

# Analisis Sistem Ventilasi untuk Meminimalisir Terjadinya Swabakar pada Tambang Batubara Bawah Tanah THC 04 CV. Tahiti Coal, Sangkar Puyuh, Talawi, Sawahlunto

Multavich<sup>1\*</sup>, Bambang Heriyadi<sup>1\*\*</sup>

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

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

[\\*\\*bambangh@ft.unp.ac.id](mailto:bambangh@ft.unp.ac.id)

**Abstract.** May 21, 2020 CV. Tahiti Coal has experienced a self-burning or also known as spontaneous combustion of coal (sponcom). The incident occurred at branch 401 B of the tunnel THC 01. Preventing the occurrence of sponcom in other mine tunnel, the research of ventilation system was carried out on the tunnel THC 04. This location was chosen because it has the potential to experience a sponcom. Research was conducted to obtain the causative factors that allow the occurrence of sponcom and continued with the design of ventilation systems to reduce the likelihood of sponcom. The results of this study show that the main factor that can conduce sponcom in the tunnel THC 04 is the lack of air quantity. The minimum quantity of air that can control heat and humidity is 8.7 m<sup>3</sup>/s, while the quantity of air in tunnel THC 04 is 3.03 m<sup>3</sup>/s. Based on measurements taken, the air temperature at THC 04 ranges from 29°C to 31°C, and humidity is between 90% to 100%. Therefore, the researchers designed the ventilation system by creating a translucent hole that leads to the surface and placing an exhaust fan at the end of the hole. This design can make the air quantity at THC 04 increase to 15.5 m<sup>3</sup>/s.

**Keywords:** Ventilation System, Sponcom, Self-burning, Underground Mining

## 1 Pendahuluan

CV. Tahiti Coal merupakan industri pertambangan batubara yang berada di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Pada daerah tersebut terdapat Cekungan Ombilin yang merupakan formasi pembawa batubara. Jika dilihat pada peta geologi regional lembar Solok oleh Silitongga dan Kastowo (1995), lokasi penambangan tersebut berada di Formasi Sangkarewang<sup>[15]</sup>. Formasi ini terdiri dari serpih gampingan sampai napar berwarna coklat kehitaman, berlapis halus dan mengandung fosil ikan serta tumbuhan yang diendapkan pada lingkungan air tawar (Koesoemadinata dan Matasak, 1981)<sup>[11]</sup>. Selain itu juga terdapat struktur geologi berupa lipatan dan patahan yang melintang di area lokasi penambangan.

Diketahui pada tanggal 21 Mei 2020 salah satu lubang tambang CV. Tahiti Coal yaitu cabang 401 B lubang THC 01 mengalami peristiwa *Spontaneous Combustion* (sponcom) atau di Indonesia lebih dikenal dengan swabakar. Swabakar adalah pembakaran batubara yang terjadi dengan sendirinya akibat adanya proses oksidasi. Menurut Rosema et al (2001)

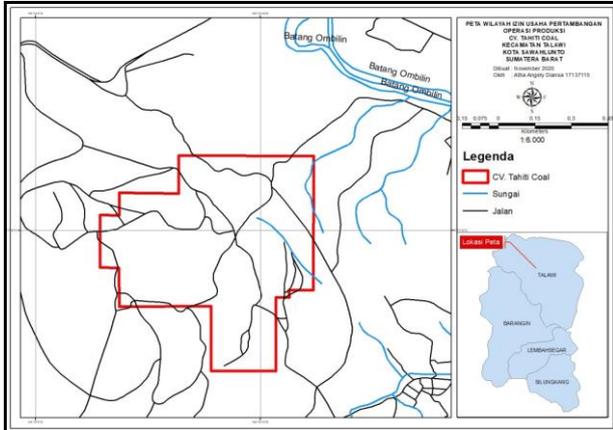
swabakar biasanya terjadi karena adanya suplai oksigen yang cukup tetapi panas yang dihasilkan tidak dapat dikeluarkan, sehingga oksigen kembali diserap oleh batubara dan menyebabkan naiknya suhu secara eksponensial yang pada akhirnya mengakibatkan pelarian termal dan pembakaran batubara<sup>[1]</sup>.

Peristiwa swabakar di lubang tambang THC 01 awalnya terjadi karena suhu yang panas pada lubang cabang atas yang merupakan lubang tempat aliran udara akhir. Selanjutnya terjadi ambrukan batubara yang menimbulkan banyak debu dan kemudian cabang tersebut ditinggal tanpa memberikan sekat (*seal off*). Sehingga banyak udara yang masuk ke dalam lubang tambang, dan mengakibatkan terjadinya proses oksidasi.

Penelitian ini dilakukan di lubang tambang THC 04 CV. Tahiti Coal, karena memiliki kesamaan ciri-ciri peristiwa dengan lubang THC 01 sehingga dinilai berpotensi untuk terjadinya swabakar. Pada lubang ini terdapat debu-debu halus batubara yang tidak dikeluarkan secara optimal, Selain itu juga pernah terjadi ambrukan di lubang bukaan serta terdapat patahan yang mana kedua hal tersebut dinilai dapat mengganggu sistem ventilasi pada tambang bawah tanah tersebut.

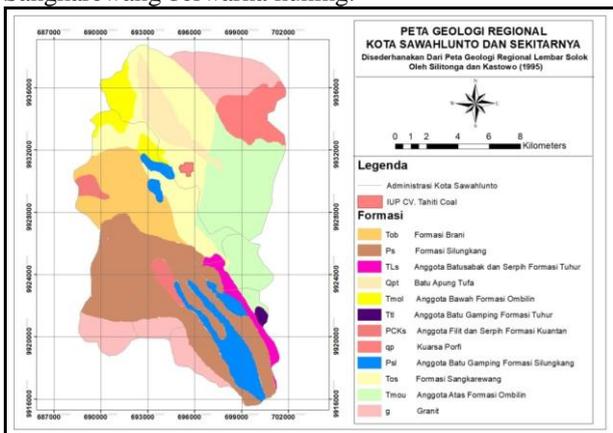
## 2 Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan CV. Tahiti Coal secara administratif terletak di Sangkar Puyuh, Desa Sijantang, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. Secara Geografis, wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) CV. Tahiti Coal terletak pada koordinat 100°45'06"-100°45'32" BT dan 00°37'20"-00°37'51" LS. Wilayah IUP tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Peta Wilayah IUP CV. Tahiti Coal

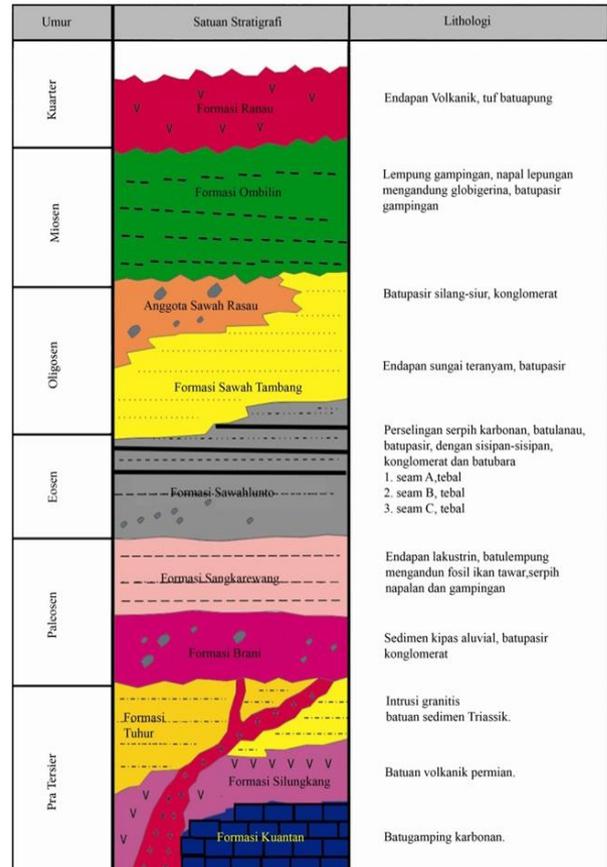
Dilihat pada peta geologi regional lembar Solok oleh Silitonga dan Kastowo (1995), CV. Tahiti Coal berada di Formasi Sangkarewang. Jika disederhanakan peta tersebut dapat dilihat pada gambar 2, dimana Formasi Sangkarewang berwarna kuning.



Gambar 2. Peta Geologi Regional Kota Sawahlunto

Lokasi penambangan CV. Tahiti Coal terletak dekat dengan daerah Sikalang. Menurut Finura et al (2019), struktur geologi yang terdapat di Sikalang dan sekitarnya adalah sinklin santur, antiklin kolok, sinklin kandih, sesar geser kolok, dan sesar geser sikalang<sup>[6]</sup>.

Berdasarkan umur batuan Koesoemadinata dan Matasak (1981) membagi Cekungan Ombilin menjadi dua bagian besar yaitu Pra-Tersier dan Tersier dengan urutan batuan dari tua ke muda seperti gambar 3.



Gambar 3. Stratigrafi Kota Sawahlunto

## 3 Landasan Teori

### 3.1 Ventilasi

#### 3.1.1 Sistem Ventilasi

Terdapat dua jenis sistem ventilasi pada tambang bawah tanah yaitu ventilasi alami dan ventilasi mekanik. Ventilasi alami (*natural ventilation*) adalah aliran udara yang terjadi secara alami akibat adanya perbedaan temperatur atau bobot isi udara pada dua titik yang berhubungan. Sedangkan, ventilasi mekanik (*mechanical ventilation*) merupakan ventilasi yang menggunakan alat mekanis untuk menimbulkan perbedaan tekanan sehingga udara dapat mengalir.

Berdasarkan letak *fan* ventilasi mekanis dapat dibedakan menjadi tiga sistem, yaitu:

##### 3.1.1.1 Sistem Hembus (*Forcing System*)

merupakan sistem ventilasi yang menghembuskan udara bertekanan positif ke front kerja menggunakan saluran (*duct*).

##### 3.1.1.2 Sistem Hisap (*Exhausting System*)

merupakan sistem ventilasi menghirup udara di front kerja sehingga tekanannya menjadi negatif.

### 3.1.1.3 Sistem Hembus-Hisap (*Overlap System*)

merupakan sistem ventilasi yang menggunakan dua jenis *fan* yang memiliki fungsi berbeda.

### 3.1.2 Pengendalian Kualitas Udara

Beberapa parameter pengendalian kualitas udara adalah sebagai berikut:

#### 3.1.2.1 Kandungan Udara

Pramod Thakur (*Advanced Mine Ventilation*, 2018) berpendapat bahwa untuk satu ton batubara dibutuhkan 20 ton udara segar dengan kandungan seperti tabel 1<sup>[16]</sup>.

**Tabel 1.** Komposisi Udara Segar

Unsur	Volume (%)	Berat (%)
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	78.09	75.53
Oksigen (O <sub>2</sub> )	20.95	23.14
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	0.03	0.046
Argon (Ar)	0.93	1.284

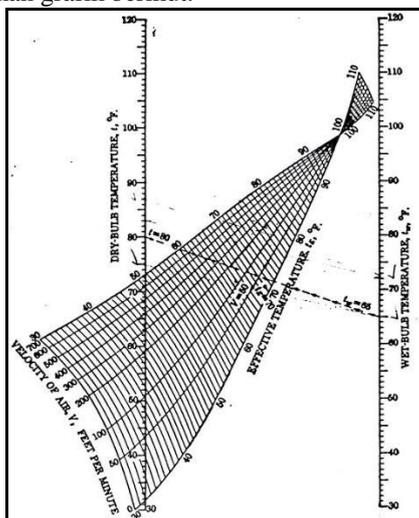
Selain unsur-unsur pada udara segar pada tambang bawah tanah juga terdapat gas-gas pengotor. Gas tersebut dapat berupa, Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Karbon Monoksida, Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S), Methane (CH<sub>4</sub>), Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>), dan Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>).

#### 3.1.2.2 Debu

Debu adalah partikel padat yang memiliki ukuran lebih kecil dari 100 μm ( 1 μm = 10<sup>-4</sup> cm) yang bisa dibawa dan disebarkan oleh udara. Debu batubara jika bertebaran di dalam tambang dapat menimbulkan dua macam bahaya, yaitu ledakan debu batubara dan pneumoconiosis pada pekerja. Ledakan dapat terjadi minimal jika konsentrasi debu batubara 86.5 g/m<sup>3</sup> udara.

#### 3.1.2.3 Temperatur Efektif

Mengatur panas dan kelembapan udara area kerja merupakan fungsi dari ventilasi pada tambang bawah tanah sehingga dapat menciptakan suasana/lingkungan kerja yang nyaman. Cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai temperature efektif adalah menggunakan grafik berikut.



**Gambar 4.** Grafik Temperatur Efektif

### 3.1.2.4 Kelembapan Udara

Pada tambang bawah tanah, udara yang terdapat tidak selalu udara kering tetapi juga terdapat uap air yang mana nantinya akan mempengaruhi kelembapan pada lubang. Ketika udara luar lebih dingin dari udara tambang (musim dingin), udara yang masuk dihangatkan dengan cepat ke suhu tambang. Sehingga selama musim dingin efek dari arus ventilasi adalah mengeringkan tambang dan kelembapan relatifnya rendah. Namun sebaliknya terjadi ketika dalam keadaan musim panas efek dari arus ventilasi melembapkan dan kelembapan relatifnya menjadi tinggi (Wang Xinyang, 2020)<sup>[17]</sup>.

### 3.1.3 Pengendalian Kuantitas Udara

Kuantitas udara adalah jumlah udara yang berhembus dengan kecepatan tertentu melalui ruang yang memiliki luas tertentu diukur setiap satuan waktu. Sehingga untuk mendapatkan kuantitas udara dalam tambang dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: Q :kuantitas udara,( m<sup>3</sup>/detik)  
 V :kecepatan aliran udara tambang, ( m/detik)  
 A :luas penampang jalan udara tambang (m<sup>2</sup>)

## 3.2 Swabakar (*Spontaneous Combustion*)

### 3.2.1 Pengertian Swabakar

*Spontaneous combustion* yang bisa disingkat menjadi sponcom atau di Indonesia lebih dikenal dengan istilah swabakar adalah pembakaran batubara yang terjadi dengan sendirinya akibat adanya proses oksidasi. Wang Xinyang (2020) dalam bukunya yang berjudul *Spontaneous Combustion of Coal* mengutip dari jurnal Rosema et al (2001) menyatakan bahwa swabakar biasanya terjadi karena adanya suplai oksigen yang cukup tetapi panas yang dihasilkan tidak dapat dikeluarkan, sehingga seiring dengan proses oksidasi panas tersebut akan kembali diserap oleh batubara dan menyebabkan naiknya suhu secara eksponensial yang pada akhirnya mengakibatkan pelarian termal dan pembakaran batubara<sup>[1]</sup>.

Pada temperatur dibawah 40°C interaksi antara batubara dan oksigen disebabkan oleh penyerapan oksigen secara fisik dan kimia pada pori-pori batubara sehingga terbentuk kompleks oksigen-batubara yang tidak stabil. Kemudian pada suhu 40°C sampai 70°C seyawa *oxy* yang tidak stabil terurai menjadi produk gas dan *oxy* yang stabil. Selanjutnya pada suhu diatas 70°C kompleks *oxy* stabil rusak dan menghasilkan senyawa aktif baru untuk oksidasi batubara. Sehingga nantinya terbentuk gas karbon dioksida, karbon monoksida, metana, hidrogen, etana, etilen, dan hidro karbon tinggi lainnya (Jun Xie et al, 2011)<sup>[19]</sup>.

### 3.2.2 Penyebab Swabakar

Liang Yuntao et al (2018) menyatakan penyebab terjadinya swabakar pada tambang bawah tanah dengan metode longwall mining adalah karena adanya faktor internal berupa kondisi geologi yang tidak dapat dikendalikan dan faktor eksternal berupa susunan panel penambangan, jaringan sistem ventilasi, dan rencana penambangan<sup>[22]</sup>.

Wang Xinyang (2020) dalam bukunya memaparkan faktor-faktor yang dapat menyebabkan swabakar adalah sebagai berikut<sup>[17]</sup>:

#### 3.2.2.1 Faktor Internal

##### 3.2.2.1.1 Struktur Kimia Batubara

Ogunsola and Mikula (1992) menyimpulkan semakin sedikit kandungan oksigen dalam batubara maka semakin sedikit kemungkinan terjadinya swabakar. Batubara yang paling banyak mengikat atom O adalah batubara kelas rendah dan yang paling sedikit adalah batubara kelas tinggi. Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan struktur kimia batubara yang mudah mengalami swabakar adalah batubara kelas rendah.

##### 3.2.2.1.2 Parameter Komposisi Batubara

*Moisture* atau kelembapan memberi pengaruh pada swabakar melalui dua proses yaitu pemanasan pertama terjadi ketika pelepasan uap air oleh batubara. Selanjutnya pemanasan kedua terjadi ketika batubara kembali diberi air.

Proporsi gas yang tidak mudah terbakar meningkat seiring dengan penurunan kelas batubara dan semakin tinggi jumlah *volatile matter* dalam batubara semakin besar kemungkinan terjadinya swabakar.

*Ash* (abu) adalah residu yang berasal dari bahan mineral selama insinerasi lengkap dari batubara. Kadar abu dianggap memiliki efek penghambat pada peristiwa swabakar. Maka semakin tinggi kadar abu semakin kecil kemungkinan terjadinya swabakar.

##### 3.2.2.1.3 Kehadiran Pirit

Kehadiran pirit tidak berkontribusi langsung dalam terjadinya peristiwa swabakar. Tetapi dalam kondisi tertentu pirit dalam batubara dapat teroksidasi dengan cepat dan mungkin menjadi faktor yang mendominasi terjadinya swabakar.

##### 3.2.2.1.4 Porositas

Falcon dan Ham (1988) menyebutkan bahwa porositas merupakan karakteristik penting yang mempengaruhi swabakar karena yang pertama porositas memberikan indikasi total luas permukaan yang dapat mengalami oksidasi dan kedua porositas memberikan ruang untuk menyimpan air dan gas pada batubara.

#### 3.2.2.2 Faktor Eksternal

##### 3.2.2.2.1 Kelembapan

Kelembapan biasanya memfasilitasi terjadinya oksidasi, yang mana bila udara lembab mengalir diatas batubara kering dapat menimbulkan panas pada batubara. Sebagai contoh, ketika tumpukan batubara yang baru ditambang

diletakkan diatas tumpukan batubara lama yang kering dapat menimbulkan panas antarmuka mereka.

##### 3.2.2.2.2 Ukuran Partikel

Laju oksidasi memiliki hubungan linear dengan luas permukaan batubara dimana partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih besar per satuan volume partikel batubara. Sehingga semakin kecil ukuran partikel batubara semakin besar area permukaan yang terkena oksidasi sehingga melepaskan lebih banyak panas persatuan volume batubara.

##### 3.2.2.2.3 Efek Penuaan

Penuaan batubara mengacu pada perubahan fisik dan kimia batubara ketika terpapar ke udara dan dioksidasi oleh oksigen. Semakin lama waktu penyimpanan batubara semakin berkurang kemungkinan terjadinya swabakar.

### 3.2.3 Pendeteksian Dini Swabakar

Swabakar dapat dideteksi secara dini dengan melakukan beberapa hal berikut:

#### 3.2.3.1 Pengukuran konsentrasi gas metan

#### 3.2.3.2 Pengukuran konsentrasi gas karbon monoksida

#### 3.2.3.3 Pengukuran konsentrasi gas karbon dioksida

#### 3.2.3.4 Pengukuran temperatur

#### 3.2.3.5 Pengukuran kelembapan udara

#### 3.2.3.6 Pemeriksaan adanya bau-bauan yang merupakan indikator swabakar.

#### 3.2.3.7 Melihat adanya asap putih atau nyala api.

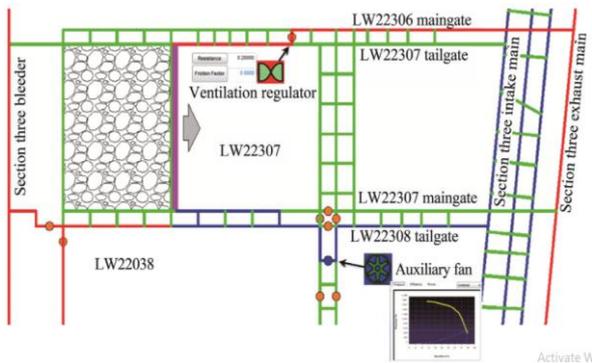
### 3.3 Cara Meminimalisir Swabakar

#### 3.3.1 Pengoptimalan Ventilasi

Liang Yuntao et al (2018) memaparkan dua cara yang terbukti dapat mengoptimalkan sistem ventilasi untuk mengatur swabakar adalah sebagai berikut<sup>[22]</sup>:

##### 3.3.1.1 Memberi tekanan pada panel longwall

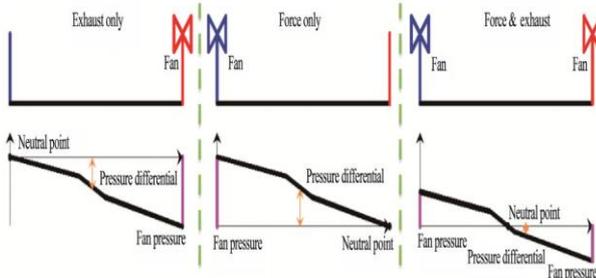
Solusi ini memberikan tekanan positif dengan mengaplikasikan kipas tambahan dan beberapa perangkat control ventilasi pada awal panel untuk mengimbangi tekanan yang hilang di saluran udara sebelumnya. Sehingga dapat mengurangi perbedaan tekanan dan memberikan suplai oksigen yang dibutuhkan. Berikut ilustrasi dari jaringan sistem ventilasi dengan memberikan tekanan positif pada panel.



**Gambar 5.** Ilustrasi Jaringan Sistem Ventilasi Pemberian Tekanan Positif

### 3.3.1.2 Penerapan sistem ventilasi Overlap

Sistem ini memanfaatkan dua sistem hisap dan hembus dengan cara ini perbedaan tekanan antara luar dan dalam tambang bisa berkurang secara signifikan. Mekanismenya dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 6.** Skema Penurunan Tekanan

### 3.3.2 Penanganan Debu Batubara

Rosema et al (2001) menyatakan bahwa menghilangkan debu-debu halus batubara merupakan hal yang harus dilakukan agar tidak terjadi swabakar. Selain melalui ventilasi, debu batubara juga dapat dinetralisir menggunakan batu kapur (*limestone*)<sup>[1]</sup>.

Penggunaan debu batuan di tambang batubara bawah tanah dapat menghilangkan panas sehingga nyala api dapat dihilangkan dan penyebaran ledakan dalam sistem ventilasi dapat dicegah. Debu batuan yang diaplikasikan dapat berfungsi sebagai isolator, *heat sink* fisik dan penyerapan energi kimiawi. (Yi lu et al, 2017).

## 4 Metode Penelitian

### 4.1 Jenis Penelitian

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah (Sugiono, 2010). Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk.

## 4.2 Tahapan Penelitian

### 4.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan penelitian melalui buku-buku, laporan dan jurnal penelitian berkaitan maupun literatur dari internet. Adapun studi literatur yang dilakukan meliputi deskripsi daerah penelitian, teori mengenai ventilasi dan teori mengenai swabakar.

### 4.2.2 Observasi Lapangan

Observasi lapangan adalah kegiatan peninjauan lapangan langsung untuk mengamati kondisi daerah penelitian dan kegiatan penambangan di lokasi tersebut.

### 4.2.3 Perumusan Masalah

Rumusan masalah disusun berdasarkan observasi lapangan untuk menjawab permasalahan dan menemukan solusi terhadap kegiatan produksi batubara di lubang bawah tanah.

### 4.2.4 Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan dua metode pengambilan data, yaitu:

4.2.4.1 *Data Primer*, diperoleh dari pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan. Data primer yang diperlukan adalah:

- Dimensi penampang terowongan
- Dimensi penampang duct
- Kecepatan aliran udara
- Kandungan gas
- Temperatur udara
- Kelembapan udara
- Kuantitas debu

4.2.4.2 *Data Sekunder*, diperoleh dari data-data yang sudah ada di CV. Tahiti Coal pada waktu penelitian di lapangan. Data swkunder yang diperlukan adalah:

- Spesifikasi *fan*
- Peta *layout* tambang bawah tanah
- Data produksi
- Data ukur lubang tambang

### 4.2.5 Pengolahan Data

Teknik pengolahan data bertujuan untuk mengetahui bagaimana cara dan proses untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi sesuai dengan tujuan yang sudah ditetapkan. Kegiatan pengolahan data yang dilakukan adalah:

4.2.5.1 Analisis sistem ventilasi tambang untuk mendapatkan kondisi aktual berupa kualitas dan kuantitas udara pada lubang tambang THC 04 CV. Tahiti Coal.

4.2.5.2 Pendeteksian dini terhadap kemungkinan faktor penyebab terjadinya swabakar berdasarkan keadaan aktual kuantitas dan kualitas udara.

4.2.5.3 Rancangan sistem ventilasi yang dapat mengontrol swabakar menggunakan ventsim. Dalam perancangan sistem ventilasi tersebut akan disesuaikan dengan aturan pada Keputusan Menteri ESDM No. 1827/K/30/MEM/2018 dan Keputusan Direktur Jenderal Kementerian ESDM No. 185.K/37.04/DJB/2019.

## 5 Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Hasil Penelitian

#### 5.1.1 Kandungan Gas

Kandungan gas dalam tambang diukur menggunakan *Multigas Detector*, dimana alat ini diarahkan ke sekeliling penampang stasiun pengamatan di lubang tambang dengan cara konstan.

Tabel 2. Data Kandungan Gas THC 04

Lokasi		CO (%)	H <sub>2</sub> S (%)	O <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)
C1	Jalur	0	0	20.4	0
	Front	0	0	20.4	0
C1 Kiri	Jalur	0	0	20.9	0
	Front	-	-	-	-
C2	Jalur	0	0	20.5	0
	Front	0	0	20.5	0
C3	Jalur	0	0	20.9	0
	Front	-	-	-	-
C4	Jalur	0	0	20.8	0
	Front	0	0	20.8	0
C5	Jalur	0	0	20.7	0
	Front	0	0	20.7	0
C6	Jalur	0	0	20.9	0
	Front	0	0	20.9	0
C7	Jalur	0	0	20.9	0
	Front	0	0	20.9	0
MAJU	Jalur	0	0	20.9	0
	Front	0	0	20.9	0

#### 5.1.2 Temperatur Efektif dan Kelembapan Udara

Temperature dan kelembapan udara dalam tambang diukur menggunakan alat *Heat Stress Monitor*, dimana alat ini diletakkan di lokasi tempat pengukuran.

Temperatur efektif dapat dicari menggunakan grafik temperatur efektif. Untuk menggunakan grafik ini terlebih dahulu satuan suhu diubah dari °C ke °F serta satuan kecepatan udara diubah dari meter/detik (m/s) ke feet/menit (ft/m). Setelah itu pembacaan dapat dilakukan yang nantinya akan didapatkan temperature efektif dengan satuan °F. Oleh karena itu, untuk lebih memahaminya akan diubah kembali menjadi °C.

Tabel 3. Temperatur Efektif dan Kelembapan Udara THC 04

Lokasi	TD (°C)	TW (°C)	TE (°C)	Rh (%)
C1	31.0	30.9	29.4	100
C1 Kiri	31.7	30.6	31.1	90
C2	31.4	31.3	30	99
C3	31.4	30.5	30	92
C4	31.6	31.1	30	96
C5	31.4	31.1	29.7	95
C6	31.9	31.2	30	91
C7	31.1	30.7	29.1	93
Maju	31.6	31.3	29.7	94

#### 5.1.3 Kuantitas Udara THC 04

Kuantitas atau jumlah udara yang mengalir disetiap percabangan lubang tambang THC 04 dapat diukur menggunakan persamaan (1).

Tabel 4. Kuantitas Udara THC 04

Lokasi	Luas Tunnel (m <sup>2</sup> )	Luas Duct (m <sup>2</sup> )	Selisih Luas Tunnel & Duct	Kecepatan Udara (m/s)	Kuantitas (m <sup>3</sup> /s)
C1	6.1	0.13	5.9	0.61	3.59
C1 Kiri	5.8	-	5.8	0.01	0.06
C2	6.3	0.13	6.2	0.59	3.66
C3	5.8	-	5.8	0.2	1.16
C4	5.8	0.13	5.7	0.65	3.71
C5	5.8	0.13	5.7	0.62	3.53
C6	5.6	0.13	5.5	0.74	4.07
C7	5.8	0.13	5.7	0.67	3.82
Maju	5.8	0.17+ 0.13	5.5	0.67	3.69
<b>Rata-rata</b>					3.03

#### 5.1.4 Data Debu

Kuantitas debu batubara diukur secara konvensional dengan menggunakan alat berupa corong yang didalamnya diisi dengan kapas. Fungsi dari kapas ini adalah sebagai penyaring udara sehingga debu dapat menempel di kapas. Kuantitas debu dapat diukur dengan mengurangi berat kapas sesudah dan sebelum digunakan sebagai filter.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kuantitas Debu THC 04

Tanggal	Berat Kapas (g)	
	Sebelum	Sesudah
10 Juni 2021	10	10
11 Juni 2021	12	12
12 Juni 2021	11	11

#### 5.1.5 Kebutuhan Udara pada THC 04

Perkiraan kuantitas udara yang dibutuhkan pada lubang THC 04 adalah 11.34 m<sup>3</sup>/s dengan rincian sebagai berikut:

### 5.1.5.1 Kebutuhan Udara pada Front Kerja

**Tabel 6.** Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara untuk Pernafasan pada Front Kerja

Lokasi	Jumlah Pekerja (Orang)	Kebutuhan Udara Setiap Orang (m <sup>3</sup> /mnt)	Total Kebutuhan Udara (m <sup>3</sup> /dtk)
C1	3	2	0.1
C2	3	2	0.1
C4	3	2	0.1
C5	3	2	0.1
C6	3	2	0.1
C7	3	2	0.1
<b>Total</b>			<b>0.6</b>

### 5.1.5.2 Kebutuhan Udara untuk Alat

**Tabel 7.** Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara untuk Alat

Alat	HP	Jumlah	Kebutuhan Udara (m <sup>3</sup> /dtk)
Blower	2.01	6	0.6
Pompa	2.01	9	0.9
Lampu	0.01	44	0.02
Jack	1.74	6	0.52
<b>Total</b>			<b>2.04</b>

### 5.1.5.3 Kebutuhan Udara untuk Mengontrol Panas dan Kelembapan

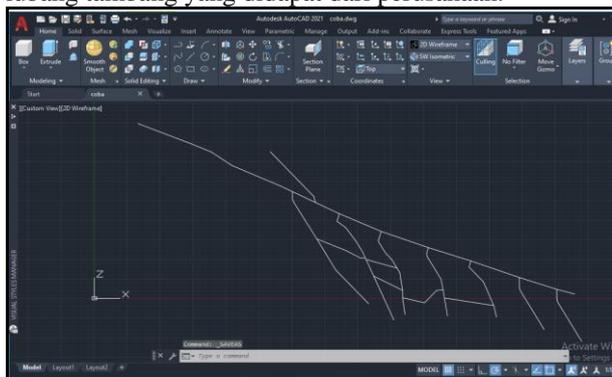
$$Q = V \times A$$

$$Q = 1.5 \times 5.8$$

$$Q = 8.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

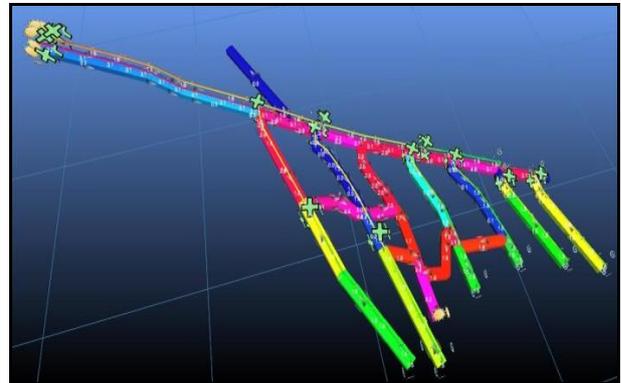
### 5.1.6 Simulasi Ventilasi

Sistem ventilasi pada lubang tambang THC 04 disimulasikan menggunakan aplikasi Ventsim. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah pembuatan *layout* lubang penambangan berupa garis menggunakan aplikasi Autocad. Pembuatan *layout* ini berdasarkan data ukur lubang tambang yang didapat dari perusahaan.



**Gambar 7.** Layout Garis THC 04

Setelah pembuatan *layout* selesai barulah di *import* ke aplikasi Ventsim. Kemudian dilakukan pengaturan bentuk, ukuran, dan jenis dari setiap lubang tambang. Setelah itu dilanjutkan dengan menempatkan *fan* dan *duct* sesuai dengan keadaan di lapangan. Dimana karakteristik dari *fan* dan *duct* diatur sesuai dengan data yang didapat dari perusahaan. Selanjutnya aplikasi ventsim diatur agar dapat menampilkan arah aliran dan kuantitas udara dalam tambang.



**Gambar 8.** Hasil Simulasi Ventilasi THC 04

Pada gambar hasil simulasi ventilasi THC 04 terdapat beberapa warna yang menjelaskan kuantitas udara yang terdapat pada lubang tambang. Keterangan dari setiap warna dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.

Warna	Kuantitas
Orange	> 5.8
Red	5.8
Yellow	1.6
Green	1.5
Cyan	1.1
Blue	0.0
Dark Blue	< 0.0

**Gambar 9.** Keterangan Warna Gambar Hasil Simulasi Ventilasi THC 04

Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui bahwa terdapat beberapa lokasi yang kuantitas udaranya sangat minim. Lokasi minim udara tersebut umumnya berada dari awal mulut cabang sampai ke area *cross cut* penghubung antara dua cabang. Selain itu juga diketahui bahwa kuantitas udara yang keluar dari sistem ventilasi tersebut adalah 5.2 m<sup>3</sup>/dtk. Dimana udara akan keluar melalui cabang tiga yang telah tembus ke permukaan. Secara umum jumlah udara masuk sama dengan jumlah udara keluar. Jika diuraikan udara yang masuk ke dalam lubang THC 04 berasal dari:

**Tabel 8.** Sumber Udara THC 04

Sumber Udara	Kuantitas Udara (m <sup>3</sup> /s)
Main fan ukuran 18"	3.33
Mian fan ukuran 16"	1.6
Mulut lubang	0.3

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.5 Keadaan Aktual Kuantitas dan Kualitas Udara

#### 5.2.5.1 Kuantitas Udara

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa jumlah udara untuk mengontrol panas dan kelembapan sesuai yang diatur oleh Departemen ESDM BDTBT (2009: 27) adalah sebanyak 8.7 m<sup>3</sup>/dtk. Sesuai dengan kondisi ketika dilakukan pengukuran di lubang THC 04 diketahui bahwa jumlah kebutuhan udara masih belum dapat terpenuhi. Rata-rata sistem ventilasi yang diterapkan pada lubang tambang THC 04 hanya dapat memenuhi kebutuhan udara sebanyak 3.03 m<sup>3</sup>/dtk. Sehingga dapat dinyatakan jika kebutuhan udara tidak terpenuhi maka sistem ventilasi tersebut tidak dapat mengontrol panas dan kelembapan udara di dalam tambang THC 04.

#### 5.2.5.2 Kandungan Gas

Berdasarkan KEPDIRJEN Minerba Kementerian ESDM No. 185.K/37.04/DJB/2019 kondisi kandungan gas pada THC 04 dapat dinyatakan aman.

**Tabel 8.** Kondisi Konsentrasi Gas pada THC 04

Gas	Konsentrasi pada Tunnel	Konsentrasi yang Dijinkan	Kondisi
H <sub>2</sub> S	0	< 0.001%	Aman
CO	0	< 0.005%	Aman
O <sub>2</sub>	20.4 – 20.9	> 19.5%	Aman
CH <sub>4</sub>	0	< 0.25%	Aman

#### 5.2.5.3 Temperatur Udara

Berdasarkan hasil pengolahan diketahui bahwa temperatur pada lubang tambang THC 04 antara 29°C sampai dengan 31 °C disetiap percabangan. Berpedoman kepada KEPDIRJEN Minerba Kementerian ESDM No. 185.K/37.04/DJB/2019 temperatur pada lubang tambang THC 04 tidak aman karena seharusnya temperatur udara dipertahankan antara 18°C sampai 27°C. Sesuai dengan pernyataan Jun Xie et al (2011) maka pada suhu ini akan terbentuk kompleks oksigen – batubara yang tidak stabil karena adanya penyerapan oksigen secara fisik dan kimia pada pori-pori batubara.

#### 5.2.5.4 Kelembapan Udara

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan disetiap lubang tambang THC 04, didapatkan rentang nilai kelembapan berkisar antara 90% sampai dengan 100%. Jika dibandingkan dengan KEPDIRJEN Minerba Kementerian ESDM No. 185.K/37.04/DJB/2019 keadaan ini tidak aman, karena seharusnya kelembapan udara tidak boleh melebihi 85%. Kondisi yang tidak aman ini nantinya dapat menjadi sumber panas pada lubang tambang. Seperti yang dinyatakan oleh Wang Xinyang (2020) bahwa kelembapan memfasilitasi terjadinya oksidasi karena dapat menimbulkan panas.

#### 5.2.5.5 Kuantitas Debu

Pengukuran debu yang dilakukan secara konvensional tidak dapat menunjukkan jumlah dari debu yang ada pada lubang tambang THC 04. Karena setelah dilakukan pengukuran berat kapas sesudah dan sebelum dibawa masuk kedalam lubang tidak menunjukkan perubahan berat. Diperkirakan hal ini terjadi ukuran debu yang sangat halus dengan massa yang ringan sehingga tidak dapat ditimbang menggunakan timbangan gram (gr).

#### 5.2.6 Faktor Kemungkinan Penyebab Swabakar

Berdasarkan penjelasan tentang keadaan aktual kuantitas dan kualitas udara sebelumnya, dapat diketahui bahwa faktor kemungkinan penyebab terjadinya swabakar pada lubang THC 04 adalah kurangnya kuantitas udara dalam tambang. Udara pada tambang bawah tanah dibutuhkan untuk pernafasan bagi pekerja, mendilusi gas metan, serta mengontrol panas dan kelembapan. Diketahui total kebutuhan udara pada lubang tambang THC 04 sebanyak 11.34 m<sup>3</sup>/dtk, sedangkan kuantitas udara pada THC 04 sekarang adalah 3.03 m<sup>3</sup>/dtk.

Kelembapan merupakan fasilitas untuk terjadinya oksidasi karena bila udara lembab mengalir diatas batubara kering dapat menimbulkan panas pada batubara. Selain itu dengan kelembapan yang tinggi dalam jangka waktu yang panjang nantinya dapat mengakibatkan temperatur menjadi naik.

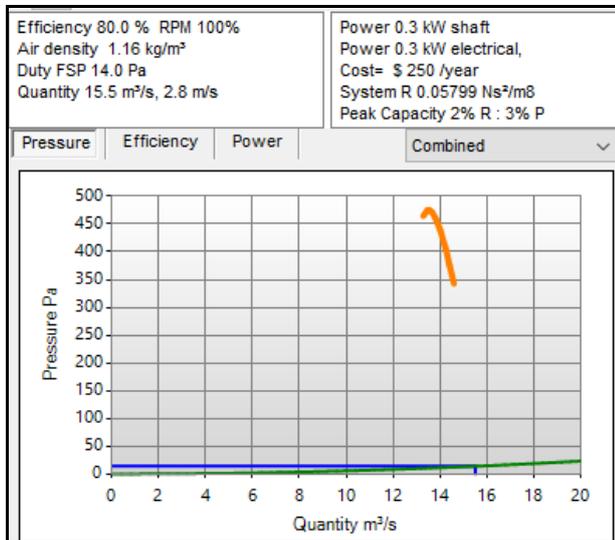
Ketika temperatur pada lubang tambang naik secara berkelanjutan maka proses oksidasi akan berlanjut ketahap berikutnya dan menghasilkan senyawa aktif baru untuk oksidasi batubara. Kemudian hal ini akan dilanjutkan dengan terbentuknya gas yang dapat terbakar yang nantinya dapat memicu terjadinya swabakar pada lubang tambang THC 04.

Berdasarkan simulasi ventilasi lubang tambang THC 04 yang telah dilakukan menggunakan aplikasi Ventsim. Diperkirakan bahwa lokasi yang memungkinkan terjadinya swabakar adalah lokasi yang berwarna biru dongker (kuantitas udara kecil dari 1.1 m<sup>3</sup>/dtk) karena pada area tersebut udara yang mengalir sangat kecil. Selain itu, dilihat dari arah aliran udara diketahui bahwa sirkulasi udara dalam tambang tidak berjalan dengan baik. Sehingga dapat disimpulkan sistem ventilasi yang diterapkan sekarang tidak dapat bekerja secara optimal untuk mengatur kelembapan dan temperatur, serta mengeluarkan debu-debu halus hasil penambangan.

#### 5.2.7 Rancangan Sistem Ventilasi

Berdasarkan pendapat Liang Yuntao et al (2018) pengoptimalan ventilasi untuk meminimalisir swabakar dapat dilakukan dua cara yaitu pemberian tekanan dan penerapan sistem ventilasi *overlap*. Setelah dilakukan beberapa simulasi didapati bahwa penerapan sistem ventilasi *overlap* lebih efektif untuk meningkatkan kuantitas udara dalam tambang THC 04.

Sistem ventilasi ini dilakukan dengan membuat lubang tembusan dari cabang C1 kiri ke arah permukaan dengan elevasi 20° dan panjang kurang lebih 50 meter. Ujung lubang tembusan akan diberi *exhaust fan* untuk menghisap udara yang ada di dalam lubang tambang, dengan karakteristik *fan* dapat dilihat pada gambar. *Main fan* yang berukuran 16 inci tidak lagi digunakan karena kebutuhan udara telah terpenuhi. Serta *main fan* yang berukuran 18 inci diletakkan di dekat cabang C1.



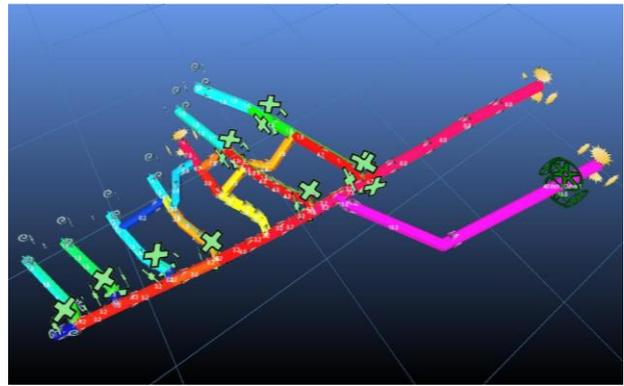
Gambar 10. Karakteristik *Exhaust Fan*

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa jumlah udara yang dihisap oleh *exhaust fan* adalah 15.5 m³/dtk. Jika dibandingkan dengan sistem ventilasi yang diterapkan sekarang kuantitas udara yang masuk lebih banyak. Perbandingan jumlah udara masuk pada sistem ventilasi yang diterapkan sekarang dengan rancangan sistem ventilasi baru dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9. Perbandingan Kuantitas Udara

Sumber Udara	Kuantitas Udara Sistem Ventilasi Sekarang (m³/dtk)	Kuantitas Udara Rancangan Sistem Ventilasi Baru (m³/dtk)
Main fan ukuran 18"	3.33	-
Main fan ukuran 16"	1.6	-
Mulut Lubang	0.3	8
Tembusan Lubang C3	-	7.5
<b>Total</b>	<b>5.2</b>	<b>15.5</b>

Simulasi rancangan sistem ventilasi dengan penambahan *exhaust fan* dapat dilihat pada gambar 11, dan keterangan warna dari gambar tersebut dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 11. Simulasi Rancangan Sistem Ventilasi Baru THC 04



Gambar 12. Keterangan Warna Simulasi Rancangan Sistem Ventilasi Baru THC 04

## 6 Kesimpulan dan Saran

### 6.1 Kesimpulan

6.1.1 Keadaan aktual kuantitas dan kualitas pada lubang tambang THC 04 CV. Tahiti Coal berdasarkan hasil pengukuran adalah sebagai berikut:

6.1.1.1 Kuantitas udara sebanyak 3.03 m³/dtk.

6.1.1.2 Konsentrasi kandungan sebagai berikut:

H <sub>2</sub> S	: 0%
CO	: 0%
O <sub>2</sub>	: 20.4% sampai 20.9%
CH <sub>4</sub>	: 0%

6.1.1.3 Temperatur udara antara 29°C sampai 31°C.

6.1.1.4 Kelembapan udara antara 90% sampai 100%.

6.1.1.5 Debu berukuran sangat halus dan memiliki massa yang sangat ringan.

6.1.2 Faktor kemungkinan penyebab terjadinya swabakar pada lubang THC 04 CV. Tahiti Coal adalah kuantitas udara yang kurang, sehingga meningkatkan suhu dan kelembapan pada lubang tersebut. Kuantitas udara yang dibutuhkan pada THC 04 adalah 11.34 m³/dtk, sedangkan kuantitas udara yang dihasilkan dari sistem ventilasi yang diterapkan sekarang adalah 3.03 m³/dtk.

6.1.3 Rancangan sistem ventilasi yang dapat meningkatkan kuantitas udara pada lubang tambang THC 04 adalah dengan cara pemberian tekanan. Sistem ventilasi ini dilakukan dengan membuat lubang tembusan pada cabang C1 kiri dan pemberian *exhaust fan* di ujung tembusan lubang. Sehingga jumlah udara masuk ke dalam lubang tambang yang awalnya sebanyak 3.03 m<sup>3</sup>/dtk dapat meningkat menjadi 15.5 m<sup>3</sup>/dtk.

## 6.2 Saran

6.2.1 Perlu adanya peningkatan terhadap kuantitas udara guna memenuhi kebutuhan udara serta mengontrol panas dan kelembapan di dalam lubang tambang THC 04.

6.2.2 Pengelola tambang perlu memusatkan perhatian terhadap pengoptimalan sistem ventilasi, sehingga faktor-faktor penyebab terjadinya swabakar dapat dikendalikan.

6.2.3 Pengoptimalan sistem ventilasi dapat dilakukan sesuai dengan skema yang dilakukan oleh peneliti, guna mengontrol panas dan kelembapan untuk mencegah terjadinya swabakar.

## Daftar Pustaka

- [1] Rosema., et al. (2001). *Simulation of Spontaneous Combustion, to Study The Causes of Coal Fires in the Rujigou Basin*. Fuel, **80**, 7-16.
- [2] Anonim. *Diktat Ventilasi Tambang UNP*.
- [3] Arif, Irwandy. (2014). *Batubara Indonesia*. Jakarta: PT. Gramedia.
- [4] Asmunandar, A. (2018). *Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi pada Lubang Tambang BMK-35 CV. Bara Mitra Kencana, Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kota Sawahlunto*. Jurnal Bina Tambang, **3** (3), 1333-1142.
- [5] Bungo. R.P., (2020). *Evaluasi dan Penyesuaian Sistem Ventilasi pada Tambang Batubara Bawah Tanah Lubang 02 PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat*. Jurnal Bina Tambang, **5** (4), 21-30.
- [6] Finura, F, dkk. (2019). *Geologi Daerah Sikalang dan Sekitarnya, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat*. Jurnal Online Mahasiswa Bidang teknik Geologi.
- [7] Hartman, L.H., et al. (1997). *Mine Ventilation and Air Conditioning*. Canada: A Wiley-Interscience Publication.
- [8] Keith, W., et al. (2015). *The Practice of Mine Ventilation Engineering*. International Journal of Mining Science and Technology, **25** (2), 165-169.
- [9] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
- [10] Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 185.K/37.04/DJB/2019 tentang Petunjuk Teknis Pelaksanaan, Penilaian, dan Pelaporan Sistem Manajemen Keselamatan Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [11] Koesoemadinata dan Matasak. (1981). *Proceedings Indonesian Petroleum Association. Stratigraphy and Sedimentation Ombilin Basin Central Sumatra (West Sumatra Province)*. 217-249.
- [12] Liang, Yuntao., et al. (2019). *Forecasting Spontaneous Combustion of Coal in Underground Coal Mines by Index Gases: A Review*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **57**, 208-222.
- [13] Oktavianingsih, A. (2021). *Analisis Kebutuhan Udara dan Sistem Ventilasi pada Tambang Batubara Bawah Tanah Lubang CBP 02 PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat*. Journals Mining Engineering: Jurnal Bina Tambang, **6** (2), 184-196.
- [14] Sierra, Charlos. (2020). *Mine Ventilation A Concise Guide for Student*. Switzerland: Springer
- [15] Silitonga dan Kastowo. (1995). *Peta Geologi Lembar Solok*.
- [16] Thakur, Pramod. (2019). *Advanced Mine Ventilation Respirable Coal, Combustible Gas and Mine Fire Control*. United Kingdom: Woodhead Publishing.
- [17] Wang, Xinyang. (2020). *Pontaneous Combustion Coal Characteristics, Evaluation and Risk Assessment*. Switzerland: Springer.
- [18] Widodo. N.P., et al. (2020). *Studi Pembakaran Spontan Batubara Menggunakan Metode Pemanasan Adiabatik pada Skala Laboratorium*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, **16** (2), 81-91.
- [19] Xie, Jun., et al. (2011). *Early Detection of Spontaneous Combustion of Coal in Underground Coal Mines with Development of an Ethylene Enriching System*. International Journal of Coal Geology, **85** (1), 123-127.
- [20] Luo, Yi., et al. (2017). *Effects of Rock Dusting in Preventing and Reducing Intensity of Coal Mine Explosions*. International Journal of CoalScience and Technology, **4**, 102-109.
- [21] Yu, Tao., et al. (2013). *Optimization of Ventilating Energy Distribution for Controlling Coal Spontaneous Combustion of Seal Panel in Underground Coal Mines*. Procedia Engineering, **62**, 972-979.
- [22] Yuntao, Liang., et al. (2018). *Application of Ventilation Simulation To Spontaneous Combustion Control in Underground Coal Mine: A Case Study from Bulianta Colliery*. International Journal of Mining. Science and Technology, **28** (2), 231-242.