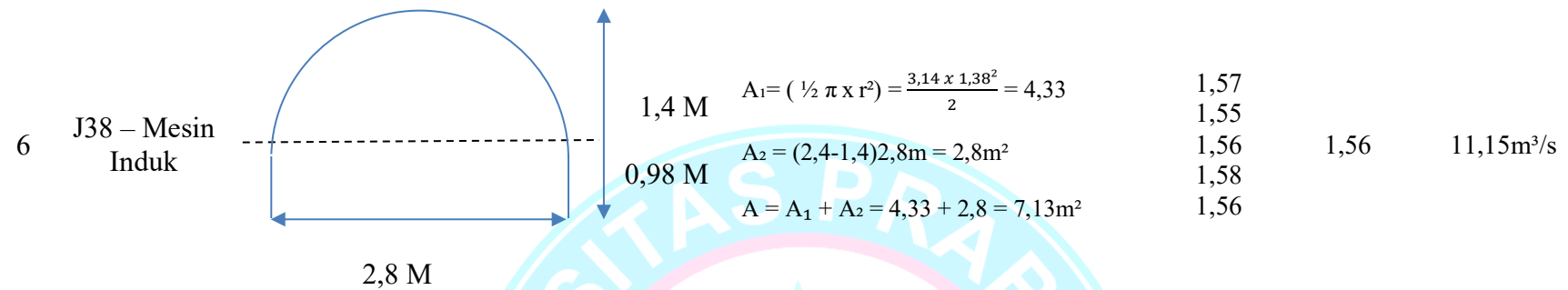
Sumber: Geologi ESDM, 1996

LAMPIRAN B

Tabel Kuantitas Udara Pada Tambang Dalam Sawahluwung Maret 2026

NO	Lokasi	Bentuk Penampang	Perhitungan Luas Penampang / A (m ²)	Kecepatan (m/s)			Kuantitas (VxA) (m ³ /s)
				V	Rata Rata	-	
1	Adit		$A_1 = \left(\frac{1}{2} \pi \times r^2 \right) = \frac{3,14 \times 2^2}{2} = 6,28$ $A_2 = (2-1) 4m = 4m^2$ $A = A_1 + A_2 = 6,28 + 4 = 10,28m^2$	1,06 1,04 1,07 1,05 1,06	1,06	-	10,85m ³ /s
2	Adit – J4		$A_1 = \left(\frac{1}{2} \pi \times r^2 \right) = \frac{3,14 \times 2,15^2}{2} = 6,75$ $A_2 = (2,8-2,1) 4,2m = 2,94m^2$ $A = A_1 + A_2 = 6,75 + 2,8 = 9,69m^2$	1,12 1,14 1,11 1,13 1,13	1,13	-	10,91m ³ /s

3	J4 – J2		$A = \frac{a+b}{2} (h)$			
			$A = \frac{3m+3,10m}{2} \times 2,7$	1,32		
			$A = \frac{6,10}{2} \times 2,7$	1,34		
				1,35	1,33	10,97m³/s
			$A = 8,23m^2$	1,33		
4	J2 – J5 – J6		$A_1 = (\frac{1}{2} \pi \times r^2) = \frac{3,14 \times 2,2^2}{2} = 6,90$	1,35		
			$A_2 = (2,5-2,2) 4,4m = 1,32m^2$	1,34		
			$A = A_1 + A_2 = 6,90 + 1,32 = 8,22m^2$	1,34	1,34	11,03m³/s
				1,36		
				1,33		
5	J7 – J14 – J37		$A_1 = (\frac{1}{2} \pi \times r^2) = \frac{3,14 \times 1,62^2}{2} = 5,08$	1,31		
			$A_2 = (2,69-1,6) 3,2m = 3,48m^2$	1,29		
			$A = A_1 + A_2 = 5,08 + 3,48 = 8,56m^2$	1,30	1,30	11,09m³/s
				1,32		
				1,28		



Sumber: Penulis, 2026



LAMPIRAN C

Konsentrasi Gas Pada Lokasi Adit

TANGGAL	Shift Pagi				Temperatur		RH (%)
	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	Td	Tw	
10 Maret 2026	0	0	20.9	0	25	24	91
11 Maret 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
12 Maret 2026	0	0	20.9	0	25	24	91
13 Maret 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
16 Maret 2026	0	0	20.9	0	27	26	93
17 Maret 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
25 Maret 2026	0	0	20.9	0	27	26	93
26 Maret 2026	0	0	20.9	0	25	24	91
27 Maret 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
30 Maret 2026	0	0	20.9	0	27	26	93
31 Maret 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
1 April 2026	0	0	20.9	0	25	24	91
2 April 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
6 April 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
7 April 2026	0	0	20.9	0	25	24	91
8 April 2026	0	0	20.9	0	26	25	92
9 April 2026	0	0	20.9	0	27	26	93
10 April 2026	0	0	20.9	0	26	25	92

Sumber: Penulis, 2026

Konsentrasi Gas Pada Lokasi Adit-J4

TANGGAL	Shift Pagi				Temperatur		RH (%)
	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	Td	Tw	
10 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
11 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
12 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
13 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
16 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
17 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
25 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
26 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
27 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
30 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
31 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
1 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
2 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
6 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
7 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
8 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
9 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
10 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92

Sumber: Penulis, 2026

Konsentrasi Gas Pada J4-J2

TANGGAL	Shift Pagi				Temperatur		RH (%)
	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	Td	Tw	
10 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
11 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
12 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
13 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
16 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
17 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
25 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
26 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
27 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
30 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
31 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
1 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
2 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
6 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
7 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
8 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
9 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
10 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92

Sumber: Penulis, 2026

Konsentrasi Gas Pada J2-J5-J6

TANGGAL	Shift Pagi				Temperatur		RH (%)
	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	Td	Tw	
10 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
11 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
12 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
13 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
16 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
17 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
25 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
26 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
27 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
30 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
31 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
1 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
2 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
6 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
7 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
8 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
9 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
10 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93

Sumber: Penulis, 2026

Konsentrasi Gas Pada J7-J14-J37

TANGGAL	Shift Pagi				Temperatur		RH (%)
	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	Td	Tw	
10 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
11 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
12 Maret 2026	0	0	20,9	0	28	27	93
13 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
16 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
17 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
25 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
26 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
27 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
30 Maret 2026	0	0	20,9	0	28	27	93
31 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
1 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
2 April 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
6 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
7 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
8 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
9 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
10 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91

Sumber: Penulis, 2026

Konsentrasi Gas Pada J38-Mesin Induk

TANGGAL	Shiift Pagi				Temperatur		RH (%)
	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	Td	Tw	
10 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
11 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
12 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
13 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
16 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
17 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
25 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
26 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
27 Maret 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
30 Maret 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
31 Maret 2026	0	0	20,9	0	27	26	93
1 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
2 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
6 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
7 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
8 April 2026	0	0	20,9	0	25	24	91
9 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92
10 April 2026	0	0	20,9	0	26	25	92

Sumber: Penulis, 2026

LAMPIRAN D

Tabel Data Pekerja 10 Maret - 10 April 2026

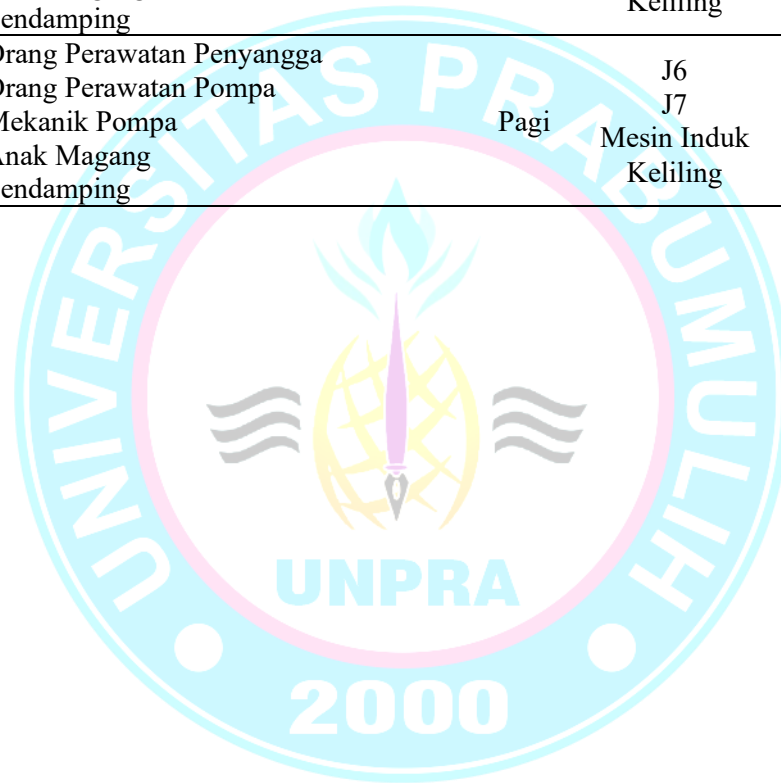
TANGGAL	Jumlah Pekerja	Posisi	Shift	Lokasi Kerja	Jam Masuk	Jam Keluar	Catatan Keselamatan
10 Maret 2026	19	4 Perbaikan penyanggaan di Galery 3 5 Orang perawatan isapan pompa 4 Mekanik pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J2 J6 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
11 Maret 2026	17	5 Pengelasan isapan pompa 4 Pemasangan tiang di Galery 3 2 Mekanik pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J2 J6 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
12 Maret 2026	16	3 Pemantauan opsional di area Galery 5 Pemasangan pompa isap 3 Mekanik pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J4-J2 J6 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
13 Maret 2026	16	3 Perawatan saluran air bersih 3 Pembersihan suction (isapan) pompa 4 Mekanik pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
16 Maret 2026	16	4 Orang penyanggaan 4 Orang perawatan pompa	Pagi	J6 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap

		2 Mekanik pompa 5 Anak magang 1 Pendamping						
17 Maret 2026	16	4 Orang penyambungan kabel aliran 4 Orang perawatan di lobang pendidikan 2 Mekanik pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J14 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap	
25 Maret 2026	16	3 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 3 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J38 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap	
26 Maret 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 5 Orang Perawatan Pompa 3 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap	
27 Maret 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap	
30 Maret 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap	

31 Maret 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
1 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
2 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
6 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
7 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J38 Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
8 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Mesin Induk Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap

9 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Mesin Induk Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap
10 April 2026	16	4 Orang Perawatan Penyangga 4 Orang Perawatan Pompa 2 Mekanik Pompa 5 Anak Magang 1 Pendamping	Pagi	J6 J7 Mesin Induk Keliling	07.30	14.00	APD Lengkap

Sumber: PT BA UPO, 2026



LAMPIRAN E

Dokumentasi Lokasi Pengambilan Data



Lokasi ini merupakan titik awal masuknya aliran udara bersih (*intake*) ke dalam sistem ventilasi tambang untuk memenuhi keperluan pernafasan pekerja dan pengenceran gas.

Sumber: Penulis, 2026

Gambar Lokasi Adit



Lokasi ini merupakan jalur penghubung utama antara portal masuk dengan persimpangan pertama. Berfungsi sebagai saluran udara bersih (*intake airway*) sebelum didistribusikan ke area kerja.

Sumber: Penulis, 2026

Gambar Lokasi Adit-J4



Lokasi ini merupakan ruas jalan tambang yang menghubungkan persimpangan J4 dengan persimpangan J2, berfungsi sebagai jalur utama distribusi udara.

Sumber: Penulis, 2026

Gambar Lokasi J4-J2



Lokasi ini merupakan rangkaian percabangan jalan tambang yang menghubungkan titik J2 melewati J5 hingga mencapai titik J6.

Sumber: Penulis, 2026

Gambar Lokasi J2-J5-J6



Lokasi ini merupakan jalur udara balik yang melintasi titik J7, J14, hingga berakhir di titik J37 sebelum mencapai mesin angin.

Sumber: Penulis, 2026

Lokasi J7-J14-J37



Lokasi ini merupakan titik penempatan unit kipas utama (*main fan*) yang berfungsi sebagai penggerak aliran udara di seluruh jaringan tambang.

Sumber: Penulis, 2026

Lokasi J38-Mesin Induk

LAMPIRAN F

Dokumentasi Pengambilan Data



Foto ini diambil ketika melakukan pengukuran luas penampang (A) dengan menggunakan meteran yang dimana setiap 6 lokasi saya ukur, disini sedang mengukur dasar bawah penampang dengan satuan (m^2).

Sumber: Penulis, 2026



Foto ini diambil ketika melakukan pengukuran luas penampang (A) dengan menggunakan meteran yang dimana setiap 6 lokasi saya ukur, disini sedang mengukur setengah lingkaran penampang dengan satuan (m^2).

Sumber: Penulis, 2026



Foto ini diambil ketika melakukan pengukuran luas penampang (A) dengan menggunakan meteran yang dimana setiap 6 lokasi saya ukur, disini sedang mengukur tinggi penampang dengan satuan (m^2).

Sumber: Penulis, 2026



Foto ini diambil ketika melakukan pengukuran kecepatan udara (V) dengan menggunakan *Anemometer* setiap 6 titik lokasi di ukur setiap harinya, untuk mendapatkan nilai (V) yang akurat maka di setiap titik di lakukan pengambilan 5 sampel dengan satuan (m^3/s).

Sumber: Penulis, 2026

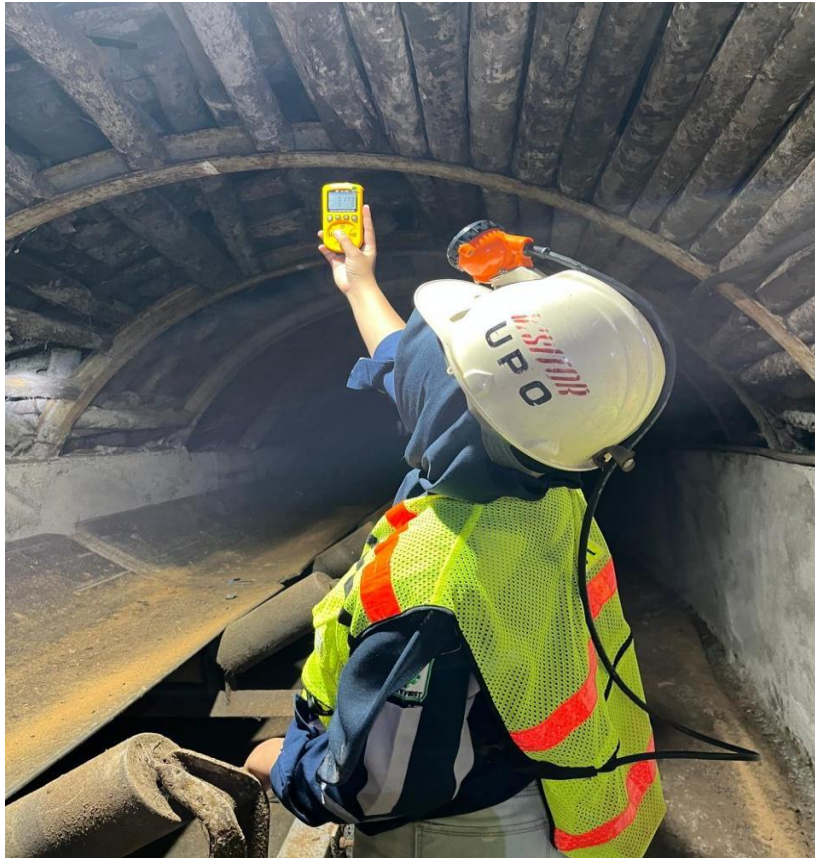


Foto ini diambil ketika pengecekan gas di dalam tambang dengan menggunakan *Gas Dector*, setiap 6 titik lokasi di ukur setiap harinya. Untuk mendapatkan nilai yang akurat maka di setiap titik di lakukan pengambilan 5 sampel.

Sumber: Penulis, 2026

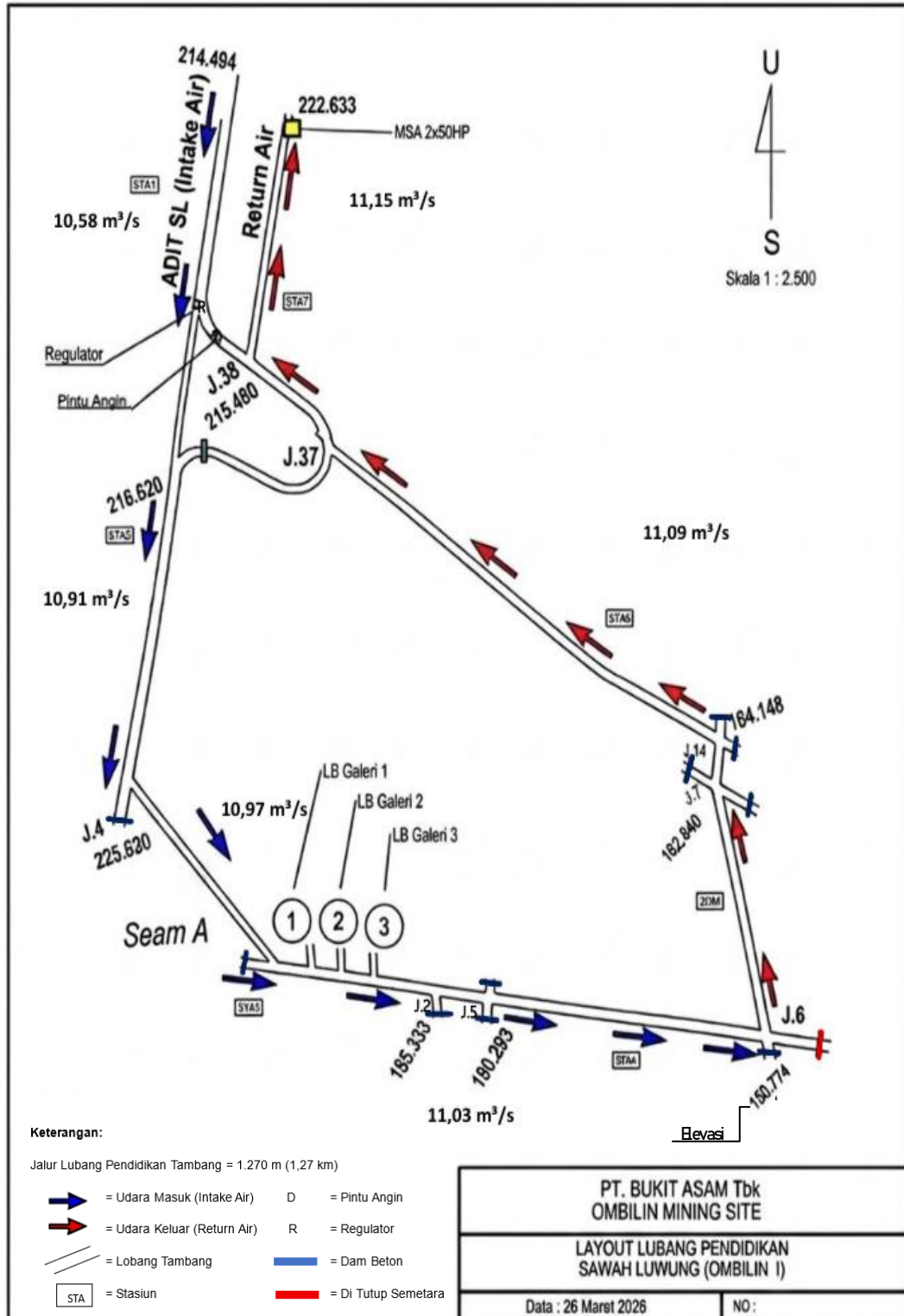


Foto ini diambil ketika suhu dan kelembapan dengan menggunakan *Sling Psychrometer*, setiap 6 titik lokasi di ukur setiap harinya, untuk menentukan nilai RH di setiap lokasi.

Sumber: Penulis, 2026

LAMPIRAN G

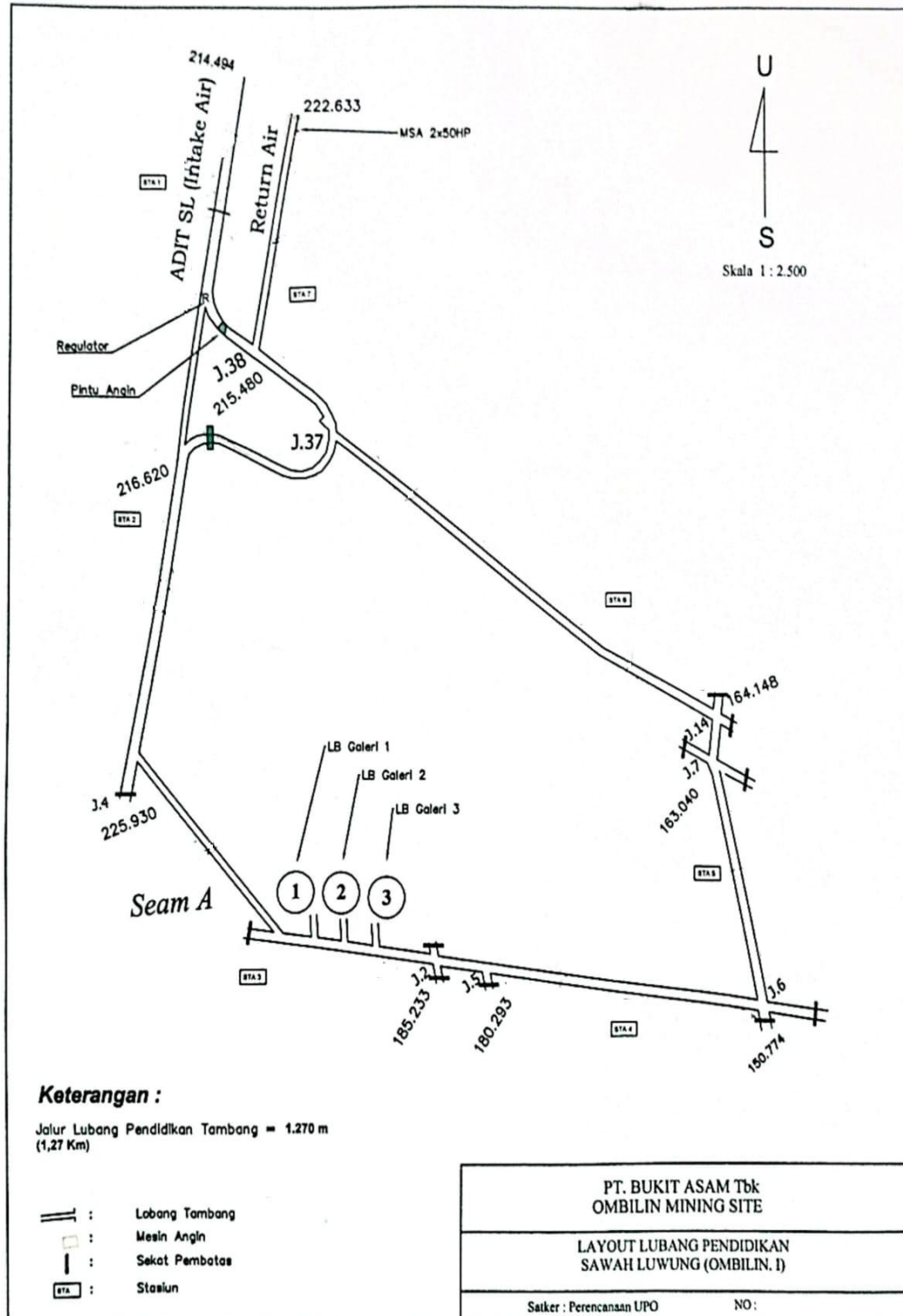
Jalur Ventilasi Tambang Bawah Tanah PT BA UPO



Sumber: PT BA UPO, 2026

LAMPIRAN H

Peta Layout Tambang Bawah Tanah PT BA UPO



Sumber: PT BA UPO, 2026

LAMPIRAN I

Dokumentasi Alat Pengambilan Data



Anomemeter



Gas Dector



Meteran



Sling Psychrometer

LAMPIRAN J

Dokumentasi Teknis Mesin



Pompa J6



Pompa J7



Pompa J38



Blower

LAMPIRAN K

Spesifikasi Teknis Mesin

Tabel Spesifikasi Teknis Mesin Angin Utama (Main Fan)

Type Fan	<i>Bifurcated Axial</i>
Type Impeler	<i>Steel Aeropil</i>
Putaran	2.947 RPM
Kapasitas	8-10 m ³ Kubik
Diameter Blande	60 M
Motor	50 HP
Tegangan	525 Volt/1.050 Volt
Daya	37,5 KW
Buatan	<i>Brush Electrial Machines, Ltd</i>
Jenis Alat	<i>Exselerifan</i>
Jenis Mesin	<i>Dowte</i>

Sumber: PT BA UPO, 2026

Tabel Spesifikasi Teknis Pompa (J6)

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

Sumber: PT BA UPO, 2026

Tabel Spesifikasi Teknis Pompa (J7)

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

Sumber: PT BA UPO, 2026

Tabel Spesifikasi Teknis Pompa (J38)

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

Sumber: PT BA UPO, 2026



UNIVERSITAS PRABUMULIH
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

LEMBAR BIMBINGAN

TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Wahyu Ningsih
NIM : 2023310037
Program Studi : Teknik Pertambangan
Judul : Analisis Kebutuhan Kipas Untuk Sistem *Air Flow* Tambang
Dalam PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin.
Pembimbing I : Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM.
Pembimbing II : Rodiyah Nursani, S.SI., M.T.
Penguji I/II :

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	29-IV-2026	Presentation Laporan Capaian	
2	6-V-2026	Penyusunan Bab I, II, III, IV.	
3	9-V-2026	Penyusunan peta udara metak	
4	12-V-2026	Revisi Bab IV + penyusunan peta dgn kontur & elevasi	
5	15-V-2026	Penyusunan agenda pertemuan	
		fee implikasi biaya 17	
		18/5-2026	

Prabumulih,
Dosen Pembimbing I

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



UNIVERSITAS PRABUMULIH
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

LEMBAR BIMBINGAN

TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Wahyu Ningsih ,
NIM : 2023310037
Program Studi : Teknik Pertambangan
Judul : Analisis Kebutuhan Kipas Untuk Sistem *Air Flow* Tambang
Dalam PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Ombilin.
Pembimbing I : Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM.
Pembimbing II : Rodiyah Nursani, S.SI., M.T.
Penguji I/II :

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1	30-4-2026	Susun Laporan TA sesuai dengan format / panduan dari Prodi	Ay
2	5-5-2026	Perbaiki kata-kata dengan istilah asing	Ay
3	8-5-2026	Perbaiki pembuatan tabel dan gambar	Ay
4	12-5-2026	Perbaiki daftar pustaka dan buat Daftar Singkatan.	Ay
5	18-5-2026	Acc	Ay

Prabumulih, 18-5-2026
Dosen Pembimbing II

Rodiyah Nursani, S.SI., M.T.
NUPTK 3633756657230142