

Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi pada Lubang Tambang CBP-03 PT.Cahaya Bumi Perdana,Kota Sawahlunto

Olivia Julianti^{1}, Mulya Gusman^{1**}*

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

[*olivia.julianti12@gmail.com](mailto:olivia.julianti12@gmail.com)

[**mulyagusman8874@gmail.com](mailto:mulyagusman8874@gmail.com)

Abstract. PT. Cahaya Bumi Perdana uses only one ventilation system, namely the blow ventilation system which aims to provide and flow fresh air into the mine for workers' breathing and other processes that require air. Based on the initial inspection of the ventilation system used in the CBP-03 hole using only the blow ventilation system, the researchers also found duct leaks at 3 points, which resulted in loss of air circulation. This causes the quality and quantity of air to decrease, as well as the effective temperature and relative humidity to increase beyond the threshold. In June there was an explosion and the location of the mine hole where the explosion had occurred is currently close to the location of the mine progress plan following the direction of the spread of coal which has potential hazards methane gas. From the results of the air quality evaluation, it can be concluded that the effective temperature and relative humidity in canopy 2, the branches and front work have exceeded the threshold value regulated by Kepmen No.1827 K / 30 / MEM / 2018, namely the effective temperature ranges between 18-24 ° C with a maximum relative humidity of 85%. From the evaluation results, the quantity of air in and out is the same, amounting to 6.06 m³ / sec, From the results of the need for air on the front of work, the need for air for breathing 3 workers per shift is 0, 10 m³ / sec. Air requirement needed to dilute methane gas is 0.24 m³ / sec. The overall air requirement for the equipment in the CBP-03 mine hole is for 1 unit jack hammer = 1300 watts = 1.743 HP = 1.743 x 3 m³ / minute = 0.08715 m³ / sec. From the results of the design of the ventilation system using autocad 2007 the total quantity of air intake is the air entering the tunnel canopy 1 maintained at 6.06 m³ / sec plus the quantity of air throughout the front duct from the available equipment with a total quantity of 3.03 m³ / second. So the total amount of intake air from the design after the addition of the fan is 9.09 m³ / sec. Meanwhile, the need for air for workers and mining supporting equipment is 0.73 m³ / sec. The need for safe and effective maintenance of ventilation equipment and providing backup ventilation equipment and the availability of a backup power source. If one day the equipment breaks down, a replacement will be available during an emergency, so it doesn't stop air circulation in the mine pit.

Keywords: Ventilation System, Evaluation, Air Requirement, Autocad 2007

1. Pendahuluan

Sistem penambangan terdiri dari tambang terbuka, tambang bawah tanah dan tambang bawah air. "Tambang terbuka adalah segala kegiatan atau aktivitas penambangan yang dilakukan dekat permukaan, tempat kerjanya berhubungan langsung dengan udara luar dan dipengaruhi oleh cuaca. Tambang bawah tanah adalah segala kegiatan atau aktivitas penambangan yang dilakukan di bawah permukaan bumi dan tempat kerjanya tidak langsung berhubungan dengan udara luar. Tambang bawah air adalah segala kegiatan penggaliannya dilakukan dibawah permukaan air atau endapan mineral berharganya terletak di bawah permukaan air.^[1]

PT.Cahaya Bumi Perdana adalah salah satu perusahaan penambangan batubara yang melakukan kegiatannya dengan menggunakan sistem tambang bawah tanah.. Kegiatan penambangannya dilakukan dengan menggunakan metode *room and pillar (bord and pillar)*.Metode penambangan *Room and pillar* merupakan suatu metode penambangan bawah tanah untuk endapan batubara dengan tata cara penambangan searah jurus pada lapisan dan kedudukan batubara (*strip mining*). .Alat yang digunakan untuk penggaliannya menggunakan alat semi mekanis yaitu *jack hammer* dan alat angkutnya lori yang dibantu oleh mesin *hoist*.

Sebagai pemegang izin usaha pertambangan operasi produksi pada PT. Cahaya Bumi Perdana wajib menerapkan kaidah pertambangan yang baik dan benar (*good mining practice*) salah satunya mengenai keselamatan dan kesehatan kerja khususnya pada kegiatan penambangan bawah tanah. Hal tersebut sejalan dengan upaya pemerintah Republik Indonesia dalam mencegah kecelakaan kerja yang diatur dalam Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.1827 K/30/MEM 2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum yang tercantum pada Lampiran I sampai dengan Lampiran II tentang Tambang bawah tanah : ventilasi.^[2]

Sistem ventilasi yang digunakan yaitu sistem ventilasi hembus, yang bertujuan untuk menyediakan dan mengalirkan udara segar ke dalam tambang bagi pernafasan pekerja dan proses lain yang memerlukan udara. Kegiatan tambang bawah tanah pada PT. Cahaya Bumi Perdana memiliki 6 lubang bukaan tambang dengan memiliki kondisi ventilasi yang berbeda-beda yaitu CBP-01, CBP-02, CBP-03, CBP-04, CBP-05, dan CBP-06. Kemiringan batubara mencapai $\pm 48^\circ$ (relatif miring). "Kondisi lubang

tambang yang semakin dalam membuat hambatan udaranya juga semakin besar sehingga aliran udara yang masuk cukup rendah, salah satunya pada lubang tambang CBP-03.^[3]

Pada kegiatan tambang bawah tanah dibutuhkan ventilasi tambang, gunanya untuk memasukkan udara segar yang dibutuhkan oleh pekerja tambang. Berdasarkan pemeriksaan awal sistem ventilasi yang digunakan dilubang CBP-03 hanya menggunakan sistem ventilasi hembus, selain itu peneliti juga menemukan kebocoran *duct* di 3 titik pada jalur ventilasi jarak 110m, 245m dan 310m yang mengakibatkan kehilangan sirkulasi udara. Sehingga menyebabkan kualitas dan kuantitas udara berkurang, serta temperatur efektif dan kelembaban relatif meningkat melebihi ambang batas.^[4]

Temperatur yang tinggi dalam lubang tambang tambang bawah tanah akibat dari berkurangnya udara yang masuk akan menyebabkan kurangnya kenyamanan dan efisiensi kerja pekerja serta akan memicu terjadinya kecelakaan kerja di lokasi kerja. Namun penyebab kecelakaan tambang bawah tanah tersebut tidak akan menjadi masalah, jika memiliki sistem ventilasi yang memadai, baik secara kualitas maupun kuantitas, serta kandungan gas pada tambang bawah tanah sesuai peraturan dan standar yang di dasarkan pada buku Howard L.Harman^[5].

Jenis kecelakaan pada tambang batubara bawah tanah diantaranya yaitu terjadi ledakan gas metan. Ledakan gas metan sering terjadi apabila akumulasi gas metan (CH_4) berada pada nilai ambang batas. CH_4 yang di izinkan pada tambang batubara bawah tanah tidak lebih dari 1%. Kandungan (CH_4) 5-15% dapat menimbulkan ledakan pada tambang^[6], seperti yang pernah terjadi di PT. Cahaya Bumi Perdana pada hari Rabu, 24 Juni 2020.Lokasi lubang tambang yang pernah terjadi ledakan tersebut saat ini berdekatan dengan lokasi rencana kemajuan tambang yang mengikuti arah penyebaran batubara yang memiliki potensi bahaya gas metan.

Untuk dapat memenuhi kebutuhan udara para pekerja pada tambang batubara bawah tanah perlu dilakukan pengkajian terhadap beberapa parameter yang meliputi jumlah pekerja, emisi gas metan dan gas yang lainnya yang dinetralisir, peralatan yang beroperasi di area penambangan serta kondisi temperatur dan kelembaban udara. Dengan dilakukan pengkajian pada parameter ini dapat ditentukan temperatur efektif dan kelembaban relatif *front* kerja untuk memenuhi kebutuhan udara segar baik untuk pekerja dan alat-alat mekanis.^[7]

Berdasarkan latar belakang diatas maka

penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi Pada Lubang Tambang CBP-03 PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto".

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administrasi, kegiatan Operasi Produksi Batubara PT. Cahaya Bumi Perdana, berada di Kumanis Desa Tumpuk Tengah, Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto. Lokasi kegiatan penambangan dapat ditempuh dari pusat Kota Sawahlunto sampai Kumanis (± 15 Km jalan Kota beraspal) sampai Lokasi ($\pm 2,5$ Km jalan tanah diperkeras).



Sumber: PT. Cahaya Bumi Perdana.2017.

Gambar 1. Peta IUP ,PT.Cahaya Bumi Perdana.

Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT. Cahaya Bumi Perdana, yang secara geografis sesuai dengan wilayah IUP Operasi Produksi Batubara berada pada koordinat $00^{\circ} 34' 33.60'' - 00^{\circ} 34' 57.42''$ Lintang Selatan dan $100^{\circ} 47' 57.80'' - 100^{\circ} 48' 57.80''$ Bujur Timur yang dapat dilihat pada tabel 1.

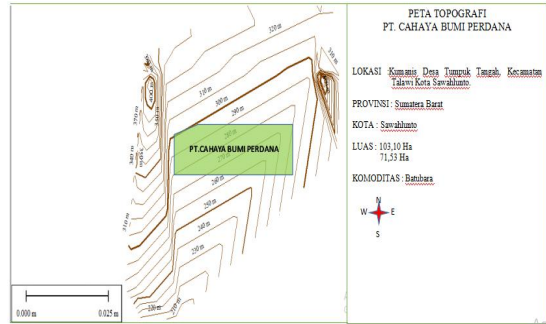
Tabel 1. Koordinat Batas Wilayah IUP Eksploitasi Penambangan Batubara PT.Cahaya Bumi Perdana

No. Titik	Bujur Timur			Bujur Selatan		
	o	'	''	o	'	''
1.	100	47	57,80	0	34	33,60
2.	100	48	37,25	0	34	33,60
3.	100	48	37,25	0	34	36,23
4.	100	48	38,48	0	34	36,23
5.	100	48	38,48	0	34	39,60
6.	100	48	41,54	0	37	39,60
7.	100	48	41,54	0	37	42,47
8.	100	48	44,07	0	37	42,47
9.	100	48	44,07	0	37	45,50
10.	100	48	45,37	0	37	45,50
11.	100	48	45,37	0	37	49,61
12.	100	48	46,43	0	37	49,61
13.	100	48	46,43	0	37	56,04
14.	100	48	47,84	0	37	56,04
15.	100	48	47,84	0	37	57,42
16.	100	48	57,80	0	37	57,42

Sumber: PT. Cahaya Bumi Perdana.2017.

2.2 Kondisi Geologi dan Stratigrafi

Endapan batubara pada kawasan Sawahlunto terjadi pada kala *oligosen* yang terendapkan dalam cekungan antara pegunungan di kawasan Bukit Barisan bagian tengah, yang dikenal dengan cekungan Ombilin dan mempunyai luas ± 800 km² yang berkembang sejak awal zaman *tersier* dan memanjang ke arah Tenggara, searah dengan struktur geologi yang banyak terdapat pada patahan dan lipatan di pulau Sumatera. Batubara ini terletak dibagian barat cekungan ombilin dan terdapat pada formasi batuan yang dikenal dengan nama formasi sawahlunto. Secara umum lapisannya tanah penutup batubara terdiri dari lempung (*claystone*), batu pasir (*sandstone*) dan batu lanau (*siltstone*). Formasi sawahlunto ini terletak pada dua jalur yang terpisah yaitu jalur yang menjurus dari sawahlunto sampai sawah rasau dan dari tanah hitam terus ke timur dan kemudian ke arah utara yang disebut parambahan.



Sumber: PT. Cahaya Bumi Perdana

Gambar 2. Peta Topografi PT. Cahaya Bumi Perdana

Secara regional stratigrafi adalah sawahlunto dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu kelompok batuan pra-tercier dan kelompok batuan terciar^[8].

2.2.1. Kelompok batuan pra-tercier terdiri dari:

a. Formasi silungkang

Nama formasi ini mula-mula diusulkan oleh Klompe, Katili dan Sekunder pada tahun 1958. Secara petrografi formasi ini masih dapat dibebankan menjadi empat satuan yaitu: satuan lava andesit, satuan lava basalt, satuan tufa andesit dan satuan tufa basalt. Umur dan formasi ini diperkirakan perm sampai trias.

b. Tuhur

Formasi ini dirincikan lempung abu-abu kehitaman, berlapis baik, dengan sisipan-sisipan batu pasir dan batu gamping hitam. Diperkirakan formasi ini berumur trias.

2.2.2 Kelompok batuan tersier terdiri dari:

- a. Formasi sangkarewang
Nama formasi ini pertama diusulkan oleh Kastowo dan Silitonga pada 1975. Formasi ini terutama terdiri dari serpih gampingan sampai napal berwarna coklat kehitaman, berlapis halus dan mengandung fosil ikan serta tumbuhan. Formasi ini diperkirakan berumur Eosen Oligosen.
- b. Formasi sawahlunto
Nama formasi ini diusulkan oleh R.P.Koesoemadinata dan Th. Matasak pada 1979. Formasi ini merupakan formasi yang paling penting karena mengandung lapisan batubara. Formasi ini dicirikan oleh batu lanau, batu lempung, dan batubara yang berselingan satu sama lain. Diperkirakan formasi ini berumur oligosen.
- c. Formasi sawah tambang
Nama formasi ini pertama kali diusulkan oleh Kastowo dan Silitonga pada tahun 1975. Bagian bawah dari formasi ini dicirikan oleh beberapa siklus endapan yang terdiri dari batu pasir konglomerat, batu lanau dan batu lempung. Bagian atas didominasi pada umumnya oleh batu pasir konglomerat tanpa adanya sisipan lempung atau batu lanau, umur dari formasi ini diperkirakan lebih tua dari miosen bawah.
- d. Formasi ombilin
Nama formasi ini diusulkan pertama kali oleh Kastowo dan Silitonga pada tahun 1975. Formasi ini terdiri dari lempung gamping. napal dan pasir gampingan yang berwarna abu-abu kehitaman, berlapis tipis dan mengandung fosil. Umur formasi ini diperkirakan Miosen bawah.
- e. Formasi ranau
Nama ini diusulkan pertama kali oleh Marks pada tahun 1961. satuan ini terdiri dari batu apung berwarna abu-abu kehitaman. Umur dari formasi ini diperkirakan Pleistosen.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli tahun 2020. Lokasi penelitian Kumanis Desa Tumpuk Tangah, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat.

3.1. Desain 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^[9]. Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka^[10].

Pengambilan data dan penelitian dilaksanakan pada lubang bukaan CBP-03.

Data penelitian dapat dibagi atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung sebagai hasil dari observasi lapangan dan pengujian langsung di lapangan, sedangkan data sekunder merupakan data-data yang disiapkan dan diperoleh dari perusahaan atau sumber lain.

a. Data primer meliputi:

- 1) Kualitas
 - a) Data kandungan gas dalam terowongan (pengukuran menggunakan multigas *detector*)
 - b) Data temperatur dan kelembaban udara (menggunakan digital sling *Psychrometer*).
- 2) Kuantitas
 - a) Data kecepatan aliran udara
 - b) Ukuran penampang/geometri terowongan
 - c) Ukuran penampang diameter *duct*

b. Data sekunder meliputi:

- 1) Spesifikasi *Fan/Blower*
- 2) *Layout* Ventilasi tambang CBP-03
- 3) Peralatan penunjang penambangan

3.2. Teknik Pengumpulan Data

3.2.1. Studi Lapangan

- a. Pengukuran Kandungan Gas
- b. Pengukuran Temperatur dan Kelembaban udara
- c. Pengukuran Kecepatan udara
- d. Pengukuran Penampang terowongan dan penampang air duct
- e. Pengukuran Elevasi dan Kedalaman Penambangan

3.2.2. Studi Literatur

Studi literatur mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan membaca buku- buku literatur yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas dan data- data serta arsip perusahaan sehingga dapat digunakan sebagai landasan dalam pemecahan masalah.^[11]

3.3 Teknik Pengolahan Data

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

Pada pengolahan data ini ada beberapa hal yang akan dibahas yaitu:

1. Mengikuti, mengamati, dan menganalisa secara langsung kegiatan di lapangan.
2. Analisis sistem ventilasi tambang untuk menentukan kualitas dan kuantitas udara pada jalur utama (*intake air way* dan *outlet air way*), percabangan, dan *front kerja* tambang bawah tanah PT.Cahaya Bumi Perdana dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Kualitas

- 1) Analisis kualitas udara berdasarkan data pengukuran dengan *multi gas detector*
- 2) Menentukan temperatur efektif menggunakan grafik temperatur efektif
- 3) Menentukan kelembabanrelatif menggunakan tabel *relative humidity*

b. Kuantitas

- 1) Mencariluas penampang
 - a)Terowongan
 $A = \{(a+b)/2\} \times h$
 - b)Duct
 $A = 1/4 \pi d$
- 2) Perhitungan kuantitas udara
 $Q = V \times A^{[12]}$

3. Merancang desain sistem ventilasi menggunakan *autocad 2007*

Dalam perancangan ventilasi lubang tambang CBP-03 akan menggunakan sistem ventilasi *exhaust fan*. Dalam perancangan sistem ventilasi tersebut akan disesuaikan dengan aturan pada keputusan menteri pertambangan dan energi nomor: 1827 K/30/MEM/2018 Berikut merupakan acuan dalam perancangan sistem ventilasi yang akan digunakan:

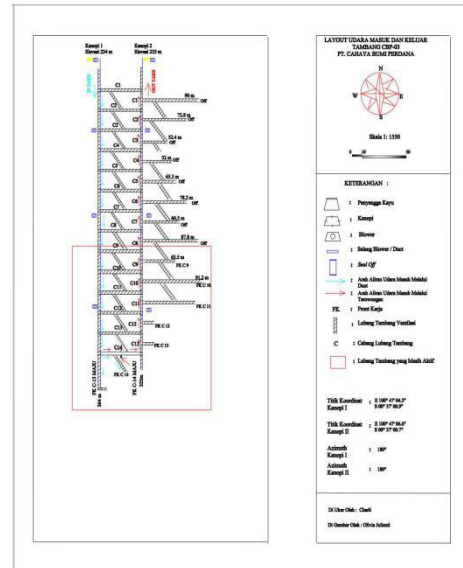
- a. Mempertahankan temperatur efektif udara dikisaran 18°-24° C dan kelembaban relatif maksimum 85 %
- b. Mempertahankan kualitas udara oksigen tidak kurang dari 19,5%.
- c. Mempertahankan kuantitas udara untuk kebutuhan pernafasan pekerja 2 m³/menit dan alat 3 m³/menit.
- d. Menetralsisir adanya gas methan agar

volumenya tidak melebihi 0,25%.

4.Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengumpulan Data

Sebelum melakukan perhitungan terhadap rancangan sistem ventilasi, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa pengamatan aplikasi di lokasi penambangan dan pengukuran secara langsung. Layout ventilasi lubang CBP-03 dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4. Layout Ventilasi

4.1.1 Pengukuran Emisi Gas Methan dan Gas Lainnya

Pengukuran gas metan dan gas lainnya di PT.Cahaya Bumi Perdana menggunakan alat *multigas detector*. Gas-gas yang dapat terdeteksi oleh alat *multigas detector* antara lain gas O₂ (%), CH₄ (LEL), CO (ppm), dan H₂S (ppm). Hasil pengukuran emisi gas dapat dilihat pada tabel 2

Tabel.2 Hasil Pengukuran Gas Metan dan Gas lainnya

LOKASI	6 Juli 2020								NAB
	Jam 08.00				Jam 16.00				
	CO	O ₂	H ₂ S	CH ₄	CO	O ₂	H ₂ S	CH ₄	
KANOPI 1	0	20,9	0	0	0	20,9	0	0	5
KANOPI 2	0	20,9	0	0	0	20,9	0	0	5
CABANG C14	0	20,7	0	1	0	20,6	0	2	5
CABANG C13	0	20,6	0	1	0	20,6	0	2	5
CABANG C12	0	20,8	0	1	0	20,7	0	2	5
CABANG C11	0	20,4	0	1	0	20,3	0	2	5
CABANG C10	0	20,4	0	1	0	20,3	0	2	5
CABANG C9	0	20,5	0	1	0	20,4	0	2	5
FK C15-MAJU	0	20,4	0	2	0	20,4	0	3	5
FK C14	0	20,5	0	2	0	20,4	0	3	5
FK C14-MAJU	0	20,4	0	5	0	20,3	0	3	5
FK C13	0	20,6	0	5	0	20,6	0	3	5
FK C12	0	20,8	0	5	0	20,7	0	3	5
FK C11	0	20,4	0	5	0	20,3	0	3	5
FK C10	0	20,4	0	5	0	20,3	0	3	5
FK C9	0	20,5	0	5	0	20,4	0	3	5

Berdasarkan tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa konsentrasi gas metan (CH₄) pada *front* kerja (FK) C9, C10, C11, C12, C13 dan C14-MAJU melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam Keputusan Menteri No.1827 K/30/MEM/2018 yaitu 0,25% (5 LEL).

4.1.2 Ukuran Penampang / Geometri Terowongan

Geometri penampang terowongan yang diukur yaitu pada lubang utama, percabangan dan *front* kerja pada lubang tambang CBP-03 menggunakan alat *laser distance meter* dan meteran. Penampang terowongan pada lubang utama pada kanopi berbentuk *archis*, sedangkan pada percabangan dan *front* kerja berbentuk trapesium. Hasil pengukuran dimensi lubang bukaan terlihat pada tabel 3

Tabel 3. Hasil Pengukuran Penampang terowongan

NO	6 Juli 2020		
	LOKASI PENGUKURAN	Diameter (m)	Jari-jari (m)
1	KANOPI	0,46	0,23
2.	CABANG & FK	0,46	0,23

4.1.3 Ukuran Penampang / Geometri Duct

Duct yang digunakan di lubang tambang CBP-03 berbentuk lingkaran. Pengukuran geometri *duct* dilakukan ditiga titik yaitu; lubang bukaan utama, percabangan dan *front* kerja dengan menggunakan meteran. Hasil pengukuran geometri *duct* dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengukuran Geometri Duct

NO	LOKASI PENGUKURAN	6 Juli 2020				
		Panjang sisi bawah (a) (meter)	Panjang sisi atas (b) (meter)	Tinggi (h) (meter)	Jari-jari elips mayor (a) (meter)	Jari-jari elips minor (b) (meter)
1	KANOPI1	2,65	2,65	2,30	1,33	0,5
2	KANOPI2	2,65	2,65	2,30	1,33	0,5
3	CABANG	2,30	2,00	1,80		
4	FRONT KERJA	2,50	2,20	2,20		

4.1.4 Kecepatan Udara

Kecepatan udara diukur menggunakan alat *anemometer* CFM 8901 dan dilakukan di tiga titik yaitu pada lubang bukaan utama, percabangan dan *front* kerja dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengukuran Kecepatan Udara

LOKASI PENGUKURAN	TANGGAL PENGUKURAN			KETERANGAN
	6 Juli 2020	7 Juli 2020	8 Juli 2020	
Satuan pengukuran (meter/detik)				Udara alami
KANOPI 1	0,77	0,77	0,77	
KANOPI 2	0,91	0,91	0,91	
CABANG C14	0,82	0,82	0,82	
CABANG C13	0,13	0,27	0,27	
CABANG C12	0,13	0,13	0,13	
CABANG C11	0,14	0,13	0,13	
CABANG C10	0,15	0,14	0,14	
CABANG C9	0,16	0,15	0,15	
Front Kerja C15-MAJU	0,37	0,37	0,37	
Front Kerja C14	0,41	0,41	0,41	
Front Kerja C14-MAJU	0,11	0,11	0,11	
Front Kerja C13	0,14	0,14	0,14	
Front Kerja C12	0,13	0,13	0,13	
Front Kerja C11	0,13	0,13	0,13	
Front Kerja C10	0,14	0,14	0,14	
Front Kerja C9	0,15	0,15	0,15	

4.1.5 Pengukuran Temperatur Udara

Temperatur udara diukur menggunakan alat *digital sling psychrometer* meliputi temperatur kering dan temperatur basah, pengukuran temperatur udara ini dilakukan di tiga titik yaitu lubang bukaan utama, percabangan dan *front* kerja . hasil pengukuran temperatur udara dapat dilihat pada tabel 6

Tabel.6 Hasil Pengukuran Temperatur Udara

LOKASI PENGUKURAN	6 Juli 2020				7 Juli 2020				8 Juli 2020			
	Jam 08.00		Jam 16.00		Jam 08.00		Jam 16.00		Jam 08.00		Jam 16.00	
	Tw (°C)	Td (°C)	Tw (°C)	Td (°C)	Tw (°C)	Td (°C)	Tw (°C)	Td (°C)	Tw (°C)	Td (°C)	Tw (°C)	Td (°C)
KANOPI 1	23,2	25,5	23,4	25,4	23,4	25,5	23,2	25,5	23,5	25,5	23,3	25,6
KANOPI 2	25,1	27,2	25,2	27,3	25,4	27,2	25,1	27,5	25,0	27,3	25,2	27,0
CABANG C14	27	27,9	27	28,8	27	27,8	26,8	27,9	27,5	27,9	27,9	28,4
CABANG C13	27	27,9	27,1	27,9	27,1	27,9	27	28	27,2	28	27	28,1
CABANG C12	27,1	27,9	27,1	27,9	27	28	27,1	28,1	27,2	28,2	27	28,2
CABANG C11	27,2	28,2	27,3	28,4	27,5	28,2	27,3	28,5	27,5	28,3	27,4	28,5
CABANG C10	27,1	28	27,3	28,3	27,5	28	27,1	28,5	27,4	28,3	27,3	28,3
CABANG C9	27	27,9	27,1	27,9	27	28	27,1	28,1	27,2	28,1	27	28,2
FK C15-MAJU	28	28,5	28,5	29	28,7	28,4	27,9	29,1	28,8	29	28,6	29,3
FK C14	28	28,9	28,2	29,5	28,8	28,7	28,2	29,3	28,6	29,1	28,3	28,9
FK C14-MAJU	28	28,9	28,5	29	29,4	28,9	29,5	29	29	28,5	29,5	
FK C13	28	28,9	28,5	29	28,7	28,8	28,3	29,1	29	29,5	28,6	29,5
FK C12	28	28,9	28,5	29	29	28,9	29,5	28,5	29,5	28,1	29	
FK C11	28,5	29,5	29	29,5	29,6	30,1	29,6	29,9	29,5	29,5	29,1	30
FK C10	29	29,5	30	30,3	29,5	29,5	29	30	29,9	30,4	29,8	30,4
FK C9	27	27,9	27,1	27,9	27	28	27,1	28,1	27,2	28,1	27	28,2

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Perhitungan Temperatur Efektif

Tabel 7. Hasil Perhitungan Temperatur Efektif

LOKASI	6 Juli 2020		7 Juli 2020		8 Juli 2020	
	Jam 08.00	Jam 16.00	Jam 08.00	Jam 16.00	Jam 08.00	Jam 16.00
Dalam satuan %						
KANOPI 1	71,52	71,62	71,4	71,83	71,52	71,52
KANOPI 2	84,56	84,59	84,59	85,21	84,56	84,65
CABANG C14	93,32	93,32	93,43	94,79	95,02	93,32
CABANG C13	93,31	93,33	93,31	93,34	93,31	93,37
CABANG C12	94,04	91,91	93,31	92,63	93,33	91,90
CABANG C11	92,63	92,64	92,65	92,67	93,35	92,67
CABANG C10	93,33	92,64	92,64	93,36	93,33	92,67
CABANG C9	93,31	92,61	93,31	92,63	93,33	91,89
FK C15-MAJU	96,30	96,34	97,06	96,36	96,29	97,07
FK C14	93,44	93,47	91,40	97,8	96,31	96,36
FK C14-MAJU	93,44	96,33	96,33	96,37	96,36	96,37
FK C13	93,44	92,81	97,06	96,37	96,32	97,07
FK C12	93,44	92,81	93,45	96,33	96,36	96,37
FK C11	92,81	96,37	97,09	96,40	96,49	97,83
FK C10	96,37	97,14	96,42	96,43	96,37	96,40
FK C9	93,31	92,61	93,31	92,71	93,33	91,89

Berdasarkan tabel 7 di atas dapat dilihat bahwa temperatur efektif melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan dalamKepmen.No.1827 K/30/MEM/2018, yaitu berkisar antara 18-24 °C

4.2.2 Hasil Perhitungan Kelembaban Relatif

Tabel 8. Hasil Perhitungan Kelembaban Relatif

LOKASI	6 Juli 2020		7 Juli 2020		8 Juli 2020	
	Jam 08.00	Jam 16.00	Jam 08.00	Jam 16.00	Jam 08.00	Jam 16.00
Dalam satuan %						
KANOPI 1	20,49	20,57	20,43	20,71	20,49	20,57
KANOPI 2	24,37	24,48	24,48	24,31	24,37	24,68
CABANG C14	26,72	26,72	27,63	27,48	26,92	26,72
CABANG C13	26,72	26,82	26,72	26,92	26,72	26,83
CABANG C12	26,85	26,76	26,72	26,89	26,82	26,66
CABANG C11	26,89	26,99	27,09	27,19	27,02	27,19
CABANG C10	26,82	26,99	26,99	27,12	26,82	27,19
CABANG C9	26,72	26,79	26,72	26,89	26,82	26,66
FK C15-MAJU	27,84	28,35	28,48	28,65	27,74	28,58
FK C14	27,73	27,93	27,94	28,40	28,05	28,65
FK C14-MAJU	27,73	28,35	28,35	28,85	28,75	28,85
FK C13	27,73	28,21	28,48	28,85	28,15	28,58
FK C12	27,73	28,21	27,83	28,35	28,75	28,85
FK C11	28,21	28,85	28,98	29,36	29,46	29,51
FK C10	28,85	29,88	29,66	29,76	28,85	29,36
FK C9	26,72	26,78	26,72	26,90	26,82	26,66

Berdasarkan tabel 8 di atas, dapat dilihat bahwa kelembaban udara relatif melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh Kepmen.No.1827 K/30/MEM/2018 yaitu maksimal 85 %.

4.2.3 Perhitungan Luas Penampang

Tabel 9 Hasil Perhitungan Luas Terowongan

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN							
		Luas Persegi Panjang (□)		Luas Setengah Elips (◐)			Luas Total (m ²)		
		p	l	a	b	π			
1	KANOPI1	2,63	2,30	6,10	1,32	0,50	3,14	1,04	7,13
2	KANOPI2	2,63	2,30	6,10	1,32	0,50	3,14	1,04	7,13

Tabel 10. Hasil Perhitungan Luas Penampang Cabang

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN			
		Panjang Sisi Bawah	Panjang Sisi Atas	Tinggi	Luas (m ²)
		a (meter)	b (meter)	h (meter)	A = (a + b) × h
1	CABANG	2,30	2,00	1,80	3,87

Tabel 11. Hasil Perhitungan Luas Penampang pada Front Kerja

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN			
		Panjang Sisi Bawah	Panjang Sisi Atas	Tinggi	Luas (m ²)
		a (meter)	b (meter)	h (meter)	A = (a + b) × h
1	FK C15-MAJU	2,50	2,20	1,80	4,23
2	FK C14	2,30	2,00	1,80	3,87
3	FK C14-MAJU	2,50	2,20	1,80	4,23
4	FK C13-FK C9	2,30	2,00	1,80	3,87

Tabel 12. Hasil Perhitungan Luas Penampang Duct

NO	LOKASI PENGUKURAN	DIAMETER DUCT	KONSTANT A	LUAS (m ²)
		d (meter)	(π)	A = 1/4 × π × d ²
1	KANOPI 1	0,46	3,14	0,17
2	KANOPI 2	0,46	3,14	0,17
3	CABANG	0,46	3,14	0,17
4	Front Kerja	0,46	3,14	0,17

4.2.4 Menghitung Kuantitas Udara

a. Kuantitas udara masuk sesuai dengan kapasitas blower Kanopi 1 dan 2

Tabel 13. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara tersedia di Kanopi 1 dan 2

No	Lokasi Pengukuran	Luas Penampang Terowongan	Luas Penampang Duct	Luas Selisih Penampang	Kepcepatan Udara	Kuantitas Udara
		At (m ²)	Ad (m ²)	As = At - Ad	V (m/detik)	Q = As × V
1	FK C15-MAJU	4,23	0,17	4,06	0,37	1,52
2	FK C14	3,87	0,17	3,70	0,41	1,51
Total udara masuk						3,03

b. Kuantitas Udara masuk ke front kerja kanopi 1
Tabel 14. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara ke Front Kerja di Kanopi 1

NO	LOKASI PENGAMATAN	KAPASITAS BLOWER	PERUBAHAN MENIT KE DETIK	KUANTITAS UDARA
		(k m ³ /menit)	(s) detik	(m ³ /detik) Q = a/b
1	BLOWER KANOPI 1 & 2	200	60	3,33
Total udara masuk				3,33 m ³ /detik

c. Kuantitas Udara masuk ke front kerja di kanopi 2
Tabel 16. Hasil Perhitungan Kuantitas udara ke front kerja di kanopi 2

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN	LUAS PENAMPANG DUCT	LUAS SELISIH PENAMPANG	KECEPATAN UDARA	KUANTITAS UDARA
		At (m ²)	Ad (m ²)	As = At - Ad	V (m/detik)	Q = As × V
1	KANOPI 2	7,13	0,17	6,96	0,87	6,06
Total udara keluar melalui terowongan kanopi 2						6,06

d. Kuantitas udara keluar melalui kanopi 2

Tabel 17. Hasil Perhitungan kuantitas udara keluar melalui kanopi 2

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN	LUAS PENAMPANG DUCT	LUAS SELISIH PENAMPANG	KECEPATAN UDARA	KUANTITAS UDARA
		At (m ²)	Ad (m ²)	As = At - Ad	V (m/detik)	Q = As × V
1	FK C14-MAJU	4,23	0,17	4,06	0,11	0,46
2	FK C13	3,87	0,17	3,70	0,14	0,51
3	FK C12	3,87	0,17	3,70	0,13	0,50
4	FK C11	3,87	0,17	3,70	0,13	0,46
5	FK C10	3,87	0,17	3,70	0,14	0,53
6	FK C9	3,87	0,17	3,70	0,15	0,57
Total udara masuk						3,03

4.2.5. Kebutuhan Udara Pada Front Kerja

a. Dari hasil perhitungan di lapangan untuk kebutuhan udara untuk pernafasan para pekerja menurut Kepmen. No.1827 K/30/MEM adalah 2 m³/menit (0,03 m³/detik). Berdasarkan kebutuhan udara untuk pernafasan 3 orang para pekerja pershift di front kerja yaitu:

Jumlah udara per orang = 2 m³/menit

Jumlah pekerja = 3 orang/shift setiap front kerja

= Jumlah pekerja x kebutuhan udara /orang = 2 m³/menit

= 3 orang x 2 m³/menit = 6 m³/menit

= 0,10 m³/detik.

Jadi, kebutuhan udara untuk pekerja pada setiap front kerja adalah 0,10 m³/detik.

b. Berdasarkan Kebutuhan Udara untuk Mendilusi Gas Methan

1) Pancaran Gas Methan

Untuk menghitung pancaran gas methan diperlukan kedalaman penambangan rata – rata, kedalaman penambangan rata – rata lubang CBP-03 PT. Cahaya Bumi Perdana yaitu 138 m
Y = 4,1 + 0,023 x 138 m
= 4,1 + 3,174 m
= 7,274 m³ CH₄/Ton Batubara

2) Emisi Gas Methan

Untuk menghitung emisi gas methan diperlukan jumlah produksi batubara per yaitu 6000 ton/bulan dan jumlah jam kerja efektif yaitu :

Qg=Rata-rata produksi

$$\begin{aligned} & \text{batubara/bulan} \times \text{jumlah pancaran} \\ & \text{gas} \times 1/\text{waktu efektif jam kerja (8} \\ & \text{jam)} \\ & = 9,52\text{ton/gilir} \times 7,274 \text{ m}^3/\text{ton} \times \\ & 1/28000 \text{ s} \\ & = 0,0024 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

3) Udara yang dibutuhkan untuk mendilusi gas metan

$$\begin{aligned} Q_{CBP-03} &= [Q_g / NAB - B] - Q_g \\ &= [0,024 (\text{m}^3/\text{s}) / (0,01 - 0)] - 0,024 \\ &= 0,24 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

c. Berdasarkan kebutuhan udara untuk alat Berdasarkan Kepmen. No. 1827.K/30/MEM/2018 Lampiran II dijelaskan bahwa kebutuhan udara untuk alat yaitu 3 m³/menit untuk setiap tenaga kuda apabila mesin dioperasikan, maka:

Untuk 1 lampu penerangan 10 watt ,

$$\begin{aligned} 10 \text{ watt} &= 0,0134 \text{ HP} \\ &= 0,0134 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} \\ &= 0,0402 \text{ m}^3/\text{menit} \\ &= 0,00067 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Untuk 1 unit *jack hammer* = 1300 watt

$$\begin{aligned} &= 1,743 \text{ HP} = 1,743 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} \\ &= 0,08715 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Tabel 18. Hasil perhitungan kebutuhan udara untuk peralatan

Alat	Kapasitas peralatan HP	Kebutuhan udara setiap peralatan (m ³ /detik) (p)	Jumlah peralatan (n)	Kebutuhan kuantitas Udara (m ³ /detik) Q = P × n
Lampu	0,01	0,00067	46	0,03
Jack Hammer	1,74	0,08715	8	0,70
Jumlah total kebutuhan udara				0,73

c)Kuantitas Udara yang dibutuhkan ke *front* kerja kanopi 1 dan kanopi 2

Tabel 19. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara yang dibutuhkan Ke *Front* Kerja Pada Kanopi 1 dan Kanopi 2 Tanpa Penambahan *Fan*

NO	LOKASI PENGUKURAN	Kebutuhan Udara Pekerja (m ³ /detik)	Kebutuhan Udara ALat	Kebutuhan Udara untuk Dilusi Gas Methan	Kuantitas Udara yang Dibutuhkan	Kuantitas Udara (m ³ /detik) Q= A × V
1	FK C15-MAJU	0,10	0,73	0,24	1,04	1,32
2	FK C14	0,10	0,73	0,24	1,04	1,51
3	FK C14 MAJU	0,10	0,73	0,24	1,04	0,46
4	FK C13	0,10	0,73	0,24	1,04	0,51
5.	FK C12	0,10	0,73	0,24	1,04	0,50
6.	FK C11	0,10	0,73	0,24	1,04	0,46
7.	FK C10	0,10	0,73	0,24	1,04	0,53
8.	FK C9	0,10	0,73	0,24	1,04	0,57
TOTAL					8,32	6,06

Dari hasil perhitungan tabel 19, Total kuantitas udara yang dibutuhkan FK C15-MAJU, C14 kanopi 1 dan FK C14-MAJU, FK C13, FK C12, FK C11, FK C10, FK C9 kanopi 2, sebesar 8,32 m³/detik. Sedangkan Kuantitas udara yang masuk berdasarkan sebelumnya 6,06 m³/detik Maka kekurangan udara yang

dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan udara di *front* kerja yaitu 8,32 m³/detik - 6,06 m³/detik = 2,26 m³/detik

4.2.6. Hasil Rancangan sistem ventilasi Menggunakan Autocad 2007

1. Rancangan Sistem Ventilasi Sesudah Menambahkan *Fan* di kanopi 2

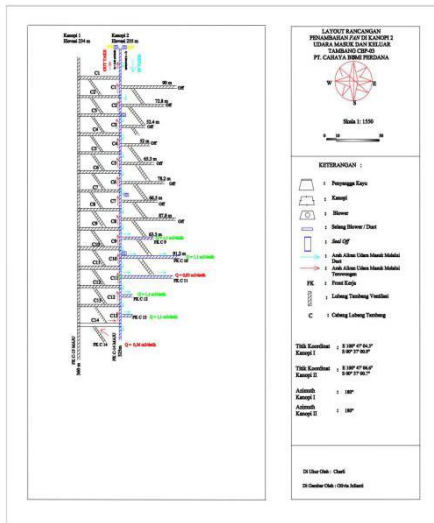
Untuk menghasilkan perhitungan kuantitas udara dari rancangan sistem ventilasi sesudah penambahan *fan* di kanopi 2 adalah berdasarkan acuan dari hasil evaluasi sistem ventilasi yang telah dilakukan pengolahan data sebelumnya dan rancangan sistem ventilasi tanpa penambahan *fan*, dengan memperhitungkan pembagian kuantitas udara yang dibutuhkan, dan mempertahankan kuantitas udara yang masuk ke dalam terowongan. Berdasarkan perhitungan tabel 19 ada kebutuhan udara yang belum terpenuhi pada FK C14-MAJU, FK C13, FK C12, FK C11, FK C10, FK C9 kanopi 2, sebesar 8,32 m³/detik. Sedangkan Kuantitas udara yang masuk berdasarkan sebelumnya 6,06 m³/detik Maka kekurangan udara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan udara di *front* kerja yaitu 8,32 m³/detik - 6,06 m³/detik = 2,26 m³/detik

Tabel 20. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara Sesudah Penambahan *Fan* di Kanopi 2

NO	LOKASI PENGUKURAN	Kebutuhan Udara Pekerja (m ³ /detik)	Kebutuhan Udara ALat	Kebutuhan Udara untuk Dilusi Gas Methan	Kuantitas Udara yang Dibutuhkan	Udara (m ³ /detik)
1	FK C15-MAJU	0,10	0,73	0,24	1,04	1,52
2	FK C14	0,10	0,73	0,24	1,04	1,51
3	FK C14 MAJU	0,10	0,73	0,24	1,04	0,56
4	FK C13	0,10	0,73	0,24	1,04	1,1
5.	FK C12	0,10	0,73	0,24	1,04	1,1
6.	FK C11	0,10	0,73	0,24	1,04	0,83
7.	FK C10	0,10	0,73	0,24	1,04	1,1
8.	FK C9	0,10	0,73	0,24	1,04	1,1
TOTAL					8,32	8,54

Berdasarkan perhitungan tabel 19 ada kebutuhan udara yang belum terpenuhi pada FK C14-MAJU, FK C13, FK C12, FK C11, FK C10 dan FK C9 Maka dilakukan penambahan *fan* di kanopi 2 sehingga total udara yang masuk dari kanopi 2 sebesar 6,06 m³/detik . FK C14-MAJU sebesar 0,56 m³/detik dari *fan* 2 yaitu 6,06m³/detik dikurangi dengan total udara 5,5m³/detik (FK C9, FK C10, FK C11, FK C12, FK C13 dan FK C14-Maju) dan FK C11 sebesar 0,83 m³/detik dari aliran *fan* 3 yaitu 3,03 m³/detik dikurangi dengan 2,2 m³/detik (total FK C9 dan FK C10) .

Bentuk Layout rancangan dapat dilihat pada gambar 5

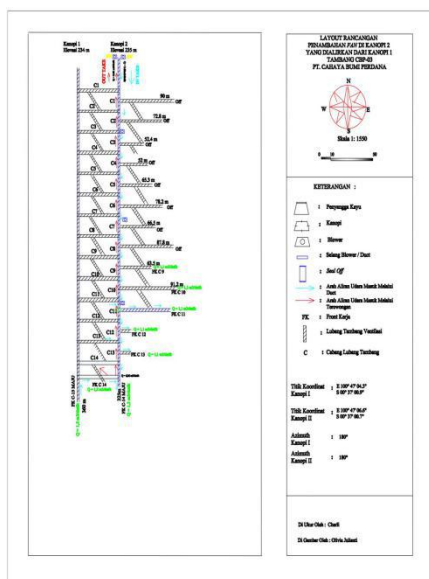


Gambar 5. Layout Rancangan Penambahan Fan di Kanopi 2

Tabel 21. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara yang dibutuhkan Ke Front Kerja Pada Kanopi 1 dan Kanopi 2 Sesudah Penambahan Fan

NO	LOKASI PENGUKURAN	Kebutuhan Udara Pekerja (m ³ /detik)	Kebutuhan Udara ALat	Kebutuhan Udara untuk Dihilusi Gas Methan	Kuantitas Udara yang Dibutuhkan	Kuantitas Udara (m ³ /detik)
						Q
1	FK C15-MAJU	0,10	0,73	0,24	1,04	1,10
2	FK C14	0,10	0,73	0,24	1,04	1,10
3	FK C14 MAJU	0,10	0,73	0,24	1,04	1,16
4	FK C13	0,10	0,73	0,24	1,04	1,04
5	FK C12	0,10	0,73	0,24	1,04	1,24
6	FK C11	0,10	0,73	0,24	1,04	1,16
7	FK C10	0,10	0,73	0,24	1,04	1,06
8	FK C9	0,10	0,73	0,24	1,04	1,14
TOTAL					8,32	8,90

Hasil rancangan dapat dilihat pada gambar 6:



Gambar 6. Layout Rancangan Penambahan Udara

yang dialirkan dari Kanopi 1 ke Kanopi 2

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil evaluasi kualitas udara lubang tambang CBP-03 memiliki gas methan (CH₄) melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) yang diizinkan oleh Kepmen. Nomor: 1827 K/30/MEM/2018. Dari data hasil evaluasi kualitas udara untuk temperatur efektif dan kelembaban relatif diperoleh:

- Kanopi 1 kecepatan udara 0,77 m/detik diperoleh temperatur udara efektif yaitu 20,43 - 20,57 °C dengan kelembaban udara relatif sebesar 71,4 - 71,83%.
- Kanopi 2 kecepatan udara 0,91 m/detik diperoleh temperatur udara efektif yaitu 24,31 - 24,68 °C dengan kelembaban udara relatif sebesar 84,56 - 85,21%.
- Percabangan kecepatan udara 0,13 - 0,82 m/detik diperoleh temperatur udara efektif yaitu 26,66 - 27,63°C dengan kelembaban udara relatif sebesar 91,90 - 95,02%.
- Front kerja kecepatan udara 0,13 - 0,37 m/detik diperoleh temperatur udara efektif yaitu 26,66 - 29,88°C dengan kelembaban relatif sebesar 91,40 - 97,80 %.

Dari data hasil evaluasi tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa temperatur efektif dan kelembaban relatif pada kanopi 2, percabangan dan front kerja telah melebihi nilai ambang batas (NAB) yang diatur oleh Kepmen No.1827 K/30/MEM/2018, yaitu temperatur efektif berkisar antara 18-24 °C dengan kelembaban relatif maksimum 85 %.

2. Dari data hasil evaluasi kuantitas udara masuk dan udara keluar sama, sebesar 6,06 m³/detik.

3. Kebutuhan Udara Pada Front Kerja

- Berdasarkan kebutuhan udara untuk pernafasan 3 orang para pekerja pershift di front kerja yaitu 0,10 m³/detik.
- Berdasarkan Kebutuhan Udara untuk Mendilusi Gas Methan 0,2376 m³ /s
- Berdasarkan kebutuhan udara untuk alat yaitu 0,73 m³ /s

4. Berdasarkan hasil rancangan sistem ventilasi menggunakan autocad 2007

a. Rancangan Sistem Ventilasi Penambahan Fan

Dari hasil rancangan sistem ventilasi dilakukan penambahan fan di kanopi 2 ditambah penambahan fan udara dari FKC15-MAJU dan FKC14 di kanopi 1 dialirkan ke FKC14-MAJU,FKC13,FKC12 dan FKC11 untuk memenuhi kebutuhan udara.Total kuantitas udara tersedia sesudah penambahan fan sebesar 9,09 m³/detik.

[11] A. Febrianda. *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah*. Jurnal Penelitian **3.7.**. Padang: Universitas Negeri Padang. (2016)

[12] Wiyono dan Sudarsono. 2001. "*Diktat Kuliah Ventilasi Tambang*". Jurusan Teknik Pertambangan, UPN "Veteran". Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- [1] Hartman.1984.Tambang umum.istilah Tambang
- [2] Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Sumber daya Mineral No.1827.K/M.PE/1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Pertambangan Umum.
- [3] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah Batubara.2017
- [4] F. Frimanda. *Sistem Ventilasi Udara Tambang Batubara Bawah Tanah*. Jurnal Penelitian **3.2.** Sawahlunto: Universitas Negeri Padang. (2015)
- [5] Bambang Heriyadi. *Rancangan Dan Pembuatan Simulasi Sistem Ventilasi Tambang Laboratorium Untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang*. Jurnal Penelitian. Padang: Universitas Negeri Padang. (2017)
- [6] D.A. Prata. *Jurnal Aplikasi Pengukuran Ventilasi Alami*. Jurnal Penelitian **7.1.** Sawahlunto: Badan Diklat Tambang Bawah Tanah. (2014)
- [7] Fedi. *Analisis Penurunan Suhu Udara di Area Produksi Tambang Batubara Bawah Tanah PT. Bukit Asam (Persero) Tbk*. Jurnal Penelitian **2.1.** Unit Penambangan Ombilin, Sawahlunto, Sumatera Barat. (2012)
- [8] J. Sui. *Analisis Optimalisasi Ventilasi Tambang dan Kontrol Aliran Udara*. Jurnal Penelitian **6.6.** Yan Tai: Naval Aeronautical Engineering University. (2011)
- [9] W. Marx and B.K. Belle. *Penggambaran Suatu Sistem Aliran Udara Di Tambang Batubara Afrika Selatan, Menggunakan Perangkat Lunak Simulasi VUMA-Network* . Jurnal Penelitian **7.2.** CSIR- Miningtek, Johannesburg, South Africa. (2014)
- [10] Sugiono. *Metode Penelitian Pendidikan Alfabeta*. Bandung. (2009)