

# Pengaruh Penggunaan Blower & Es Batu Pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah Dalam Upaya Penurunan Suhu Untuk Skala Laboratorium

Wuni Aprila\*, Bambang Heriyadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

[\\*aprilawuni27@gmail.com](mailto:*aprilawuni27@gmail.com)

**Abstract.** *Increased temperatures in Underground Mines can cause uncomfortable working conditions and negatively impact workers' health. If there is a temperature or increase in temperature that exceeds the standards determined by the Decree of the Director General of Minerals and Coal, Ministry of Mineral Resources and Mineral Resources No. 185.K/30DJB/2019, it is important to identify efforts to reduce the temperature in the work environment. This research wants to reveal the effect of using ice cubes to reduce the temperature which is simulated in an underground mine ventilation simulation tool in the laboratory, then the results obtained will be implemented in field conditions and the results will be correlated with needs in the field. The data taken to obtain results using a simulation tool in the laboratory was done using 2 experiments, where experiment 1 used 2 kg of ice cubes, at dry temperatures it could not reduce 1°C while at wet temperatures it could reduce  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Then in experiment 2 using 5kg ice cubes, the results showed that the dry temperature could decrease by  $\pm 1^\circ\text{C}$  and the wet temperature could decrease by  $\pm 2^\circ\text{C}$ . For humidity when using ice cubes there is not much change, only around  $\pm 5\%$  but still remains within the threshold value. The correlation results when placed in the field from simulation tools in the laboratory are that in experiment 1 it requires 25 kg of ice cubes to reduce 1°C in wet temperature only, and in experiment 2 it requires 61 kg of ice cubes to reduce 1°C in dry temperature and 2°C at wet temperatures. To obtain correlation results, they are placed in field conditions in accordance with established standards, for Tunnel A location requires 183 kg of ice cubes, Tunnel B 244 kg of ice cubes, Tunnel A to Tunnel B as much as 183 kg of ice cubes, Branch 1 Tunnel 2 had 244 kg of ice cubes and Branch 2 Tunnel B had 305 ice cubes.*

**Keywords:** Temperature Reduction Efforts, Ice Cubes, laboratory scale & correlation in the field

## 1 Pendahuluan

Di lingkungan tambang bawah tanah, kuantitas udara yang tidak sesuai dan suhu yang tinggi dapat menjadi masalah serius. Tambang bawah tanah cenderung memiliki sirkulasi udara yang terbatas dan peningkatan suhu akibat aktivitas penambangan dan peralatan yang digunakan. Peningkatan suhu dapat menyebabkan kondisi kerja yang tidak nyaman dan berdampak negatif pada kesehatan para pekerja. Jika temperature udara tidak sesuai dengan temperature yang ditetapkan oleh Keputusan Nomor 185.K/30DJB/2019 dari Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, yang mengatur bahwa standar ventilasi paling sedikit dengan ketentuan temperature efektif Temperatur udara di dalam tambang bawah tanah dijaga pada rentang  $18^\circ\text{C}$  -  $27^\circ\text{C}$  dengan kelembapan

efektif tidak boleh melebihi 85%. Oleh karena itu, pengaturan ruang kerja perlu disesuaikan agar mematuhi persyaratan tersebut. Oleh karena itu, jika terjadi temperature yang melebihi standar di lokasi tambang bawah tanah maka penting untuk mengidentifikasi upaya yang efektif guna menurunkan suhu di lingkungan kerja tersebut.

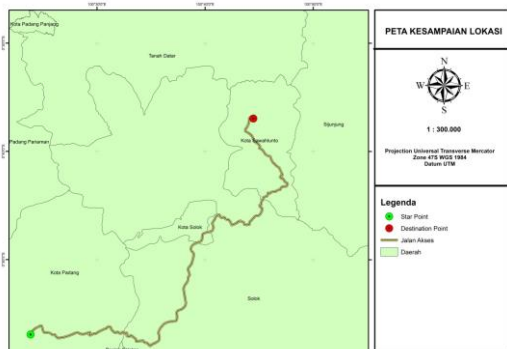
Salah satu metode yang dapat dipakai adalah pemakaian es batu untuk menurunkan suhu udara. Metode pemakaian es batu dalam tambang bawah tanah dapat membantu mengurangi suhu secara lokal. Es batu dapat digunakan dalam sistem pendingin udara atau ditempatkan di ruang kerja untuk memberikan efek pendinginan. Metode ini dapat memberikan keuntungan dalam menurunkan risiko panas dan memberikan kondisi kerja yang lebih nyaman bagi para pekerja ditambang bawah tanah

Penelitian ini melakukan upaya Penurunan Suhu dengan Menggunakan Metode Pemakaian Es Batu yang disimulasikan di alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah menggunakan skala laboratorium. Untuk bahan kajian yang menjadi acuan adalah lubang D-12 Tambang Bawah Tanah yang merupakan muka kerja penambangan di PT. Dasrat Sarana Arang Sejati.

## 2 Tinjauan Pustaka

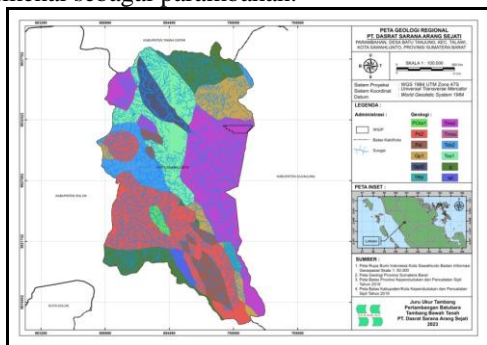
### 2.1 Lokasi Penelitian

Tempat penambangan PT. Dasrat Sarana Arang Sejati secara administratif terletak di Parambahan, Desa Batu Tanjung, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat dengan ketinggian ± 560 m di atas permukaan laut. Secara geografis daerah penambangan terletak pada koordinat diantara 0°36' 59" LS hingga 0°37' 07" LS dan juga 100°47' 32" BT hingga 100°48' 40" BT. Untuk menuju ke Kota Sawahlunto dapat di tempuh melalui jalur darat dengan rute Padang – Solok – Sawahlunto dengan waktu tempuh ± 3 jam perjalanan.



Gambar 1. Peta Kesampain Daerah

Lokasi eksploitasi batubara oleh PT. Dasrat Sarana Arang Sejati Berada di sebelah barat Cekungan Ombilin, lokasi ini terletak di dalam Formasi Batuan yang dikenal dengan nama Formasi Sawahlunto. Pada umumnya, lapisan penutup batu bara mengandung batu lempung (claystone), batu pasir (sandstone), dan batu lanau (siltstone). Formasi Sawahlunto ini dapat ditemukan pada dua lintasan yang berbeda, yakni lintasan yang membentang dari Sawahlunto hingga Sawah Rasau, serta jalur lainnya yang bermula dari Tanah Hitam, melintasi menuju timur, lalu kemudian bergerak menuju arah utara yang dikenal sebagai parambahan.

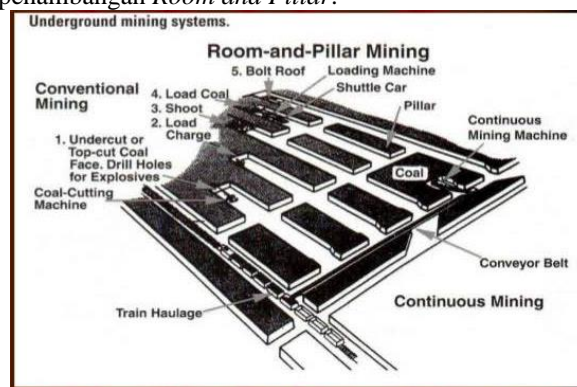


Gambar 2. Peta Geologi lokal PT. Dasrat Sarana Arang Sejati

### 2.2 Metode Penambangan Batubara Tambang Bawah Tanah

Penambangan bawah tanah (underground mining) merupakan teknik ekstraksi sumber daya alam di mana semua kegiatan penambangan dilakukan di bawah permukaan bumi, dan area kerjanya tidak memiliki koneksi langsung dengan atmosfer luar. (Samanlangi, 2016).

Hal yang bisa memengaruhi pemilihan teknik ekstraksi dalam kegiatan penambangan bawah tanah adalah: panjang cebakan, tebal cebakan, lebar cebakan, kemiringan cebakan, kedalaman operasi, kadar cebakan, fasilitas lokal meliputi buruh dan material, modal tersedia, batas dengan badan bijih, karakteristik batuan, biaya penambangan, produktifitas dan masalah lingkungan. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, PT. Dasrat Sarana Arang Sejati menerapkan metode penambangan *Room and Pillar*.



Sumber : Endri O, 2010

Gambar 3. Metode Room And Pillar

Metode penambangan ini bergantung pada batubara yang tidak digunakan sebagai penopang dan batubara yang diambil sebagai ruang. Penambangan batubara dimulai sejak pembuatan lubang maju, dan kemudian lubang maju tersebut diperluas menjadi ruangan dengan meninggalkan batubara sebagai penyangga. Perlu diperhatikan bahwa ukuran dan bentuk ruangan harus diatur sedemikian rupa agar penyangganya cukup kuat untuk menjaga ruangan tetap aman hingga saat proses pengambilan penopang yang sesungguhnya, yaitu pengambilan penyangga sebenarnya, yaitu batang penyangga batubara (coal pillar)

### 2.3 Ventilasi Tambang

Berdasarkan Bambang Heriyadi (2002), ventilasi tambang adalah upaya pengendalian terhadap pergerakan udara atau aliran udara di dalam tambang, yang melibatkan aspek-aspek seperti jumlah, kualitas, dan arah aliran udara. Tujuan utama dari ventilasi tambang adalah untuk menyediakan pasokan udara segar dengan kuantitas dan kualitas yang memadai. Selanjutnya, udara segar ini dialirkan dan didistribusikan di dalam tambang, menciptakan keadaan kerja yang aman dan menyenangkan bagi pekerja tambang serta proses penambangan keseluruhan.

2.3.1 Sistem Ventilasi

Cara penerapan prinsip fluida dinamik, khususnya pada aliran udara di bukaan tambang bawah tanah, digunakan untuk menciptakan sistem ventilasi. Sistem ventilasi tersebut diperlukan tidak hanya guna menyediakan udara bersih bagi pekerja tambang, melainkan juga untuk memastikan pasokan udara yang memadai bagi alat-alat mekanis yang beroperasi di lokasi tersebut..

Secara prinsip, terdapat dua jenis sistem ventilasi di dalam tambang bawah tanah, yakni ventilasi alami dan ventilasi mekanik (Blower) yaitu sebagai berikut :

2.3.1.1 Ventilasi Alami

Ventilasi alami (*Natural Ventilation*) merujuk pada pergerakan udara yang berlangsung dengan sendirinya karena perbedaan suhu atau kepadatan udara di dua lokasi yang saling terhubung

2.3.1.2 Ventilasi Mekanis

Ventilasi mekanis (*mechanical ventilation*) merupakan sistem ventilasi yang menggunakan perangkat mekanis untuk menciptakan perbedaan tekanan, yang memungkinkan aliran udara. Perbedaan tekanan ini dihasilkan oleh perangkat mekanis seperti kipas, yang berfungsi mengatur sirkulasi udara di dalam tambang sehingga kebutuhan akan udara dapat dipenuhi.

2.3.2. Jenis Fan ( kipas angin)

Kipas adalah perangkat untuk memompa udara yang berfungsi mengubah energi mekanis menjadi energi fluida, dengan menyediakan tekanan untuk mengatasi kehilangan tekanan dalam aliran udara. Terdapat dua jenis kipas, yaitu:

*Axial Fan*: Memiliki impeller pipih yang berputar. Cenderung mendorong udara keluar melalui salah satu sisi impeller yang berada di dalam casing, yang berbentuk seperti tabung.

*Centrifugal Fan*: Memiliki casing berbentuk seperti keong. Impeller berbentuk seperti tabung yang berputar, sehingga menciptakan tekanan yang mendorong udara dari sisi lubang masuk ke dalam dan keluar melalui sisi yang lain

2.3.3 Jenis Duct

Dalam sistem ventilasi tambang bawah tanah, penggunaan saluran udara (*duct*) memiliki peran yang krusial karena berperan sebagai jalur udara yang menghubungkan blower secara langsung dengan front kerja. Berikut ini merupakan jenis *duct* yang sering digunakan kegiatan penambangan bawah tanah : *Duct plastic, Duct terpal, Duct Rigid PVC.*

2.4 Kuantitas Udara Tambang

Jumlah udara yang mengalir pada kecepatan tertentu melalui ruang dengan luas tertentu dalam interval waktu tertentu disebut sebagai kuantitas udara Untuk mengalirkan udara ke dalam lubang tambang bawah tanah digunakan *blower* agar udara bisa tersirkulasi dan memenuhi kebutuhan udara bagi pekerja, alat dan sebagainya.

Jadi, untuk memperoleh jumlah udara di dalam tambang dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Q = V \times A$$

Keterangan : Q = Debit aliran udara (m<sup>3</sup>/s)

V = Kecepatan aliran udara (m/s)

A = Luas penampang jalur udara (m<sup>2</sup>)

Untuk dapat melakukan pengukuran kuantitas udara di dalam sistem ventilasi tambang bawah tanah dapat diikuti melalui tahapan sebagai berikut:

2.4.1 Pengukuran kecepatan Angin

Anemometer biasanya digunakan untuk mengukur laju angin di dalam tambang bawah tanah. Anemometer ini merupakan alat yang terdiri dari kincir angin yang sangat ringan dan memiliki gesekan yang kecil.

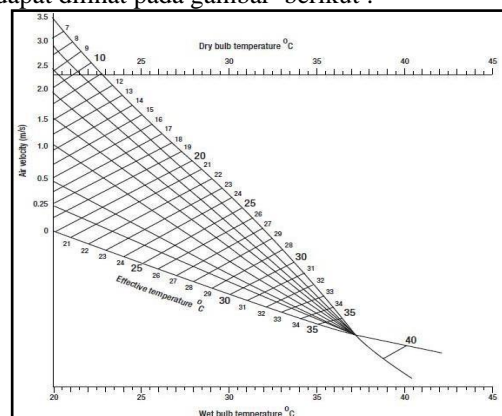
2.4.2 Pengukuran luas penampang jalur udara

2.4.3 Perhitungan kuantitas jalur udara

Kuantitas dihitung dengan mengalikan kecepatan aliran udara dengan luas penampang yang dilaluinya.

2.5 Temperature Efektif

Agar seseorang dapat bekerja dengan nyaman dilingkungan udara dengan kelembaban relative 85% diperlukan perbedaan TD –TW 5°F (2.8°C). Kecepatan aliran udara merupakan factor utama dalam mengatur kenyamanan lingkungan kerja. Kecepatan aliran udara sebesar 150-500fpm (0,8-2,5 m/detik) dapat memperbaiki tingkat kenyamanan ruang kerja yang panas dan lembab. Kemudian jika temperature udaranya tinggi dan kelembaban relative tinggi itu akan membuat pekerja merasa tidak nyaman dalam bekerja Adapun cara yang digunakan untuk memperoleh nilai temperature efektif adalah dengan merujuk pada grafik yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Sumber: Materi Diklat TBT Dr. Bambang Heriyadi, M.T (2010)

Gambar. 3 Grafik Temperature Efektif

2.6 Sumber Panas Terowongan

2.6.1 Kompresi Adiabatik

Apabila kolom udara turun dalam suatu sumbu vertikal, tekanannya akan meningkat sejalan dengan berat udara tersebut. Dampak dari hal ini adalah peningkatan suhu udara, dan proses ini dianggap sebagai adiabatik apabila kandungan uap air tetap, tanpa terjadinya gesekan aliran udara dan pertukaran panas antara udara dengan lingkungan sekitarnya. Aliran udara yang mengalir ke

bawah dalam sumbu akan meningkatkan suhu dan kepadatan udara seiring dengan kedalaman. Oleh karena itu, kebutuhan ventilasi akan meningkat sejalan dengan kedalaman aktivitas penambangan.

### 2.6.2 Peralatan listrik mekanis

Total panas yang dilepaskan oleh peralatan listrik mekanis ke udara di tambang bawah tanah bergantung pada daya yang digunakan. Peralatan yang umumnya digunakan di tambang bawah tanah melibatkan peralatan listrik, mesin diesel, dan udara bertekanan.

### 2.6.3. Aliran panas dinding batu

Sumber tunggal panas yang memasuki tambang adalah aliran panas dari dinding batuan. Umumnya, peningkatan suhu udara biasanya mulai terjadi pada kedalaman 15 meter. Namun, untuk tujuan sederhana, perubahan suhu diperkirakan sebesar 1°C setiap kenaikan kedalaman sejauh 100 meter.

## 2.7 Ketentuan Hukum Ventilasi Tambang

Berdasarkan kaidah hukum pertambangan, khususnya mengenai sistem ventilasi tambang bawah tanah yang berlaku di Indonesia dapat diketahui bahwa penetapan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian ESDM Nomor 185 K/37.04/DJB/2019 yang membahas tentang Ketentuan kualitas dan kuantitas ventilasi tambang. Terdapat standar ventilasi yang terdiri dari:

Pada tambang bawah tanah memastikan adanya sirkulasi udara yang memadai di semua lokasi kerja dengan syarat bahwa kandungan oksigen tidak boleh kurang dari 19,5% dan kandungan karbon dioksida tidak boleh melebihi 0,5%.

Tambang bawah tanah dianggap sebagai tambang yang berpotensi berbahaya akibat gas metana (fire damp) jika kandungannya melebihi 0,25%. Volume udara bersih yang diatur dalam sistem ventilasi dihitung berdasarkan jumlah pekerja terbanyak di suatu lokasi kerja, dengan persyaratan bahwa setiap orang harus mendapatkan aliran udara minimal 2m<sup>3</sup>/menit selama bekerja. Tambahan 3 m<sup>3</sup>/menit per orang diperlukan jika mesin diesel beroperasi.

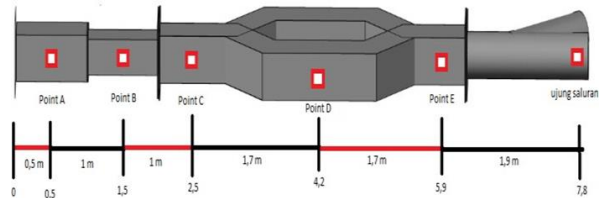
Standar ventilasi minimum mencakup pemeliharaan suhu udara di dalam tambang bawah tanah antara 18°C hingga 27°C, dengan kelembaban relatif maksimum 85%. Kandungan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) tidak boleh melebihi 0,0005%, kandungan metana (CH<sub>4</sub>) tidak boleh lebih dari 0,25%, kandungan oksida nitrat (NO<sub>2</sub>) tidak boleh lebih dari 0,0003%, dan kandungan oksigen (O<sub>2</sub>) tidak boleh lebih dari 20,9%.

## 2.8 Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah

Instrumen simulasi ventilasi untuk tambang bawah tanah terbuat dari plat baja dengan dimensi bukaan berupa persegi 40 cm x 40 cm, persegi 30 x 30 cm, dan lingkaran dengan diameter 35 cm.



**Gambar 4. Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah**



**Gambar 5. Data dimensi alat simulasi ventilasi di laboratorium**

## 2.9 Metode Pemakaian Es Batu

Penggunaan es batu sebagai cara untuk menurunkan suhu di tambang bawah tanah melibatkan prinsip pendinginan yang timbul dari perubahan fase air menjadi es. Dalam penerapan metode ini, beberapa aspek krusial yang perlu dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

### 2.9.1 Prinsip Dasar

Es batu digunakan untuk menurunkan suhu udara di tambang bawah tanah dengan memanfaatkan efek pendinginan yang dihasilkan saat es batu meleleh. Proses pelelehan es batu akan menyerap panas dari sekitarnya, sehingga suhu udara di sekitarnya turun.

### 2.9.2 Penempatan Es Batu

Es batu dapat ditempatkan di beberapa lokasi strategis di dalam tambang bawah tanah, seperti di area kerja, ruang istirahat, atau area dengan suhu tinggi. Dalam beberapa kasus, es batu dapat diletakkan dalam wadah tertutup atau saluran udara untuk mendistribusikan efek pendinginan secara lebih merata.

### 2.9.3 Efek Pendinginan

Penggunaan es batu dapat memberikan efek pendinginan yang signifikan terhadap suhu udara di sekitarnya. Hal ini dapat membantu menciptakan kondisi yang lebih nyaman dan aman bagi para pekerja di tambang bawah tanah, terutama jika terjadi peningkatan suhu yang berpotensi menyebabkan kelelahan, dehidrasi, atau gangguan kesehatan lainnya.

### 2.9.4 Manajemen Es Batu

Dalam penggunaan es batu, penting untuk memperhatikan manajemen es batu yang baik. Hal ini termasuk pemilihan ukuran dan jumlah es batu yang tepat, serta pemantauan secara berkala terhadap kondisi es batu untuk memastikan efektivitasnya dalam menurunkan suhu udara.

### 2.9.5 Keterbatasan

Meskipun penggunaan es batu dapat membantu menurunkan suhu udara di tambang bawah tanah, perlu diingat bahwa efeknya bersifat sementara dan tergantung



pada jumlah dan kualitas es batu yang digunakan. Selain itu, penggunaan es batu juga dapat mempengaruhi kelembaban udara di sekitarnya

### 3 Metodologi Penelitian

#### 3.1 Desain Penelitian

##### 3.1.2 Jenis Penelitian

Pada penelitian ini, penulis menerapkan metode penelitian eksperimental, dilakukan pengamatan secara langsung di Laboratorium Ventilasi Tambang Universitas Negeri Padang dimana dilakukan menganalisis sebab akibat dua variabel atau lebih. Dimana akan mengetahui bagaimana hasil dari pengaruh penggunaan blower & es batu dalam melakukan upaya penurunan suhu.

##### 3.1.3 Objek Penelitian

Fokus dari penelitian ini melibatkan sistem ventilasi yang diterapkan dalam aktivitas penambangan di bawah tanah lubang D-12 PT. Dasrat Sarana Arang Sejati yang mana disimulasikan menggunakan alat ventilasi di Laboratorium Universitas Negeri Padang.

#### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

##### 3.2.1 Data primer

Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil pengamatan langsung pada saat penelitian. Pada penelitian ini, data primer terbagi 2, yaitu data primer yang didapatkan pada saat di lapangan dan data yang didapatkan pada saat di laboratorium.

##### 3.2.1.1 Pada keadaan Lapangan

Pengumpulan data mengenai suhu dan kelembaban udara di dalam penambangan bawah tanah dilakukan dengan menggunakan alat Digital Sling Psychometer atau Thermometer.

Sedangkan untuk mengukur kecepatan aliran udara dalam ventilasi tambang bawah tanah, digunakan alat Anemometer. Alat ini diarahkan ke arah aliran udara untuk mengukur kecepatannya dengan memutar baling-baling. Pengukuran dimensi lubang dilakukan dengan menggunakan meteran.

##### 3.2.1.2 Pada Laboratorium

Pengambilan data Suhu atau Temperature dan kelembaban udara. Temperature dan kelembaban udara pada alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah di laboratorium diukur menggunakan Thermometer.

Pengukuran Kecepatan aliran udara pada alat simulasi ventilasi di Laboratorium. Untuk kecepatan aliran udara pada alat simulasi ventilasi tambang di laboratorium ini diatur sesuai dengan keadaan yang didapatkan pada lapangan yang telah dicari dengan melakukan perbandingan antara luas penampang dilapangan dengan luas penampang di laboratorium, setelah didapatkan hasilnya, maka nilai tersebut di atur pada alat simulasi ventilasi tambang di Laboratorium menggunakan alat dimmer, dimana alat tersebut berfungsi untuk mengatur kecepatan angin pada blower.

Alat Anemometer ini diatur menghadap arah aliran udara sehingga baling-balingnya dapat berputar.

##### 3.2.2 Data Sekunder

Data dimensi dari alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah dan Layout kemajuan lubang tambang Untuk memahami situasi lokasi dan perkembangan kegiatan penambangan D-12 di PT. Dasrat Sarana Arang Sejati

#### 3.3. Alat dan Bahan

Alat yang dipakai dalam eksperimen ini adalah :

##### 3.3.1 Pada lapangan :

##### 3.3.1.1 Digital Sling Psychometer

Alat *Digital Sling Psychometer* merupakan alat pengukur suhu yang terdiri dari temperature basah, temperature kering dan kelembaban udara.

##### 3.3.1.2 Anemometer

Alat *Anemometer* ini digunakan untuk mengukur Kecepatan aliran udara pada ventilasi tambang bawah tanah.

##### 3.3.1.3 Meteran

Meteran merupakan alat ukur jarak atau panjang yang umumnya dalam satuan meter atau inci. Meteran dapat digunakan untuk mengukur dimensi lubang pada tambang bawah tanah.

##### 3.3.2 Pada Laboratorium

##### 3.3.2.1 Thermometer

*Thermometer* merupakan alat pengukur suhu yang terdiri dari temperature basah, temperature kering dan kelembaban udara. Alat ini digunakan untuk mengukur suhu pada alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah di Laboratorium.

##### 3.3.2.2 Anemometer

*Anemometer* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur Kecepatan aliran udara pada alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah.

##### 3.3.2.3 Blower

Blower dapat dimanfaatkan dalam instrumen simulasi ventilasi tambang bawah tanah untuk menyediakan aliran udara buatan sehingga memperoleh kecepatan udara pada instrumen simulasi ventilasi tambang bawah tanah.

##### 3.3.2.4 Dimmer

Dimmer merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur kecepatan pada blower sehingga dapat membantu untuk menghasilkan kecepatan angin yang diinginkan.

##### 3.3.2.5 Es batu

Es baru merupakan alat yang digunakan sebagai upaya dalam penggunaan penurunan suhu terhadap blower pada penelitian ini.

3.3.2.6 *Alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah*

Alat simulasi ventilasi tambang bawah ini digunakan untuk melakukan simulasi pengambilan data dari keadaan di lapangan yang digunakan pada saat penelitian di laboratorium.

3.4 Tahap Pengolahan Data

3.4.1 *Menghitung nilai kecepatan aliran udara*

Menghitung nilai kecepatan aliran udara untuk skala laboratorium didapatkan dari hasil perbandingan luas penampang dilapangan dengan luas penampang yang ada pada laboratorium.

3.4.2 *Pengukuran suhu dan kelembaban udara*

Melakukan pengukuran suhu pada alat simulasi ventilasi di laboratorium pada saat alat ventilasi di laboratorium dalam keadaan asli, atau tanpa menggunakan blower. Setelah itu, dilanjutkan dengan pengukuran pada saat alat simulasi ventilasi menggunakan blower dengan mengatur atau menyesuaikan temperature dan kecepatan anginnya sesuai dengan keadaan lapangan yang sudah didapatkan tadi, setelah mengatur sesuai dengan keadaan lapangan, maka selanjutnya melakukan pengukuran menggunakan metode pemakaian es batu.

3.4.3 *Menghitung kebutuhan es yang dibutuhkan*

Setelah dilakukannya penggunaan metode pemakaian es batu pada blower dalam alat simulasi ventilasi tambang di laboratorium, maka dilakukan pengukuran temperature kembali dan melakukan analisis, berapa kebutuhan es batu yang dibutuhkan dalam menurunkan suhu 1°C.

3.4.4 *Menggambarkan hasil korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari skala laboratorium*

Hasil acuan untuk implementasi kebutuhan batu es yang diperlukan untuk keadaan lapangan yang didapat adalah dengan cara melakukan perbandingan antara nilai kecepatan angin pada keadaan lapangan dan keadaan laboratorium, setelah didapat hasil perbandingan tersebut, maka dilakukan perkalian antara nilai perbandingan yang didapat dengan kebutuhan es batu yang diperlukan pada alat simulasi ventilasi di laboratorium.

4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

4.4.1 *Nilai Kecepatan aliran udara menggunakan skala laboratorium pada alat Simulasi Ventilasi di Laboratorium*

Didapat perbandingan luas penampang antara keadaan di lapangan ddengan di laboratorium sebesar 1:34,5, maka kecepatan aliran udara untuk skala laboratorium dapat dilihat pada table 1 berikut :

Table 1. kecepatan angin di lapangan dan alat simulasi ventilasi di laboratorium

Keadaan di Lapangan		Laboratorium	
Lokasi	Kecepatan Angin	Titik Pengukuran	Kecepatan Angin
Tunnel A	1,5 m/s	Point A,C,E	0,04 m/s
		Point B	0,02 m/s
		Ujung saluran	0,02 m/s
Tunnel B	0,8 m/s	Point A,C,E	0,02 m/s
		Point B	0,01 m/s
		Ujung saluran	0,01 m/s
Tunnel A menuju Tunnel B	1,3 m/s	Point A,C,E	0,03 m/s
		Point B	0,02 m/s
		Ujung saluran	0,02 m/s
Cabang 1 Tunnel B	1,9 m/s	Point B	0,05 m/s
		Ujung saluran	0,03 m/s
			0,03 m/s
Cabang 2 Tunnel B	0,6 m/s	Point A,C,E	0,01 m/s
		Point B	0,01 m/s
		Ujung saluran	0,01 m/s

4.4.2 *Kebutuhan es batu dalam upaya penurunan suhu menggunakan Alat Simulasi ventilasi di Laboratorium*

Dalam upaya penurun suhu menggunakan alat simulasi ventilasi di Laboratorium dilakukan 2 kali percobaan.

Berikut hasil kebutuhan es batu pada percobaan 1 :

Tabel 2. Kebutuhan es batu percobaan 1 pada alat simulasi ventilasi di Laboratorium

Sebelum penggunaan es batu			Jumlah es batu digunakan	Setelah penggunaan es batu			Penurunan suhu	
TD (°C)	TW (°C)	RH (%)		TD (°C)	TW (°C)	RH	TD (°C)	TW (°C)
30,4	29,3	69	2 kg	29,8	28,3	68	0,6	1,0
30,3	28,9	69	2 kg	30	28,1	68	0,3	0,8
30,4	29,0	70	2 kg	29,9	28	66	0,5	1,0
30,5	29,6	70	2 kg	30	28,6	68	0,5	1,0
30,8	29,2	69	2 kg	30,7	28,8	69	0,1	0,4

Berikut hasil kebutuhan es batu pada percobaan 2 :

Tabel 3. Kebutuhan es batu percobaan 2 pada alat simulasi ventilasi di Laboratorium

Sebelum penggunaan es batu			Jumlah es batu digunakan	Setelah penggunaan Es nattu			Penurunan suhu	
TD (°C)	TW (°C)	RH (%)		TD (°C)	TW (°C)	RH	TD (°C)	TW (°C)
30,4	29,3	69	5 kg	29,3	27,2	66	1,1	2,1
30,3	28,9	69	5 kg	29,3	27,0	68	1,0	1,9
30,4	29	70	5 kg	29,5	27,5	65	0,9	1,5
30,5	29,6	70	5 kg	29,4	27,6	68	1,1	2
30,8	29,2	69	5 kg	29,8	27,9	69	1,0	1,3

4.4.3 Variasi suhu dan kelembaban yang didapatkan setelah penggunaan es batu pada alat simulasi ventilasi tambang di laboratorium

Berikut variasi suhu dan kelembaban yang didapatkan pada percobaan 1 :

Tabel 4. Variasi suhu dan kelembaban untuk percobaan 1 pada alat simulasi ventilasi di Laboratorium

TD (°C)		TW °C		RH %	
Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	sebelum	Setelah
30,4	29,8	29,3	28,3	69	68
30,3	30,0	28,9	28,1	69	68
30,4	29,9	29,0	28,0	70	66
30,5	30,0	29,6	28,6	70	68
30,8	30,7	29,2	28,8	69	69

Berikut variasi suhu dan kelembaban yang didapatkan pada percobaan 2 :

Tabel 5. Variasi suhu dan Kelembaban untuk percobaan 2 pada alat simulasi ventilasi di Laboratorium

TD (°C)		TW °C		RH %	
Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
30,4	29,3	29,3	27,2	69	66
30,3	29,3	28,9	27,0	69	68
30,4	29,5	29,0	27,5	70	65
30,5	29,4	29,6	27,6	70	68
30,8	29,8	29,2	27,9	69	69

4.4.4 Hasil Korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari simulasi skala laboratorium

Berikut Hasil Korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari simulasi skala laboratorium pada percobaan 1 :

Tabel 6. Korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari hasil simulasi skala laboratorium Percobaan 1

Nama Lubang	Setelah penggunaan es batu			Jumlah Es batu yang digunakan
	TD (°C)	TW (°C)	RH (%)	
Tunnel A	29,4	28,0	70	25 kg
Tunnel B	29,8	27,7	70	25 kg
Tunnel A Menuju Tunnel B	29,9	28,5	69	25 kg
Cabang 1 Tunnel B	30,1	29,5	73	25 kg
Cabang 2 Tunnel B	31,1	28,9	74	25Kg

Berikut Hasil Korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari simulasi skala laboratorium pada percobaan 2 :

Tabel 7. Korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari hasil simulasi skala laboratorium Percobaan 2

Nama Lubang	Setelah penggunaan es batu			Jumlah Es batu yang digunakan
	TD (°C)	TW (°C)	RH (%)	
Tunnel A	28,9	26,9	68	61 kg
Tunnel B	29,1	26,6	70	61 kg
Tunnel A Menuju Tunnel B	29,5	28	72	61 kg
Cabang 1 Tunnel B	29,5	28,5	70	61 kg
Cabang 2 Tunnel B	30,2	28,0	74	61Kg

4.4.5 Percobaan sesuai dengan nilai ambang batas oleh keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral No.185.K/30DJB/2019.

Tabel 8. Percobaan sesuai ketetapan ambang batas

Nama Lubang	Sebelum penggunaan es batu			Setelah penggunaan es batu			Kebutuhan Es Batu
	TD (°C)	TW (°C)	RH (%)	TD (°C)	TW (°C)	RH (%)	
Tunnel A	30,0	29,0	71	26,7	25,7	62	183 kg
Tunnel B	30,1	28,5	71	26,1	24,5	67	244 kg
Tunnel A Menuju Tunnel B	30,4	29,5	73	26,8	25,9	70	183 kg
Cabang 1 Tunnel B	30,6	30,5	75	26,2	26,1	55	244 kg
Cabang 2 Tunnel B	31,2	29,3	74	26,2	24,3	69	305Kg

4.4.6 Temperature Efektif

Berikut merupakan hasil temperature Efektif setelah dan sebelum penggunaan metode pemakaian es batu, dapat dilihat pada table 9 :

Tabel 9. Temperature Efektif sebelum dan setelah penggunaan metode pemakaian es batu

Lokasi	Temperature Efektif (°C)	
	Sebelum	Setelah
Tunnel A	26,2	21,6
Tunnel B	27,0	22,2
Tunnel A Menuju Tunnel B	27,2	22,2
Cabang 1 Tunnel B	27,5	20,4
Cabang 2 Tunnel B	28,5	22,8

4.2 Pembahasan

4.2.1 Nilai kecepatan aliran udara menggunakan skala laboratorium pada alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah.

Perhitungan untuk mengatur kecepatan aliran udara pada instrumen simulasi ventilasi tambang bawah tanah di laboratorium dilakukan dengan membandingkan luas di lapangan dan luas instrumen simulasi. Dimana perbandingan antara keadaan lapangan dengan alat

simulasi ventilasi tambang bawah tanah di laboratorium pada point A, C, D dan E didapat sebesar 1 : 34,5, point B didapat perbandingan sebesar 1 : 61,3 dan pada point ujung saluran didapat perbandingan 1 : 57,5. .

#### 4.2.2 Banyak kebutuhan batu es yang diperlukan dalam upaya penurunan suhu menggunakan alat simulasi ventilasi di laboratorium

Setelah dikakukan pengukuran suhu menggunakan es batu dalam upaya penurunan suhu, dengan melakukan percobaan pertama menggunakan 2 kg es batu, didapatkan hasilnya bahwa dengan sebanyak tersebut hanya dapat menurunkan suhu pada temperature basah saja, sebesar  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

Sedangkan pada percobaan ke 2 dengan menggunakan es batu sebanyak 5 kg didapatkan hasil penurunan suhu sebesar  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  untuk temperature kering dan  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  untuk tempertatur basah

#### 4.2.3 Variasi suhu dan Kelembaban yang didapatkan setelah melakukan metode pemakaian es batu dalam upaya penurunan suhu.

Setelah melakukan pengujian menggunakan metode pemakaian es batu pada blower di Laboratorium pada alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah maka hasil penurunan suhu pada percobaan 1 yang didapatkan adalah dilokasi Tunnel A temperature kering  $29,8^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $28,3^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 68%.

Pada Tunnel B (FK) temperature kering  $30,0^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $28,1^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 68%. Tunnel A menuju Tunnel B dengan temperature kering  $29,9^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $28,0^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 66%. Cabang 1 Tunnel B dengan temperature kering  $30,0^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $28,6^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 68%. Cabang 2 Tunnel B dengan temperature kering  $30,7^{\circ}\text{C}$  sedangkan pada temperature basah  $28,8^{\circ}\text{C}$  dan untuk kelembaban 69%

Lalu pada percobaan ke 2, lokasi Tunnel A temperature kering  $29,3^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $27,2^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 66%. Lokasi Tunnel B dengan temperature basah  $29,3^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $27,0^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 68%. Tunnel A menuju Tunnel B dengan temperature kering  $29,5^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $27,5^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban awal sebesar 65%. Cabang 1 Tunnel B dengan temperature kering  $29,4^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $27,6^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 68%. Cabang 2 Tunnel B dengan temperature kering  $29,8^{\circ}\text{C}$ , temperature basah  $27,9^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban 69%

#### 4.2.4 Hasil Korelasi Dengan Kebutuhan Di Lapangan Dari Hasil Skala Laboratorium

Setelah dilakukan simulasi menggunakan alat ventilasi tambang di laboratorium dengan menggunakan 2 kali percobaan, maka didapatkan kebutuhan es yang diperlukan dalam upaya penurunan suhu pada percobaan 1 sebanyak 2 kg lalu pada pecobaan 2 membutuhkan 5 kg es batu.

Hasil korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari hasil skala laboratorium yang didapatkan dengan menggunakan perbandingan antara kecepatan aliran udara di lapangan dengan kecepatan aliran udara pada

alat simulasi, didapat perbandingan kecepatan aliran udara tersebut sebesar 1 : 12,2 setelah didapatkan hasil perbandingan tersebut dapat digunakan untuk mencari hasil korelasi dengan kebutuhan di lapangan, dengan cara mengalikan jumlah batu es yang didapat pada alat simulasi dengan perbandingan yang didapat, maka setelah melakukan pengolahan data hasil yang didapat adalah : pada percobaan 1 didapatkan kebutuhan sebanyak 25 kg es batu untuk penggunaan di lapangan, lalu pada percobaan 2 dibutuhkannya sebanyak 61 kg untuk penggunaan di lapangan.

#### 4.2.5 Hasil Korelasi Dengan Kebutuhan di Lapangan Dari Hasil Skala Laboratorium sesuai dengan ambang batas oleh keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral No. 185.K/30DJB/2019.

Untuk menurunkan suhu sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, maka pada keadaan lapangan di lokasi Tunnel A dengan temperature kering awal  $30^{\circ}\text{C}$  dan  $29^{\circ}\text{C}$  temperature basah membutuhkan penurunan suhu sebesar  $3^{\circ}\text{C}$ , maka kebutuhan es batu yang diperlukan adalah sebanyak 183 kg dimana temperature kering menjadi  $26,7^{\circ}\text{C}$  dan temperature basah menjadi  $25,7^{\circ}\text{C}$ , lalu pada lokasi Tunnel B dengan temperature kering awal  $30,1^{\circ}\text{C}$  dan  $28,5^{\circ}\text{C}$  temperature basah membutuhkan penurunan suhu sebesar  $4^{\circ}\text{C}$ , maka kebutuhan es batu yang diperlukan adalah sebanyak 244 kg dimana temperature kering menjadi  $26,1^{\circ}\text{C}$  dan temperature basah menjadi  $24,5^{\circ}\text{C}$ ,

Pada lokasi Tunnel A menuju Tunnel B dengan temperature kering awal  $30,4^{\circ}\text{C}$  dan  $29,5^{\circ}\text{C}$  temperature basah membutuhkan penurunan suhu sebesar  $3^{\circ}\text{C}$ , maka kebutuhan es batu yang diperlukan adalah sebanyak 183 kg dimana temperature kering menjadi  $26,8^{\circ}\text{C}$  dan temperature basah menjadi  $25,9^{\circ}\text{C}$ , pada lokasi Cabang 1 Tunel B dengan temperature kering awal  $30,6^{\circ}\text{C}$  dan  $30,5^{\circ}\text{C}$  temperature basah membutuhkan penurunan suhu sebesar  $4^{\circ}\text{C}$ , maka kebutuhan es batu yang diperlukan adalah sebanyak 244 kg dimana temperature kering menjadi  $26,2^{\circ}\text{C}$  dan temperature basah menjadi  $26,1^{\circ}\text{C}$ , pada lokasi Cabang 2 Tunnel B dengan temperature kering awal  $31,3^{\circ}\text{C}$  dan  $29,3^{\circ}\text{C}$  temperature basah membutuhkan penurunan suhu sebesar  $5^{\circ}\text{C}$ , maka kebutuhan es batu yang diperlukan adalah sebanyak 305 kg es batu dimana temperature kering menjadi  $26,2^{\circ}\text{C}$  dan temperature basah menjadi  $24,3^{\circ}\text{C}$ .

## 5 Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan pada pengaruh penerapan metode es batu dalam instrumen simulasi ventilasi tambang bawah tanah di laboratorium, diantaranya :

1. Nilai kecepatan aliran udara dalam bentuk skala laboratorium yang didapatkan dengan melakukan perbandingan antara luas penampang keadaan di lapangan dengan di alat simulasi laboratorium, dimana luas penampang pada keadaan lapangan sebesar  $5,52\text{ m}^2$  dan pada luas alat simulasi ventilasi di laboratorium sebesar  $0,16\text{ m}^2$ . Maka didapat



perbandingan sebesar 1 : 34,5, untuk mendapatkan hasil kecepatan aliran udara pada alat simulasi di laboratorium, maka luas penampang pada keadaan lapangan tersebut dibagi dengan hasil perbandingan yang didapat.

2. Dengan melakukan 2 kali percobaan, kebutuhan batu es yang didapatkan dalam upaya penurunan suhu adalah ketika menggunakan percobaan 1 dengan es batu sebanyak 2 kg didapatkan hasilnya hanya menurunkan atau hanya berpengaruh pada temperature basah saja yaitu dapat dapat menurunkan  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Lalu pada percobaan ke 2 dengan menggunakan pemakaian batu es sebanyak 5 kg didapatkan hasil penurunan  $1^{\circ}\text{C}$  temperature kering dan  $2^{\circ}\text{C}$  temperature basah.
3. Hasil korelasi dengan kebutuhan di lapangan dari hasil skala laboratorium didapatkan dengan melakukan perbandingan antara kecepatan aliran udara di lapangan dengan kecepatan aliran udara pada alat simulasi di Laboratorium, dimana kecepatan aliran udara pada keadaan lapangan dengan jumlah 1,22 m/s dan pada alat simulasi di laboratorium sebesar 0,10 m/s, maka nilai perbandingan tersebut didapatkan sebesar 1: 12,2 setelah didapatkan hasil perbandingan tersebut kebutuhan es batu yang didapatkan pada saat melakukan percobaan di alat simulasi laboratorium dikalikan dengan perbandingan yang didapat, setelah melakukan pengolahan data tersebut, maka didapatkan hasil kebutuhan es batu yang diperlukan pada keadaan lapangan pada percobaan 1 adalah dibutuhkan sebanyak 25 kg dan pada percobaan 2 dibutuhkan sebanyak 61 kg es batu.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan berdasarkan temuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk peneliti berikutnya yang mengkaji permasalahan yang sama, bisa melakukan penelitian terhadap pembuatan penyimpanan es batu atau metode pemakaian es batu yang baik dalam tambang bawah tanah
2. Karna pada penelitian ini merupakan penelitian dalam skala laboratorium, untuk peneliti selanjutnya bisa melakukan percobaan dengan langsung pada keadaan lapangan.
3. Untuk peneliti berikutnya yang mengkaji permasalahan yang serupa diharapkan melakukan penelitian dengan lebih rinci dan berusaha untuk menyelidiki teori-teori yang lebih mendalam di dalam tambang bawah tanah yang belum tercakup dalam penelitian ini agar bisa diperbaiki dan kedepannya memperoleh hasil yang lebih baik.

## Daftar Pustaka

- [1] Ari Febrianda Bafnis, Bambang Heriyadi, Sumarya 2014 *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawah Luwung)*
- [2] August Greth, Pedram Roghanchi, 2017. *A Review Of Cooling System Practices And Their Applicability to Deep And Hot Underground US Mines*. North American Mine Ventilation Symposium, CO, Volume 11.
- [3] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah, 2010. *Diklat Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah*. Sawahlunto : Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara Balai Diklat Tambang Bawah Tanah.
- [4] Bambang Heriyadi, 2017. *Rancangan Dan Pembuatan Alat Simulasi Sistem Ventilasi Tambang Pada Laboratorium Untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang*. Jurnal Sains dan Teknologi, Vol 17 No.2
- [5] Dhoni Syaputra, Bambang Heriyadi *Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Temperatur efektif Pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah*. Jurnal Bina Tambang, Vol 4 No.1
- [6] Eka Sari Wulandari, Romla Noor Hakim, 2022. *Perilaku Aliran Udara dan Temperatur Berdasarkan Variasi Kemiringan Terowongan Tambang Bawah Tanah; Simulasi Laboratorium*. Jurnal Himasapta, Vol.7 No.1
- [7] Fedi, Bambang Heriyadi, Yoszi Mingsi Anaperta 2015. *Analisis Penurunan Suhu Udara Di Area Produksi Tambang Batubara Bawah Tanah*
- [8] *PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Unit Penambangan Ombilin, Sawah Lunto, Sumatera Barat*. Bina tambang, Vol.2, No. 1, P. 232-246
- [9] Kurniawan, M. (2019). *Evaluasi Kuantitas dan Kualitas Ventilasi Untuk Memenuhi Kebutuhan Udara Pada Lubang 02 Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal*(Doctoral dissertation, Universitas Negeri Padang).
- [10] Mei Wang, Lang Liu, 2020. *Numerical Investigation Of Heat Transfer And Phase Change Characteristic Of Cold Load And Storage Functional CBP in Deep Mine*
- [11] Multavich, M., & Heriyadi, B. (2021). *Analisis Sistem Ventilasi untuk Meminimalisir Terjadinya Swabakar pada Tambang Batubara Bawah Tanah THC 04 CV. Tahiti Coal, Sangkar Puyuh, Talawi, Sawahlunto*. Bina Tambang, 6(4), 143-152.
- [12] Nelvi, A., & Handayani, R. (2020). *Analisis Kualitas dan Kuantitas Suhu Udara di Area Produksi Tambang Batubara Bawah Tanah Cv. Tahiti COAL 03*. Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri, 20(1), 94-97.
- [13] Prabowo, H., Prengki, I., & Amran, A. (2019, December). *Analysis System Occupational Health And Safety in coal Underground*. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1339, No. 1, p. 012107). IOP Publishing.
- [14] Prabowo, H., & Yarsila, A. C. (2019). *Evaluasi Penerapan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Tambang Bawah Tanah Dalam Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Guna Meningkatkan Mutu*

*Keselamatan Kerja Pada Area Penambangan Batubara Lokasi CBP PT. CAHAYA BUMI PERDANA. Bina Tambang, 4(1), 175-181.*

- [15] Raihan, M. A., Heriyadi, B., Gusman, M., & Prabowo, H. (2023). *Analisis Kuantitas Dan Kualitas Udara Pada Sistem Ventilasi Untuk Keamanan Dan Kenyamanan Pengunjung Di Lubang Pendidikan PT. Bukit Asam Tbk. UPO Sawahluwung Talawi Sawahlunto Sumatera Barat. Bina Tambang, 8(2), 60-69.*
- [16] Ririn Yulianti, Pantjanita N. Hartamai 2022. *Penurunan Konsentrasi Gas Karbon Monoksida Dengan Model Fisik Terowongan Skala Laboratorium. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Volume 18, Nomor 1.*