

Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi Pada Lubang Tambang BMK-35 CV. Bara Mitra Kencana, Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kota Sawahlunto

Andi Asmunandar^{1*} and Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

* andi_asmunandar@yahoo.co.id

**bambang_heriyadi@yahoo.co.id

Abstract. *In underground mining activities required mine ventilation, it use to include fresh air needed by miners. Methane gas explosion has occured in CV. Bara Mitra Kencana on Wednesday, March 29, 2017. The tunnel location of explosion is currently contiguous to the location of the mine plan progress (BMK-35) that following the direction of coal deployment that has the potential of methane gas hazards, cause of that a good ventilation system design is required to prevent the explosion. After the evaluation there was a difference quantity of air entering and exit air, the air inside is 6,66 m³/s and the quantity of air outside is 6,33 m³/s. This is caused by ripped of the duct at the air intake is much as 6 points. Air temperature at the mine pit BMK-35 increased temperature of 1°C every 100 m of mine progress. Based on the evaluation results, the use of fan/blower with a capacity of 200 m³/min with a system of ducts using continue system every space 100 meters progress of underground mine. Based on the calculation the amount of air requirement is 4,05 m³/s while the venting capacity of the forcing fan and the suction vent (exhaust fan) is 12,02 m³/s. Based ;on that, we can concluded the addition of exhaust fan on canopy 3 already suffice the air requirement to support mining operational activities. Installation of the exhaust fan is doing to anticipate the accumulation of high methane gas, as one of the ventilation functions is to dissolve and bring out impurities from the gases in the mining area, so as to achieve a condition that is eligible to prevent the occurrence of gas explosions in mines*

Keywords: *Evaluation, Ventilation System, Underground Mine, Velocity of Air, Air Volume*

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.

CV. Bara Mitra Kencana adalah salah satu perusahaan penambangan batubara yang melakukan kegiatannya dengan menggunakan sistem tambang bawah tanah. Kegiatan penambangannya dilakukan dengan menggunakan metode *room and pillar*. 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 CV. Bara Mitra Kencana 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.555.K/M.PE/1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum yang tercantum pada pasal 369 sampai dengan pasal 376 tentang ventilasi^[1].

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 CV. Bara Mitra Kencana memiliki 8 lubang bukaan tambang dengan memiliki kondisi ventilasi yang berbeda-beda yaitu BMK-34, BMK-30, BMK-35, BMK-14, BMK-17, BMK-32, BMK-04 dan BMK-23. 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 BMK-35^[2].

Ventilasi tambang harus benar-benar diperhatikan karena dengan semakin dalamnya penggalian maka jarak antara mesin angin bantu akan semakin jauh, sehingga faktor ini dapat mengurangi kuantitas udara pada *front* penambangan, mengganggu produktivitas dan kenyamanan pekerja di dalam tambang. Apabila tidak ada ventilasi dalam tambang bawah tanah maka kemungkinan besar para pekerja akan susah bernafas dan yang terburuk bisa menyebabkan kematian^[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 di lubang BMK-35 hanya menggunakan sistem ventilasi hembus, selain itu peneliti juga menemukan robeknya *duct*. yang mengakibatkan kehilangan sirkulasi udara. Sehingga menyebabkan kuantitas dan kualitas udara berkurang, serta temperatur efektif dan kelembaban relatif meningkat melebihi ambang batas.

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^[4], seperti yang pernah terjadi di CV. Bara Mitra Kencana pada hari Rabu, 29 Maret 2017. 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 sehingga dibutuhkan rancangan sistem ventilasi yang baik untuk mencegah terjadinya ledakan.

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.

Berdasarkan masalah diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi Pada Lubang Tambang BMK-35 CV. Bara Mitra Kencana, Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kota Sawahlunto".

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administratif tersebut terletak di Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Lokasi tambang tersebut dapat dicapai dengan menggunakan kendaraan roda empat dari Kota Padang jaraknya ± 117 Km ke kota Sawahlunto serta menuju ke lokasi tambang dengan jarak tempuh ± 13 Km selebihnya ± 3 Km merupakan jalan tambang yang akan digunakan untuk menunjang kelancaran operasional penambangan.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Lokasi CV. Bara Mitra Kencana

Dengan wilayah Izin Usaha Penambangan (IUP) seluas 49,61 Ha dan secara geografis daerah penambangan tersebut terletak pada koordinat $100^\circ 47' 18,39''$ - $100^\circ 46' 48,10''$ Bujur Timur (BT) dan $00^\circ 37' 08,22''$ - $00^\circ 36' 58,36''$ Lintang Selatan (LS). Status lahan yang dimanfaatkan bagi rencana kegiatan penambangan betubara di Tanah kuning, Desa Batu Tanjung, Kec. Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, merupakan bekas tambang PT. BA-UPO yang telah diserahkan pengelolanya kepada pemerintah daerah Kota Sawahlunto.

Ventilasi tambang dapat dibagi menjadi dua macam yaitu ventilasi alami dan ventilasi buatan, dalam pembahasan kali ini juga membahas tentang ventilasi alami dengan udara yang mengalir dalam terowongan di bawah tanah sangat penting untuk mengatur tingkat kenyamanan para pekerja yang ada dilokasi tersebut. Berdasarkan beberapa literatur, kenyamanan manusia saat berada pada lubang terowongan bawah tanah pada saat ventilasi berfungsi sesuai dengan yang diinginkan^[5].

Bahwasanya jika temperatur udara di area produksi berada diatas ambang rata-rata yang diperoleh oleh KEPMEN-555K yaitu berkisar antara 18°C-24°C maka kondisi kerja para penambang akan mengalami penurunan efisiensi. Dapat diasumsikan terjadi berbagai jenis sumber panas yang dapat meningkatkan suhu udara di area tambang bawah tanah. Diantaranya panas dari batuan, panas dari peralatan yang kita gunakan, dan panas dari badan para pekerja yang bekerja sendiri^[6].

Sistem ventilasi utama merupakan penyumbang utama biaya modal dan operasi sebagian besar tambang, memiliki bantalan utama pada kesehatan dan keselamatan tenaga kerja. Mungkin desain tunggal yang paling penting parameter untuk sistem ventilasi primer adalah persyaratan aliran udara keseluruhan dan kesalahan yang dihasilkan dari pembentukan nilai ini memiliki berbagai macam efek domino pada aspek lain dari desain tambang^[7].

Desain ventilasi yang baik dapat memberikan udara segar untuk meningkatkan lingkungan kerja yang nyaman dan penyaluran udara yang baik, oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk optimalisasi terhadap sistem ventilasi tambang^[8].

Volume udara (Q), dapat ditentukan dari hasil perkalian antara kecepatan rata-rata udara (V) dengan luas penampang melintang saluran udara (A), berikut merupakan persamaan volume udara ($Q=V \times A$) dengan satuan Q adalah m³/s, V adalah m/s, dan A adalah m²^[9].

Udara bersih sangat dibutuhkan dalam tambang bawah tanah untuk menunjang kegiatan penambangan. Salah satunya dengan memperhatikan pasokan aliran udara bersih yang masuk ke *decline* sangat kecil dibandingkan pasokan aliran udara bersih yang masuk ke *x-cut*^[10].

Masalah umum di seluruh dunia yang saat ini dialami oleh tambang batubara bawah tanah adalah bahaya yang disebabkan oleh lingkungan panas bawah tanah, yang juga mendorong kebutuhan akan langkah-langkah mengurangi resiko yang dapat menjamin untuk membantu operator tambang mengendalikan tekanan panas bagi para penambang sekaligus mempertahankan operasi normal dari tambang. Gagasan keseimbangan panas digunakan untuk menetapkan persamaan perhitungan temperatur. Berbagai sumber panas bawah tanah (tekanan udara, oksidasi dinding, panas bawah tanah, Mesin, dan lain-lain).

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan merancang sistem ventilasi untuk digunakan pada kelanjutan penambangan di lubang BMK-35, evaluasi dan rancangan ini dihitung berdasarkan data kualitas dan kuantitas udara.

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang peneliti lakukan adalah penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah menerapkan, menguji, mengevaluasi kemampuan suatu teori yang diterapkan dalam memecahkan masalah-masalah praktis. Penelitian terapan ini digolongkan menurut tujuan, penelitian yang bertujuan untuk menemukan pengetahuan yang secara praktis dapat diaplikasikan. Walaupun ada kalanya penelitian terapan juga untuk mengembangkan produk penelitian dan pengembangan bertujuan untuk menemukan, mengembangkan dan memvalidasi suatu produk^[11].

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Dalam teknik pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu:

3.2.1 Studi Lapangan

Yaitu cara mendapatkan data yang dibutuhkan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan atau tempat penelitian, stasiun pemantauannya adalah jalur utama masuk udara (*intake air way*) dan jalur utama keluar udara (*outlet air way*), percabangan, dan *front* kerja. Hal yang diukur antara lain adalah kandungan gas, temperatur udara, kelembaban, kecepatan udara, penampang terowongan dan penampang *air duct*^[12]. Disini akan dijelaskan teknik pengumpulan data mengenai pengukuran yang secara langsung di lapangan sebagai berikut:

1. Pengukuran kandungan gas

Untuk mengukur kandungan gas pada terowongan atau lubang tambang digunakan alat *multigas detector*, dimana alat ini diarahkan ke sekeliling penampang stasiun pengamatan di lubang tambang dengan cara konstan untuk mengukur kandungan gas rata-rata.

2. Pengukuran temperatur dan kelembaban udara

Untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara pada terowongan atau lubang tambang maka digunakan alat *digital sling psychrometer*, di mana alat ini diarahkan ke sekeliling penampang sepanjang lubang tambang dengan cara konstan untuk mengukur temperatur kering dan temperatur basah. Kemudian untuk menentukan kelembaban udara digunakan tabel *relative humidity*.

3. Pengukuran kecepatan udara

Untuk mengukur kecepatan udara maka digunakan alat *anemometer*. Alat ini diletakkan di dalam aliran udara untuk memutar baling-baling, dimana kecepatan udara atau jarak tempuh aliran udara per satuan waktu dapat diperoleh dari jumlah putaran dalam waktu tertentu.

4. Pengukuran penampang terowongan dan penampang *air duct*

Untuk mengukur luas penampang atau jarak kemajuan penambangan dan penampang *air duct*, maka digunakan alat *laser distance meter*. Kemudian hasil pengukurannya untuk menghitung selisih antara penampang terowongan dengan penampang *air duct*.

3.2.2 Studi Pustaka

Yaitu 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.

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 CV. Bara Mitra Kencana dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

3.3.1 Kualitas

1. Analisis kualitas udara berdasarkan data pengukuran dengan *multi gas detector*
2. Menentukan temperatur efektif menggunakan grafik temperatur efektif
3. Menentukan kelembaban relatif menggunakan tabel *relative humidity*

3.3.2 Mencari luas penampang

1. Terowongan

$$A = \{(a+b)/2\} \times h \quad (1)$$

2. *Duct*

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

3.3.3 Perhitungan kuantitas udara^[13]

$$Q = V \times A \quad (3)$$

3.3.4 Merancang desain sistem ventilasi menggunakan autocad 2006.

Dalam perancangan ventilasi lubang tambang BMK-35 akan menggunakan sistem ventilasi *exhaust fan*. Dalam perancangan sistem ventilasi tersebut akan disesuaikan dengan aturan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi nomor: 555.K/26/M.PE/1995.^[14] Berikut merupakan acuan dalam perancangan sistem ventilasi yang akan digunakan^[15]:

1. Mempertahankan temperatur efektif udara dikisaran 18°-24° C dan kelembaban relatif maksimum 85 %
2. Mempertahankan kualitas udara oksigen tidak kurang dari 19,5%.
3. Mempertahankan kuantitas udara untuk kebutuhan pernafasan pekerja 2 m³/menit dan alat 3 m³/menit.
4. Menetralisir adanya gas metan agar volumenya tidak melebihi 0,25%.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengumpulan Data

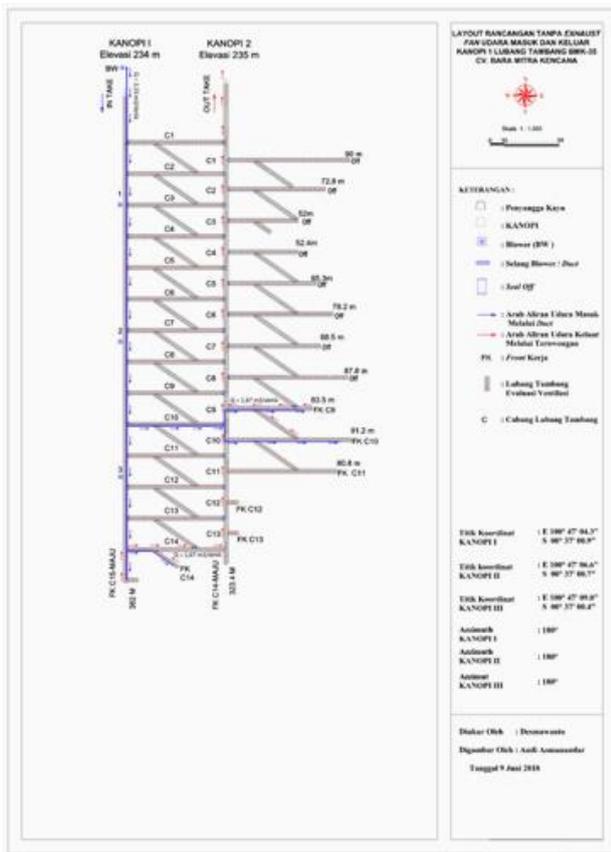
Jenis data ini merupakan data yang diperoleh berdasarkan penelitian langsung dilapangan terutama sistem ventilasi tambang bawah tanah. Data tersebut berupa pengamatan aplikasi di lokasi penambangan dan pengukuran secara langsung. Layout ventilasi lubang BMK-35 dapat dilihat pada gambar 2. Berikut merupakan data yang penulis peroleh dari lapangan:

4.1.1 Ukuran penampang/geometri terowongan

Geometri penampang terowongan yang diukur yaitu pada lubang utama, percabangan dan *front kerja* pada lubang tambang BMK-35 menggunakan alat *laser distance meter* dan meteran. Penampang terowongan pada lubang utama berbentuk *archis*, sedangkan pada percabangan dan *front kerja* berbentuk trapesium. Hasil pengukuran dimensi lubang bukaan terlihat pada tabel 1:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Penampang Terowongan

NO	LOKASI PENGUKURAN	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	KANOPI 1	2,65	2,65	2,30	1,33	0,5
2	KANOPI 2	2,65	2,65	2,30	1,33	0,5
3	CABANG C14	2,30	2,00	1,80		
4	CABANG C13	2,30	2,00	1,80		
5	CABANG C12	2,30	2,00	1,80		
6	CABANG C11	2,30	2,00	1,80		
7	CABANG C10	2,30	2,00	1,80		
8	CABANG C9	2,30	2,00	1,80		
9	FK C15-MAJU	2,50	2,20	2,20		
10	FK C14	2,30	2,00	1,80		
11	FK C14-MAJU	2,50	2,20	2,20		
12	FK C13	2,30	2,00	1,80		
13	FK C12	2,30	2,00	1,80		
14	FK C11	2,30	2,00	1,80		
15	FK C10	2,30	2,00	1,80		
16	FK C9	2,30	2,00	1,80		



Gambar 2. Layout Evaluasi Sistem Ventilasi BMK-35

4.1.2 Pengukuran penampang/geometri duct

Duct yang digunakan di lubang tambang BMK-35 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 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Geometri Duct

NO	LOKASI	Diameter (m)	Jari-jari (m)
1	KANOPI 1	0,46	0,23
2	KANOPI 2	0,46	0,23
3	CABANG C14	0,46	0,23
4	CABANG C13	0,46	0,23
5	CABANG C12	0,46	0,23
6	CABANG C11	0,46	0,23
7	CABANG C10	0,46	0,23
8	CABANG C9	0,46	0,23
9	FK C15-MAJU	0,46	0,23
10	FK C14	0,46	0,23
11	FK C14-MAJU	0,46	0,23
12	FK C13	0,46	0,23
13	FK C12	0,46	0,23
14	FK C11	0,46	0,23
15	FK C10	0,46	0,23
16	FK C9	0,46	0,23

4.1.3 Pengukuran Kecepatan Udara

Kecepatan udara diukur menggunakan alat *anemometer* CFM 8901 dan dilakukan di 4 titik yaitu pada lubang bukaan utama, percabangan dan *front* kerja.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara

LOKASI PENGUKURAN	TANGGAL PENGUKURAN			KETERANGAN
	09 juni 2018	10 juni 2018	11 juni 2018	
	Satuan pengukuran (meter/detik)			
KANOPI 1	0,77	0,77	0,77	Udara alami
KANOPI 2	0,91	0,91	0,91	
CABANG C14	0,82	0,82	0,82	
CABANG C13	0,27	0,27	0,13	
CABANG C12	0,13	0,13	0,13	
CABANG C11	0,13	0,13	0,14	
CABANG C10	0,14	0,14	0,15	
CABANG C9	0,15	0,15	0,16	
Front Kerja C15	0,37	0,37	0,37	
Front Kerja C14	0,41	0,41	0,41	
Front Kerja C14	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	
Front Duct C15-MAJU	11,44	11,45	11,43	
Front Duct C14	11,38	11,38	11,37	
Front Duct C14-MAJU	3,45	3,45	3,46	
Front Duct C13	3,87	3,85	3,87	
Front Duct C12	3,77	3,76	3,78	
Front Duct C11	3,45	3,45	3,45	
Front Duct C10	3,98	3,98	3,98	
Front Duct C9	4,25	4,26	4,23	

4.1.4 Pengukuran Emisi Gas Metan dan Gas Lainnya

Pengukuran gas metan dan gas lainnya di CV. Bara mitra kencana menggunakan alat *multigas detector*. Pengukuran dilakukan oleh pengawas dipagi hari sebelum pekerja memasuki lubang tambang, dan setelah istirahat siang sebelum pekerja masuk ke dalam lubang tambang.

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 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengukuran Emisi Gas Methan dan Gas Lainnya

LOKASI	Tanggal 9 juni 2018							
	Pagi				Siang			
	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
KANOPI 2	0	20,9	0	0	0	20,9	0	0
CABANG C14	0	20,7	0	1	0	20,6	0	2
CABANG C13	0	20,6	0	1	0	20,6	0	2
CABANG C12	0	20,8	0	1	0	20,7	0	2
CABANG C11	0	20,4	0	1	0	20,3	0	2
CABANG C10	0	20,4	0	1	0	20,3	0	2
CABANG C9	0	20,5	0	1	0	20,4	0	2
FK C15-MAJU	0	20,4	0	2	0	20,4	0	3
FK C14	0	20,5	0	2	0	20,4	0	3
FK C14-MAJU	0	20,4	0	5	0	20,3	0	6
FK C13	0	20,6	0	5	0	20,6	0	6
FK C12	0	20,8	0	5	0	20,7	0	6
FK C11	0	20,4	0	6	0	20,3	0	8
FK C10	0	20,4	0	7	0	20,3	0	9
FK C9	0	20,5	0	5	0	20,4	0	7

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 berikut:

Tabel 5. Hasil Pengukuran Temperatur Udara

LOKASI PENGUKURAN	9 juni 2018				10 juni 2018				11 juni 2018			
	Pagi		Siang		Pagi		Siang		Pagi		Siang	
	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	25,5	23,3	25,4	23,5	25,6	23,2	25,5	23,4	25,5
KANOPI 2	25,1	27,2	25,2	27,3	25,2	27,3	25,0	27,0	25,1	27,2	25,4	27,5
CABANG C14	27	27,9	27	27,9	27,9	28,8	27,5	28,4	26,8	27,8	27	27,9
CABANG C13	27	27,9	27,1	28	27	27,9	27,2	28,1	27	27,9	27,1	28
CABANG C12	27,1	27,9	27,1	28,2	27	27,9	27,2	28,2	27,1	28	27	28,1
CABANG C11	27,2	28,2	27,3	28,3	27,4	28,4	27,5	28,5	27,3	28,2	27,5	28,5
CABANG C10	27,1	28	27,3	28,3	27,3	28,3	27,4	28,3	27,1	28	27,5	28,5
CABANG C9	27	27,9	27,1	28,1	27	27,9	27,2	28,2	27,1	28	27	28,1
FK C15-MAJU	28	28,5	28,5	29	28,6	29	28,8	29,3	27,9	28,4	28,7	29,1
FK C14	28	28,9	28,2	29,1	28,3	29,5	28,6	28,9	28,2	28,7	28,8	29,3
FK C14-MAJU	28	28,9	28,5	29	28,5	29	29	29,5	28,9	29,4	29	29,5
FK C13	28	28,9	28,5	29,5	28,6	29	29	29,5	28,3	28,8	28,7	29,1
FK C12	28	28,9	28,5	29,5	28,1	29	28,5	29	28,9	29	29	29,5
FK C11	28,5	29,5	29	29,5	29,1	29,5	29,5	30	29,6	30,1	29,6	29,9
FK C10	29	29,5	30	30,4	29,8	30,3	29,9	30,4	29	29,5	29,5	30
FK C9	27	27,9	27,1	28,1	27	27,9	27,2	28,2	27,1	28	27	28,1

Berdasarkan tabel 5 di atas dapat dilihat bahwa temperatur udara pada lubang tambang BMK-35 melebihi ambang batas yang telah ditetapkan Kepmen. No. 555.K/26/M.PE/1995 yaitu 18-24°C.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Perhitungan Luas Terowongan

Tabel 6. Hasil Perhitungan Luas Penampang Terowongan

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN							
		Luas Persegi			Luas Setengah Elips			Luas Total (m ²)	
		Panjang (□)	p	l	a	b	π		
1	KANOPI 1	2,65	2,30	6,10	1,32	0,50	3,14	1,04	7,13
2	KANOPI 2	2,65	2,30	6,10	1,32	0,50	3,14	1,04	7,13

4.2.2 Mencari luas duct

Tabel 7. Hasil Perhitungan Luas Penampang Duct

NO	LOKASI PENGUKURAN	DIAMETER DUCT	KONSTANTA	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 C14	0,46	3,14	0,17
4	CABANG C13	0,46	3,14	0,17
5	CABANG C12	0,46	3,14	0,17
6	CABANG C11	0,46	3,14	0,17
7	CABANG C10	0,46	3,14	0,17
8	CABANG C9	0,46	3,14	0,17
9	FK C15-MAJU	0,46	3,14	0,17
10	FK C14	0,46	3,14	0,17
11	FK C14-MAJU	0,46	3,14	0,17
12	FK C13	0,46	3,14	0,17
13	FK C12	0,46	3,14	0,17
14	FK C11	0,46	3,14	0,17
15	FK C10	0,46	3,14	0,17
16	FK C9	0,46	3,14	0,17

4.2.3 Menghitung kuantitas udara

Tabel 8. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara alami pada kanopi 1

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN At (m ²)	LUAS PENAMPANG DUCT Ad (m ²)	LUAS SELISIH PENAMPANG As = Ak - Ad	KECEPATAN UDARA	KUANTITAS UDARA
					V (m/detik)	Q (m ³ /detik)
1	KANOPI 1	7,13	0,17	6,96	0,77	5,36
Total udara alami masuk kanopi 1						5,36

Tabel 9. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara tersedia pada kanopi 1

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

Tabel 10. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara ke *front duct* pada kanopi 1

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG DUCT A (m ²)	Kecepatan Udara maksimum	Re	V = Vmax × Re	KUANTITAS UDARA
			Vmax (m/detik)			Q = A × V
1	Front Duct C15-MAJU	0,17	11,44	0,8	9,15	1,52
2	Front Duct C14	0,17	11,38	0,8	9,10	1,51
Total udara masuk						3,03

Tabel 11. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara ke *front kerja* pada kanopi 1

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN At (m ²)	LUAS PENAMPANG DUCT Ad (m ²)	LUAS SELISIH PENAMPANG As = At - Ad	KECEPATAN UDARA	KUANTITAS UDARA
					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

Tabel 12. Hasil Perhitungan Kuantitas Udara keluar pada kanopi 1 melalui cabang 14 mengalir ke arah terowongan kanopi 2

NO	LOKASI PENGUKURAN	LUAS PENAMPANG TEROWONGAN At (m ²)	LUAS PENAMPANG DUCT Ad (m ²)	LUAS SELISIH PENAMPANG As = At - Ad	KECEPATAN UDARA	KUANTITAS UDARA
					V (m/detik)	Q = As × V
1	CABANG-14	3,87	0,17	3,70	0,82	3,03
Total udara keluar melalui cabang-14 ke arah terowongan kanopi 2						3,03

4.2.4 Kebutuhan Udara Pada Front Kerja BMK-35

Tabel 13. Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara untuk Pernafasan Pada *Front Kerja*

LOKASI PENGUKURAN	Jumlah	Kebutuhan udara untuk	Konversi	Kebutuhan udara
	n		s	
FK C15-MAJU	3	2	60	0,10
FK C14	3	2	60	0,10
FK C14-MAJU	3	2	60	0,10
FK C13	3	2	60	0,10
FK C12	3	2	60	0,10
FK C11	3	2	60	0,10
FK C10	3	2	60	0,10
FK C9	3	2	60	0,10
Jumlah total kebutuhan udara				0,80

Tabel 14. Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara Untuk Alat

Alat	HP	Jumlah	Kebutuhan Udara (m ³ /detik)
Blower	2,01	6	0,60
Pompa	2,01	8	0,80
Lampu	0,01	34	0,02
Jack	1,74	8	0,70
Jumlah			2,12

4.2.5 Perhitungan temperatur efektif

Tabel 15. Hasil Perhitungan Temperatur Efektif

LOKASI	09 juni 2018		10 juni 2018		11 juni 2018	
	Pagi	Siang	Pagi	Siang	Pagi	Siang
	Dalam satuan °C					
KANOPI 1	21,11	21,83	21,67	22,06	21,67	21,83
KANOPI 2	25,00	25,50	26,06	26,11	25,26	25,83
CABANG C14	26,00	26,44	27,22	27,50	26,44	26,61
CABANG C13	26,11	26,50	26,11	26,78	26,67	26,89
CABANG C12	26,33	26,61	26,72	26,83	26,67	26,89
CABANG C11	26,39	26,78	27,22	27,33	26,83	27,06
CABANG C10	26,67	26,94	26,89	27,06	26,61	27,11
CABANG C9	26,50	26,89	26,56	27,11	26,50	26,94
FK C15-MAJU	26,94	28,06	27,72	28,06	27,56	27,94
FK C14	27,22	27,61	27,94	28,06	27,61	28,00
FK C14-MAJU	27,72	28,27	27,89	28,44	28,50	28,61
FK C13	27,61	28,00	28,39	28,50	27,78	28,11
FK C12	27,61	28,00	27,78	28,11	28,39	28,67
FK C11	28,33	28,33	28,44	29,00	28,56	29,22
FK C10	28,50	29,44	29,44	29,72	28,44	29,17
FK C9	26,17	26,72	26,72	27,11	26,33	26,89

Berdasarkan tabel 15 di atas dapat dilihat bahwa temperatur efektif pada lubang tambang BMK-35 melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam Kepmen. No. 555.K/26/M.PE/1995, yaitu berkisar antara 18-24 °C.

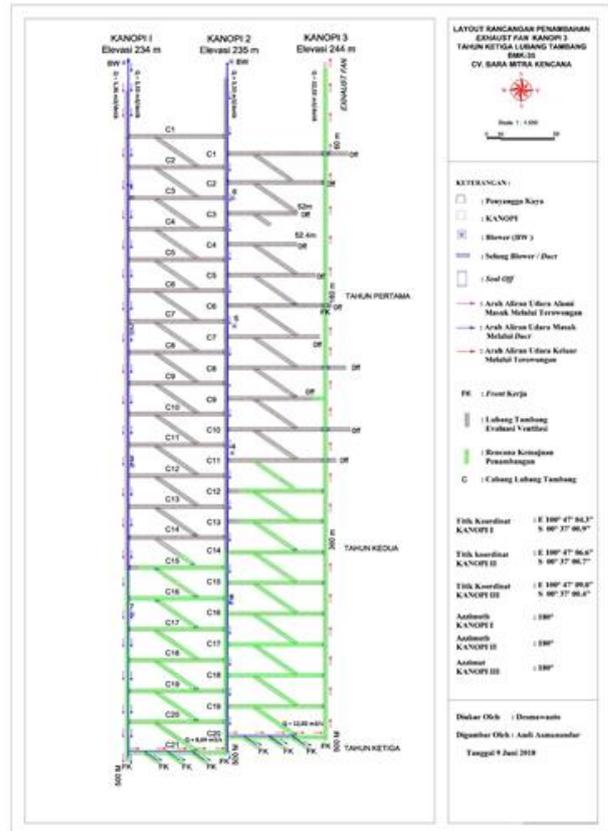
4.2.6 Perhitungan kelembaban relatif

Tabel 16. Hasil Perhitungan Kelembaban Relatif

LOKASI	09 juni 2018		10 juni 2018		11 juni 2018	
	Pagi	Siang	Pagi	Siang	Pagi	Siang
	Dalam satuan %					
KANOPI 1	79,0	79,2	80,0	80,2	79,1	79,3
KANOPI 2	82,0	82,1	82,2	83,7	82,1	82,3
CABANG C14	88,2	88,6	88,5	88,8	88,2	88,6
CABANG C13	88,1	88,4	88,4	88,7	88,3	88,6
CABANG C12	88,0	88,3	88,2	88,5	88,1	88,4
CABANG C11	88,3	88,6	88,4	88,7	88,2	88,5
CABANG C10	88,2	88,5	88,5	88,8	88,2	88,5
CABANG C9	88,0	88,3	88,2	88,5	88,1	88,4
FK C15-MAJU	94,0	94,1	94,2	94,5	94,1	94,3
FK C14	88,4	88,5	88,6	94,2	94,1	94,4
FK C14-MAJU	88,3	94,0	94,4	94,7	94,3	94,6
FK C13	88,4	88,5	94,0	94,2	94,1	94,4
FK C12	88,3	88,5	88,7	94,3	94,4	94,6
FK C11	88,5	94,1	94,1	94,6	94,0	94,4
FK C10	94,0	94,1	94,2	94,6	94,1	94,3
FK C9	88,2	88,4	88,3	88,6	88,2	88,4

Berdasarkan tabel 16 di atas dapat dilihat bahwa kelembaban udara relatif pada lubang tambang BMK-35 melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam Kepmen. No. 555.K/26/M.PE/1995 yaitu maksimal 85 persen.

4.3 Hasil Rancangan Sistem Ventilasi Menggunakan Autocad 2006



Gambar 3. Sketsa Rancangan Sistem Ventilasi BMK-35 Tahun Pertama

Kemajuan penambangan di lubang tambang BMK-35 setiap bulannya rata-rata 15 meter ke arah kemiringan batubara dengan rencana kemajuan penambangan sampai dengan 500 meter. Sebelum pemasangan *exhaust fan* untuk kemajuan penambangan kanopi 3 kebutuhan udaranya untuk sementara waktu dengan menggunakan *blower* yang kapasitasnya 3,33 m³/detik. Pemasangan *exhaust fan* dilakukan pada saat mencapai kemajuan penambangan 60 meter setelah bertemu dengan cabang C1 kanopi 2, yang dibutuhkan waktu 4 bulan (4 bulan×15 meter = 60 meter/bulan). Pada waktu yang bersamaan kanopi 2 akan dilakukan penyekatan udara yang bersifat fleksibel (dapat dibuka dan dapat ditutup), dan Cabang C1 yang telah di *seal off* akan dibuka kembali untuk dipergunakan jalannya sirkulasi udara pada tahun pertama ini.

Begitu juga selanjutnya setiap kemajuan penambangannya bertemu dengan cabang pada kanopi 2 yang telah *diseal off* dibuka kembali dan dipergunakan sebagai jalannya sirkulasi udara berikutnya. Kemudian

cabang yang sebelumnya yang dipergunakan untuk sirkulasi udara di *seall off* kembali, begitu juga selanjutnya. Pada tahun pertama kemajuan penambangan akan mencapai kedalaman 180 meter (15 meter \times 12 bulan = 180 meter). Pada kemajuan ini akan bertemu dengan Cabang C6 kanopi 2, sebagai ventilasi udara keluar mengarah ke terowongan rancangan *exhaust fan* kanopi 3.

Pada kanopi 1 udara alami dengan kuantitas sebesar 5,36 m³/detik akan bertambah dengan kuantitas udara masuk melalui *duct* kanopi 1 sebesar 3,33 m³/detik pada Cabang C17 dari rencana kemajuan penambangan, sehingga kuantitas udara menjadi sebesar 8,69 m³/detik. Selanjutnya udara akan mengalir ke arah terowongan kanopi 2 dan bertambah dengan udara masuk melalui *duct* dari kanopi 2 sebesar 3,33 m³/detik. Total kuantitas udara menjadi sebesar 12,02 m³/detik yang dihisap oleh *exhaust fan* pada kanopi 3, sesuai dengan perhitungan rancangan sistem ventilasi sesudah penambahan *exhaust fan*.

4.3.2 Tahun Kedua

Pada tahun kedua kemajuan penambangan kanopi 3 akan mencapai 360 meter (15 meter \times 24 bulan = 360 meter). Kemajuan penambangan tersebut akan bertemu dengan Cabang C14 kanopi 2 dari kelanjutan kegiatan penambangan tahun pertama sesuai dengan rencana kemajuan penambangan lubang tambang BMK-35. Selanjutnya cabang C14 tersebut akan dipergunakan untuk jalannya sirkulasi keluar udara berikutnya. Kuantitas udara masuk dan keluar tetap dipertahankan sebesar 12,02 m³/detik.

4.3.3 Tahun Ketiga

Pada tahun ketiga kemajuan penambangan sudah mencapai sesuai dengan rencana kemajuan penambangan lubang tambang BMK-35 yaitu 500 meter (15 meter \times 33,34 bulan = 500 meter). Selanjutnya cabang terakhir (cabang C20) dari rencana kemajuan penambangan akan dipergunakan untuk jalannya sirkulasi keluar udara berikutnya. Jumlah kuantitas udara masuk melalui *duct* akan dibagi ke 4 *front* kerja pada kanopi 1, dan pada kanopi 2 kuantitas udara masuk melalui *duct* juga akan dibagi ke 4 *front* kerja sesuai dengan rencana kemajuan penambangan 500 meter. Kuantitas udara masuk dan keluar akan tetap dipertahankan sebesar 12,02 m³/detik

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil evaluasi terdapat perbedaan kuantitas udara masuk dan udara keluar yaitu udara masuk melalui *duct* sebesar 6,66 m³/detik dan kuantitas udara keluar melalui terowongan kanopi 2 sebesar 6,33 m³/detik. Hal tersebut disebabkan oleh kebocoran *duct* pada kanopi 1 tidak dapat mengalir ke arah kanopi 2 yang disebabkan oleh beda tinggi dari terowongan, sehingga tidak dapat berjalannya sirkulasi udara secara baik.

Berdasarkan hasil perhitungan rancangan sistem ventilasi sesudah pemasangan *exhaust fan* didapatkan kebutuhan udara pada *front* kerja untuk pekerja adalah 0,9 m³/detik dan kebutuhan udara untuk peralatan sebesar 3,15 m³/detik, sehingga total jumlah kebutuhan udara untuk kegiatan penambangan sesuai dengan rencana kemajuan penambangan 500 meter menjadi sebesar 4,05 m³/detik. Sedangkan hasil dari perhitungan sesudah penambahan *exhaust fan* kuantitas udara masuk sebesar 12,02 m³/detik. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *exhaust fan* pada kanopi 3 sudah memenuhi kebutuhan udara untuk menunjang kegiatan operasional penambangan.

Pengendalian gas methan (CH₄) maupun gas yang berbahaya lainnya dapat dilakukan dengan cara pemasangan ventilasi hisap (*exhaust fan*) sesuai dengan fungsi ventilasi yaitu melarutkan dan membawa keluar segala pengotor dari gas-gas yang ada di dalam tambang hingga tercapai kondisi yang memenuhi syarat untuk mencegah ledakan gas dalam tambang bawah tanah. Hal ini sudah sesuai dengan rancangan sistem ventilasi pada lubang tambang BMK-35 yang nantinya dapat diterapkan oleh perusahaan.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian pembahasan dan perhitungan, maka dapat disimpulkan:

1. Hasil evaluasi kualitas udara lubang tambang BMK-35 memiliki gas methan (CH₄) melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) yang diizinkan oleh Kepmen. Nomor: 555.K/26/M.PE/1995 yaitu pada lokasi *front* kerja (FK) C9 = 7 - 9 LEL, C10 = 7 - 9 LEL, C11 = 6 - 8 LEL, C12 = 5 - 6 LEL, C13 = 5 - 6 LEL, dan C14-MAJU = 5-6 LEL. 0,25% (5 LEL). Sedangkan untuk gas karbon monoksida (CO), oksigen (O₂), dan hidrogen sulfida (H₂S) telah memenuhi standar (Nilai Ambang Batas).
2. Hasil evaluasi kualitas udara untuk temperatur efektif dan kelembaban relatif diperoleh:
 - a. 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%.
 - b. 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%.
 - c. 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%.
 - d. *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 %.

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. 555.K/26/M.PE/1995, yaitu temperatur efektif berkisar antara 18-24 °C dengan kelembaban relatif maksimum 85 %.

3. Hasil evaluasi kuantitas udara masuk dan udara keluar tidak sama, artinya terdapat kebocoran udara yang mengakibatkan sirkulasi udara tidak berjalan dengan baik. Terlihat pada total kuantitas udara masuk melalui *duct* sebesar 6,66 m³/detik, sedangkan kuantitas udara keluar melalui terowongan kanopi 2 sebesar 6,33 m³/detik.
4. Hasil rancangan sistem ventilasi menggunakan *autocad* 2006

a. Rancangan Sistem Ventilasi Tanpa Penambahan *Exhaust Fan*

Hasil rancangan sistem ventilasi tanpa penambahan *exhaust fan* diperoleh kuantitas udara masuk melalui *duct* kanopi 1 dan kanopi 2 sebesar 6,66 m³/detik dan udara keluar melalui terowongan kanopi 2 dipertahankan sebesar 6,66 m³/detik, dengan kebutuhan udara untuk pekerja dan peralatan penunjang penambangan sebesar 3,34 m³/detik. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa tanpa dilakukan penambahan *exhaust fan* kuantitas udara masih memenuhi kebutuhan udara untuk menunjang kegiatan operasional penambangan, akan tetapi tidak dapat menjamin bahwa gas metan yang melebihi nilai ambang batas dari data hasil evaluasi kualitas udara lubang tambang BMK-35 dapat dilakukan pengendaliannya. Hal ini disebabkan semakin dalamnya penggalian atau kemajuan penambangan membuat hambatan udaranya juga semakin besar sehingga aliran udara yang masuk cukup rendah, serta sirkulasi udara tidak akan berjalan dengan baik. Hal ini juga disebabkan oleh kemiringan arah kemajuan penambangan ± 48° (relatif miring) dan sistem ventilasi yang dirancang hanya dengan menggunakan sistem ventilasi hembus.

b. Rancangan Sistem Ventilasi Sesudah Menambahkan *Exhaust Fan*

Hasil rancangan sistem ventilasi sesudah penambahan *exhaust fan* diperlukan beberapa tahap-tahapan agar sirkulasi udara dapat berjalan dengan baik. Dari tahapan tahun pertama, tahun kedua, dan tahun ketiga dapat diambil kesimpulan bahwa untuk dapat terlaksananya sistem ventilasi *exhaust fan* secara efisien dan efektif maka tahapan demi tahapan dilakukan perubahan jalannya sirkulasi udara, dengan pembagian arah aliran udara dan penyekatan terowongan sesuai dengan rencana kemajuan penambangan lubang

tambang BMK-35 sampai 500 meter, dengan waktu yang dibutuhkan adalah 33,34 bulan.

Jumlah total kuantitas udara masuk adalah udara alami yang masuk kedalam terowongan kanopi 1 dipertahankan sebesar 5,36 m³/detik, ditambah dengan kuantitas udara seluruh *front duct* dari peralatan yang tersedia dengan total kuantitas 6,66 m³/detik. Jadi jumlah total udara masuk dari rancangan sesudah penambahan *exhaust fan* adalah sebesar 12,02 m³/detik. Sedangkan kebutuhan udara untuk pekerja dan peralatan penunjang penambangan adalah sebesar 4,05 m³/detik. Dalam hal tersebut maka dengan penambahan *exhaust fan* pada kanopi 3 sudah memenuhi kebutuhan udara untuk menunjang kegiatan operasional penambangan. Pemasangan *exhaust fan* dilakukan juga salah satu cara untuk pengendalian gas-gas tambang agar tidak terakumulasi melebihi nilai ambang batas, sebagaimana salah satu fungsi ventilasi yaitu melarutkan dan membawa keluar dari tambang segala pengotoran dari gas-gas yang ada di dalam tambang hingga tercapai keadaan kandungan gas dalam udara tambang yang memenuhi syarat, untuk mencegah terjadinya ledakan gas tambang.

5.2 Saran

1. Perlunya pemeliharaan yang aman dan efektif terhadap peralatan ventilasi dan menyediakan peralatan ventilasi cadangan serta tersedianya sumber arus listrik cadangan. Jika suatu saat peralatan itu rusak, maka sudah tersedia penggantinya saat keadaan darurat, sehingga tidak mengakibatkan terhentinya sirkulasi udara di dalam lubang tambang.
2. Melakukan pengontrolan secara berkala terhadap temperatur udara dan kelembaban udara, serta upaya mempertahankan tidak melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Kepmen No. 555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 ayat 1 untuk kenyamanan pekerja.
3. Segera mengutamakan untuk pengerjaan pemasangan ventilasi hisap (*exhaust fan*), dikarenakan pada saat peneliti melakukan pengukuran dan pengamatan pada *front* kerja (FK) C9, C10, C11, C12, C13 dan C14-MAJU konsentrasi gas metan (CH₄) melebihi nilai ambang batas, serta *progress* penambangannya mengikuti arah penyebaran batubara yang memiliki potensi bahaya gas metan yang tinggi yaitu lokasi lubang tambang yang pernah mengalami ledakan.
4. Menyediakan petugas khusus yang berkemampuan untuk mengawasi pelaksanaan sistem ventilasi serta peralatan ventilasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/M.PE/1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Pertambangan Umum. (1995)

- [2] Anonim. *Arsip-arsip atau dokumen pada CV. Bara mitra Kencana*. Sawahlunto. (2016)
- [3] F. Frimanda. *Sistem Ventilasi Udara Tambang Batubara Bawah Tanah*. Jurnal Penelitian 3.2. Sawahlunto: Universitas Negeri Padang. (2015)
- [4] Bambang Heriyadi. *Rancangan Dan Pembuatan Simulasi Sistem Ventilasi Tambang Laboratorium Untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang*. Jurnal Penelitian. Padang: Universitas Negeri Padang. (2017)
- [5] D.A. Prata. *Jurnal Aplikasi Pengukuran Ventilasi Alami*. Jurnal Penelitian 7.1. Sawahlunto: Badan Diklat Tambang Bawah Tanah. (2014)
- [6] 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)
- [7] J. Muili. *Penentuan Pembagian Aliran Udara di Tambang Batubara Bawah Laut Okaba*. Jurnal Penelitian 2.2. Ondo Sate: Federal University technology of Okure. (2013)
- [8] J. Sui. *Analisis Optimalisasi Ventilasi Tambang dan Kontrol Aliran Udara*. Jurnal Penelitian 6.6. Yan Tai: Naval Aeronautical Engineering University. (2011)
- [9] S. Zhu. *Model Prediksi Suhu Aliran Udara Bawah Tanah*. Jurnal Penelitian 5.2. Taiyuan: Taiyuan University of Technology. (2015)
- [10] 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)
- [11] Sugiono. *Metode Penelitian Pendidikan Alfabeta*. Bandung. (2009)
- [12] A. Febrianda. *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah*. Jurnal Penelitian 3.7.. Padang: Universitas Negeri Padang. (2016)
- [13] Wiyono dan Sudarsono. 2001. "*Diktat Kuliah Ventilasi Tambang*". Jurusan Teknik Pertambangan, UPN "Veteran". Yogyakarta.
- [14] Endri O, dkk. *Penelitian K3 Penyanggaan pada Penambangan Long Wall Seni Mekanis Batubara Bawah Tanah dalam Rangka Mendukung Penyusunan Kebijakan K3 Tambang di Minerbapabum*. Jurnal Penelitian 5.6. Tekmira. (2010)
- [15] N. Janah. *Kajian Sistem Ventilasi Tambang Emas Blok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya*. Jurnal Penelitian 4.2. Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. (2014)