

Perencanaan Jalur Ventilasi dan Sistem Jaringan Ventilasi Udara Pada Tunnel Mainshaft Auxiliaryshaft Tambang Bawah Tanah PT. Allied Indo Coal Jaya Sawah Lunto

Noval Satria ^{1*}, Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*novalsatra87@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. There are two kinds of underground mining systems which are natural ventilation systems and mechanical ventilation systems. The air quantity at the front of J6 and J7 does not meet the permitted standards in the Minister of Energy and Mineral Resources RI No. 1827 K / 30 / MEM / 2018. The air quantity at the front of J6 is 1,136m³ / second the air needed is 7,233 m³ / second and the amount of air in front of J7 is 1,528 m³ / second while the amount needed is at 7,167 m³ / second. At Front Junction 6, the available air demand is 1,136 m³ / sec while the air required is 7,233m³ / sec. A blower of 8.3 Kw \approx 10.5 Kw is needed, and at the front of Junction 7 the available air demand is 1,528 m³ / s, the air needed is 7,167 m³ / s for the air demand when mining activities are needed, the blower power is 8.9 Kw \approx 10,5 Kw. New air circulation modeling design using Kazemaru software.

Keywords: Vetilation Lines, Ventilation Network Sistem, Underground Mining, Air Quality and Air Quantity

1 Pendahuluan

PT. Allied Indo Coal (PT. AIC) merupakan perusahaan umum yang melakukan penambangan batubara dengan jenis perusahaan PKB2B (Perjanjian Kerjasama Pengusahaan Tambang Batubara) sesuai kontrak No.J2/Ji.Du/25/1985 pada tanggal 21 Agustus 1985.

Pada tahun 2001 kegiatan penambangan sempat mengalami gangguan dengan adanya permasalahan tambang rakyat, selain itu *striping ratio* penambangan semakin tinggi, PT. AIC melakukan pengembangan tambang terbuka ke tambang bawah tanah yang diresmikan pada bulan Oktober 2003, kegiatan operasional tambang bawah tanah dilaksanakan oleh kontraktor Telagabara Makmur Sejati (TMS). Namun pada tahun 2008 PT. Allied Indo Coal berubah nama menjadi PT. Allied Indo Coal Jaya (PT. AICJ) merupakan izin Walikota berupa Kuasa Penambangan dengan luas area 372,40 Ha, kemudian pada tanggal 4 april 2010 izin Kuasa Penambangan menjadi Izin Usaha Penambangan (IUP) dengan luas area 372,40 Ha.

Pada tambang bawah tanah PT. AICJ terdapat dua lapisan batubara yaitu lapisan B dan lapisan C. Dimana pada lapisan B terdapat *tunnel 1*, *tunnel 2*, *tunnel 5* dan *tunnel 6*. Ketebalan lapisan B berkisar 2,5 meter sampai 3 meter dan kalori yang dikandungnya berkisar 5500-

6200 kalori/kg. Sedangkan pada lapisan C terdapat *tunnel 3*, *tunnel 4* dan *tunnel mainshaft*. Ketebalan lapisan C berkisar 3 meter sampai 7 meter dan kalori yang dikandungnya berkisar 6200-7000 kalori/kg. Bisa kita lihat pada gambar di bawah terdapat lapisan-lapisan batubara, dimana lapisan batubara paling atas disebut dengan lapisan B dan lapisan batubara paling bawah disebut dengan lapisan C.



Gambar 1. Lapisan Batubara Tambang Bawah Tanah PT. AICJ

Pada kegiatan penambangan bawah tanah, perencanaan dan sistem ventilasi merupakan hal yang penting. Ini dikarenakan pada tambang bawah tanah aliran udara terbatas, sedangkan pada tambang terbuka keberadaan udaranya tidak terbatas^[1] Jadi, perencanaan dan sistem ventilasi sangat diperlukan untuk menyuplai udara segar bagi para pekerja tambang, mengeluarkan gas-gas kotor, dan mengeluarkan debu hingga ambang batas yang diperkenankan, serta mengatur panas dan kelembaban udara di dalam tambang. Dengan adanya perencanaan dan sistem ventilasi yang baik dari segi kualitas dan kuantitas udara maka akan meningkatkan kenyamanan dan meningkatkan efisiensi kerja bagi para pekerja tambang bawah tanah^[2].

Sistem jaringan ventilasi yang digunakan pada *tunnelmainshaft* dan *auxiliaryshaft* adalah sistem hembus (*forcing system*) menggunakan *lokal fan* dan dibantu dengan *flexible duct* menuju *front* penambangan, dengan jumlah *lokal fan* 4KW sebanyak 2 unit, *lokal fan* 1,7 KW sebanyak 2 unit, *lokal fan* 10,5 KW sebanyak 1 unit dan *lokal fan* 11 KW sebanyak 1 unit. Pada *tunnel* ini, tidak terdapatnya *mainfan* di penampang *tunnel* dan baru ditemukan *lokal fan* pada kedalaman 217 meter, seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2. Lokal Fan pada Kedalaman 217 meter

Aturan perhitungan penyediaan kebutuhan udara bersih minimum didasarkan kepada Surat Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No 1827 K/30/MEM/2018 pada halaman 109 tentang ventilasi¹. Kecepatan aliran udara yang dihasilkan pada *front J6* adalah 5,8 m/s dan pada *front J7* adalah 7,8 m/s. Namun semakin majunya kegiatan penambangan yang dilakukan pada *front* menyebabkan tekanan angin yang sampai di *front* berkurang, akibatnya sirkulasi udara pada *front* penambangan kurang baik sehingga berdasarkan pengukuran yang dilakukan temperatur efektifnya 29°C yang seharusnya 18°C-24°C. Masalah tersebut dapat mengurangi efisiensi kerja dan kenyamanan para pekerja tambang dalam melaksanakan pekerjaan^[3]. Untuk itu, perencanaan dan sistem ventilasi

di *tunnelmainshaft* dan *auxiliaryshaft* perlu diperbaharui karena suplay udara ke *front* penambangan tidak tercukupi, sehingga sirkulasi udara dapat berjalan dengan baik.

Mengevaluasi ventilasi menggunakan *software kazamaru*. Selain itu, dilakukan juga pengkajian terhadap beberapa parameter yang meliputi kualitas dan kuantitas udara, jumlah *lokal fan* dan, jumlah pekerja, jumlah emisi gas sehingga perencanaan dan sistem ventilasi dapat dirancang secara maksimal.

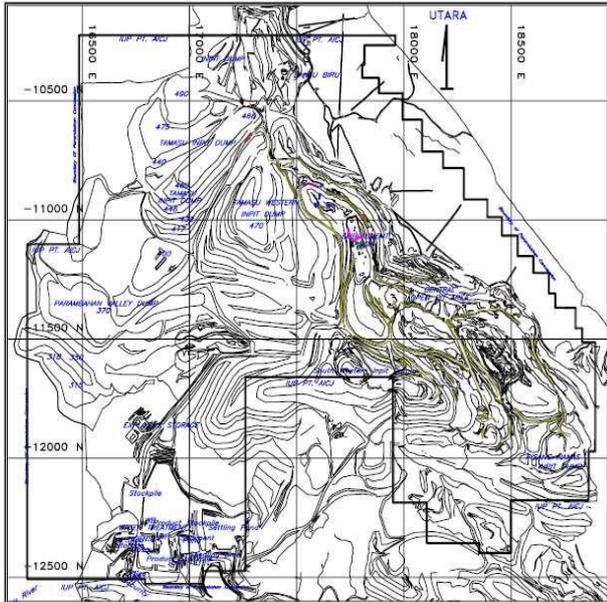
2 Lokasi Penelitian

Secara administrasi wilayah IUP OP Batubara PT. Allied Indo Coal Jaya berada di Pambahian Desa Batu Tanjung Kec. Talawi Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat yang secara geografis berada pada koordinat 000° 35' 34,00" - 000° 36' 48,30" LS dan 100° 47' 24,00" - 100° 48' 44,80" BT. Jarak antara daerah penambangan dengan Kota Padang ± 90 km disebelah timur Kota Padang, dapat ditempuh dengan kendaraan roda dua pada jalan lintas Sumatera selama ± 2-3 jam.



Gambar 3. Lokasi PT. Allied Indo Coal Jaya

Wilayah IUP OP Batubara PT. AIC Jaya, bagian Utara berbatasan dengan wilayah IUP OP Batubara PT. Miyor dan CV. Air Mata Emas. Bagian Timur berbatasan dengan wilayah IUP OP PT. Kurnia Cahaya Prima (Kabupaten Sijunjung). Bagian Selatan berbatasan dengan wilayah IUP OP PT. Dasrat Sarana Arang Sejati. Bagian Barat berbatasan dengan Desa Salak dan Desa Sijantang Koto, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto.



Gambar 4. Wilayah Operasi dan Izin Usaha Penambangan PT. AICJ

2.1 Keadaan Geologi Umum

Secara umum morfologi atau bentang alam wilayah IUP OP Batubara PT. AICJ pada bagian merupakan perbukitan yang memanjang relative Barat laut-Tenggara dengan kemiringan lereng berkisar antara 25^o-60^o. Kenampakan morfologi telah mengalami perubahan dari morfologi sebelumnya sebagai akibat aktifitas penggalian atau penambangan, dengan kemiringan lereng berubah menjadi lebih terjal pada *front* tambang terbuka.

Ketinggian bukit berkisar antara 250 – 530 mdpl, dengan puncak tertinggi berada pada lereng Utara berupa perbukitan yang sebagian besar didominasi oleh tanaman tahunan, pinus dan semak belukar.

Aliran sungai yang mengalir umumnya merupakan sungai musiman, dengan pola aliran sungai yang berkembang berpola *subdendritik* yang berair hanya pada saat musim penghujan.

Litologi yang dijumpai dan tersebar pada wilayah IUP OP Batubara PT. AIC Jaya adalah *sandstone, claystone-siltstone, conglomerate,* dan *coal*. Litologi tersebut mencerminkan ciri-ciri dari Formasi Ombilin Bawah (Tmol), berumur Miosen Awal.

Stratigrafi Daerah Sawahlunto berdasarkan umurnya dapat dibagi menjadi dua bagian utama, kompleks batuan Pra-Tersier dan kompleks batuan Tersier.

AGE	UNIT	THICK NEES	GRAPHIC LOG	DESCRIPTION
OLIGOCENE	RASAU MEMBER			Conglomeratic sandstone, quartz, whitish grey, pebbles at the best grading to sandstone toward the top, interbedded with gray shales, shows erosional surfaces.
	SAWAH TAMBANG			Shale, greyish brown, concoidal, fractures, dense Coal, black, shaley, fractured, with sanstone at base siltstone, grey, dense. Coaly shale Coal, black, within terbedded gray siltstone and coaly clays shale, grey, dense, mudstone, siltstone, occasional sandstone. Coal, black, shaly, dense Siltstone, brown, dense Sandstone, quartz, brown, carbonaceous, dense. Siltstone, brown, dense Siltstone, grading downward into brown shale
EOCENE	SAWAH LUNTO FORMATION	126 M		
PALEOCENE	BRANI FORMATION			Conglomeratic sandstone, greenish red, contains quartz, feldspar, limestone fragments, well sorted, hard, dense.
P R A T E R T I A R Y				

Sumber: PT. Allied Indo Coal Jaya

Gambar 5. Statigrafi

Area Parambahan memiliki kondisi geologi yang cukup kompleks, dimana struktur geologi berupa patahan atau sesar sangat mempengaruhi pola penyebaran lapisan batubara dan juga kualitas batubara. Di bagian selatan terdapat sesar normal Sigalut yang mempunyai arah timur barat dengan pergeseran yang cukup besar. Sesar Sigalut ini terlihat jelas pada dinding tebing Sigalut yang memisahkan area Parambahan dengan area Tambang Dalam Sawah Rasau. Disusul kemudian di sebelah timur laut terdapat patahan geser mengiri (sinistral) Balurotan.

Akibat dari ke dua patahan utama tersebut terbentuk juga di bagian tengahnya 2 patahan normal, yang pertama adalah patahan Tamasu yang posisinya berada di luar Central Area, yang berada di bagian paling utara yaitu DH_60 dan DH_61.

Patahan ini menyebabkan Western dan Tamasu area posisinya terangkat sehingga di blok ini hanya ditemukan lapisan C. Bukti-bukti dari patahan Tamasu yang ditemukan dilapangan adalah adanya pergeseran batuan pada dinding yang sudah ditambang dan cermin sesar, selain itu juga dinformasikan bahwa lapisan C yang berada di sebelah barat patahan Tamasu bertemu dengan lapisan B1 yang berada di sebelah timurnya. Yang ke dua adalah patahan yang berada di sebelah timur patahan Tamasu. Patahan ini merupakan hasil interpretasi dari data pemboran seperti telah disebutkan pada laporan pemboran sebelumnya.

Keberadaan patahan ini juga dikuatkan oleh hasil pemboran tahap ke dua (terkonsentrasi di sebelah utara tambang dalam) yaitu dengan adanya perubahan kemiringan lapisan batubara yang begitu signifikan ke

arah kemiringan lapisan (*down dip*). Hal ini dapat ditunjukkan oleh data hasil pemboran.



Gambar 6. Patahan Normal Sigalut

2.2 Kualitas Batubara

Hasil analisis batubara yang menunjukkan kualitas batubara pada lapisan (*seam*) batubara B₁, C₁ – C₂, seperti terlihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Analisis Batubara Wilayah IUP OP Batubara PT. AICJ

Hasil Analisis Proximat (%)	Lapisan Batubara		
	B ₁	C ₁	C ₂
IM	4,00	4,40	3,60
Abu	7,10	11,00	9,40
VM	37,30	35,30	37,30
VC	51,60	49,30	49,70
Total sulfur	0,51	0,51	0,43
Pirit	0,11	0,08	0,09
Organik	0,40	0,43	0,34
Belerang	<0,01	<0,01	<0,01
S.E MJ/kg	30,22	28,70	29,38
Kcal/kg	7.220,00	6.860,00	7.020,00

Tabel 2. Cadangan Batu Bara Pada Wilayah IUP PT. AICJ

Seam Name	STRIPPING RATIO 15.7				
	Coal (Tonase)	Coal Loss (Tonase)	Overburden (Cubic)	Inter Burden (Cubic)	Stripping Ratio
B1	1.026,778	40,971	39,931,050	-	38.93
C1	1.408,612	42,381	1,903,526	11,076,493	9.24
C2	1,059,574	67,593	78,515	1,717,290	1.76
TOTAL	3,494,964	150,945	41,913,091	12,793,783	15.70

2.3 Iklim dan Curah Hujan

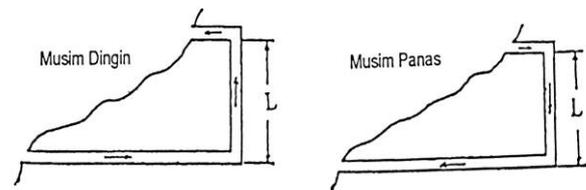
Iklim pada daerah konsesi pertambangan Sawahlunto pada umumnya tidak jauh beda dengan kondisi daerah tambang lainnya dengan iklim tropis. Dengan suhu 29-35° C pada siang hari dan 25-31° C pada malam hari.

Data curah hujan pada daerah ini yakni 895 mm pada bulan Juli 2019. Ini dapat dilihat pada lampiran curah hujan.

3 Kajian Teori

3.1 Sistem Ventilasi

Arah aliran ventilasi dapat searah dengan arah ventilasi mekanis atau berlawanan dan akan terasa keberadaannya apabila aliran ventilasi mekanis dihentikan seperti pada saat adanya kebakaran tambang^[4]. Suatu contoh yang dapat dilihat mengenai adanya aliran ventilasi alami adalah pada suatu lubang terowongan *tunnel* yang menghadap pada sinar matahari dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7. Aliran Ventilasi Alami

Aliran udara ventilasi alami akan bergerak dari A ke B. Pada suatu tambang, perbedaan temperatur dapat diakibatkan oleh kondisi udara yang terlalu dingin atau panas di luar tambang, perbedaan ketinggian (*elevasi*) antar dua tempat yang berhubungan atau juga disebabkan oleh aktifitas peledakan yang memang merupakan sumber panas.

Semenjak manusia menggali material di bawah tanah dan merasakan betapa pentingnya udara segar dibutuhkan untuk bekerja produktif, berbagai cara telah dilakukan agar *suplay* udara segar selalu tetap terjaga ke dalam tambang yang dimiliki.

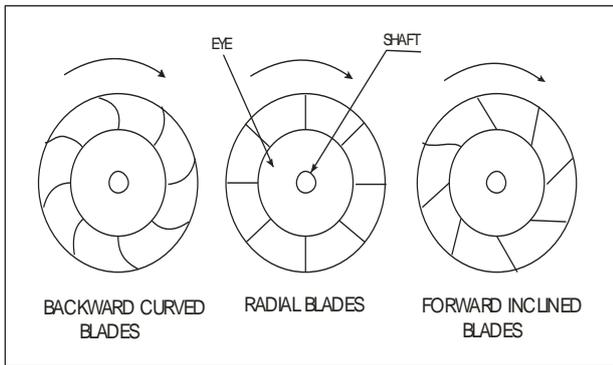
Peralatan mekanis adalah semua jenis mesin penggerak yang digunakan untuk memompa dan menekan udara segar agar mengalir ke dalam lubang bawah tanah. Pada dasarnya peralatan ventilasi mekanis akan selalu terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber energy penggerak mula, *impeller* atau *jet*, dan *casing*.

3.1.1 Fan (Kipas Angin)

Adalah pompa udara yang mengubah energi mekanis ke energi fluida, dengan memasok tekanan untuk mengatasi *head losses* dalam aliran udara. Ada 2 jenis *fan* yaitu:

- Axial fan
Berbentuk *impeller* pipih yang berputar, cenderung untuk mendesak udara keluar melalui salah satu sisi *impeller* yang berada didalam *casing* seperti

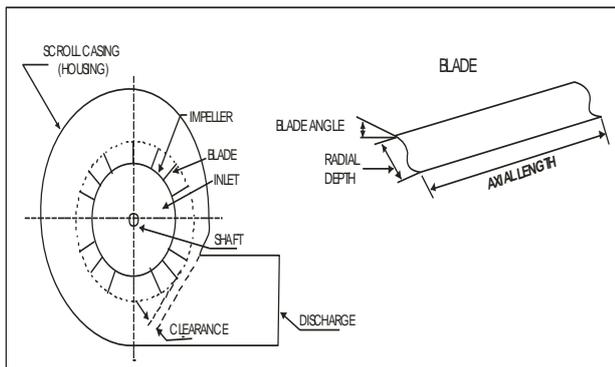
tabung. *Axial fan* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 8. *Axial Fan*

b. Centrifugal fan

Memiliki *casing* seperti keong, dimana *impeller* berbentuk seperti tabung yang berputar sehingga menimbulkan tekanan yang menyebabkan udara dari sisi lubang masuk bergerak ke dalam dan keluar melalui sisi yang lain. *Centrifugal Fan* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 9. *Centrifugal*

3.1.2 Kompresor

Pada dasarnya kompresor adalah *fan* yang menghasilkan udara bertekanan tinggi. Pada umumnya di tambang bawah tanah saat ini hanya menggunakan *kompresor* sebagai alat ventilasi tambahan^[6].

Adapun ventilasi tambang bawah tanah mempunyai tujuan umum yang bisa menjadi salah satu acuan dari suatu standar udara tambang bawah tanah, diantaranya:

- Menyediakan udara segar (O_2) untuk pernafasan yang sehat bagi pekerja dan mesin didalam tambang.
- Melarutkan gas-gas yang beracun dan berbahaya yang ada didalam tambang sehingga tidak membahayakan para pekerja tambang.
- Menurunkan suhu udara tambang, sehingga dapat dicapai kaidah lingkungan yang nyaman.
- Menyingkirkan atau mengisap debu di dalam tambang bawah tanah untuk mengurangi konsentrasi debu yang timbul akibat penambangan.

Ventilasi mekanis adalah jenis ventilasi dimana aliran udara masuk ke dalam tambang disebabkan oleh perbedaan tekanan yang ditimbulkan oleh alat mekanis. Berdasarkan cara menimbulkan udaranya serta letak mesinnya, ventilasi mekanis di bedakan menjadi dua metode yaitu:

a. Metode hembus (*Forcing System*)

Pada metode ini mesin angin (*fan*) utama di letakkan pada jalur utama, *blower* akan menekan udara ke dalam tambang, sehingga udara mengalir melalui jalan-jalan udara di dalam tambang^[5].

b. Metode hisap (*Exhaust System*)

Pada metode ini *blower* utama di letakkan pada jalan keluar, karena adanya hisapan mesin angin (*fan*) ini tekanan udara di jalur udara keluar akan mengecil, sehingga udara dari luar pada jalur udara masuk yang mempunyai tekanan lebih besar akan mengalir kedalam tambang. Setelah melalui tempat-tempat kerja, maka udara menjadi kotor dan dihisap oleh *blower* dan di alirkan keluar.

3.2 Standar kualitas udara tambang bawah tanah

Komposisi udara segar normal yang dialirkan pada ventilasi tambang yaitu: Nitrogen, Oksigen, Karbondioksida, Argon dan gas-gas lain seperti terlihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Komposisi Udara Segar

Unsur	Volume %	Berat %
Nitrogen (N_2)	78.09	75.53
Oksigen (O_2)	20.95	23.14
Karbondioksida (CO_2)	0.03	0.046
Argon (Ar)	0.93	1.284

Dalam perhitungan ventilasi tambang selalu dianggap bahwa udara segar normal terdiri dari Nitrogen = 79% dan Oksigen = 21%. Disamping itu selalu dianggap bahwa udara segar akan selalu mengandung karbondioksida (CO_2) sebesar 0,03%. Demikian pula perlu diingat bahwa udara dalam tambang selau mengandung uap air dan tidak ada pernah ada udara yang benar-benar kering. Oleh karena itu akan selalu ada istilah kelembaban udara.

a. Pengendalian Kualitas Udara Tambang

Kebutuhan udara pernafasan yang diperlu dalam tambang bawah tanah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Keperluan Oksigen untuk Pernafasan Manusia Berdasarkan Jenis Kegiatan (Ventilasi Tambang 2002)

Kegiatan Kerja	Laju Pernafasan Per Menit	Udara Terhirup Per Menit dalam in ³ /menit (10^{-4} m ³ /detik)	Oksigen Terkonsumsi cfm (10^{-5} m ³ /detik)	Angka Bagi Pernafasan (respiratori quotient)

Istirahat	12 – 18	300-800 (0,82-2,18)	0,01 (0,47)	0,75
Kerja Moderat	30	2800-3600 (7,64-9,83)	0,07 (3,3)	0,9
Kerja Keras	40	6000 (16,4)	0,10 (4,7)	1,0

Ada dua cara perhitungan untuk menentukan jumlah udara yang diperlukan perorang untuk pernafasan (“Materi Ventilasi Tambang”, Balai Diklat TBT, 2002, halaman 3), yaitu :

- 1) Atas dasar kebutuhan O₂ minimum, yaitu 19,5 % Pada pernafasan, jumlah oksigen akan berkurang sebanyak 0,1 cfm, sehingga akan dihasilkan persamaan untuk jumlah oksigen sebagai berikut :
0,21 Q – 0,1 = 0,195 Q
(kandungan oksigen) – (jumlah oksigen pernafasan) = (kandungan oksigen minimum untuk udara pernafasan).
- 2) Atas dasar kandungan CO₂ maksimum, yaitu 0,5 % Kandungan oksigen dalam udara juga akan berkurang pada keadaan ketinggian (*altitude*) yang berkurang makin tinggi.
0,0003 Q + 0,1 = 0,005 Q
(kandungan CO₂ dalam udara normal) – (jumlah CO₂ hasil pernafasan) = (kandungan CO₂ maksimum dalam udara).

Kekurangan oksigen dalam udara yang digunakan bagi pernafasan akan berpengaruh terhadap keadaan fisiologi manusia, seperti diperhatikan padatable sebagai berikut.

Tabel 5. Kekurangan Oksigen

Kandungan O ₂ di udara	Pengaruh
17%	Laju pernafasan meningkat (ekivalen dengan keadaan ketinggian 1600 m)
15%	Terasa pusing, suara mendesing dalam telinga dan jantung berdetak cepat
13%	Kehilangan kesadaran
9%	Pucat dan jatuh pingsan
7%	Sangat membahayakan kehidupan
6%	Kejang-kejang dan kematian

b. Gas-gas pengotor

Ada beberapa macam gas-gas pengotor yang terdapat dalam udara tambang bawah tanah gas-gas ini berasal baik dari proses-proses yang terjadi dalam tambang maupun berasal dari batuan ataupun bahan galiannya. Adapun gas-gas pengotor yang terdapat dalam tambang bawah tanah PT. Allied Indo Coal Jaya adalah sebagai berikut:

1) Karbon dioksida (CO₂)

Dalam udara normal kandungan CO₂ adalah 0,03%. Di tambang bawah tanah, gas CO₂ sering terkumpul pada bagian bekas-bekas penambangan terutama yang tidak terkena aliran ventilasi. Sumber- sumber gas CO₂ berasal dari pembakaran, hasil peledakan atau dari lapisan batuan dan hasil pernafasan.

Batas maksimum yang diijinkan untuk tambang bawah tanah adalah 0,5% (menurut KEPMEN

ESDMNo 1827K/30/MEM/2018). Efek dari CO₂ pada kandungan CO₂=0,5% laju pernafasan manusia mulai meningkat, pada kadungan CO₂=3% laju pernafasan menjadi dua kali lipat dari keadaan normal^[7].

Pada kandungan CO₂=5% laju pernafasan meningkat menjadi tiga kali lipat dan pada CO₂=10% manusia hanya dapat bertahan hidup beberapa menit saja. Karbon dioksida ini biasanya disebut juga sebagai *black damp*.

2) Karbon monoksida (CO)

Gas Karbon monoksida mempunyai afinitas yang tinggi terhadap hemoglobin, sehingga sedikit saja kandungan gas CO di dalam udara akan segera bersenyawa dengan butir-butir darah merah menjadi COHb yang akan meracuni tubuh.

Efek dari CO pada kandungan 0,04% apabila terhirup selama satu jam akan memberikan perasaan sedikit tidak enak, namun dalam waktu 2 jam dapat menyebabkan rasa pusing dan setelah 3 jam akan menyebabkan pingsan/tidak sadarkan diri.

Apabila lewat dari 5 jam akan menyebabkan kematian. Gas CO mempunyai berat jenis 0,9672 sehingga selalu terapung di dalam udara.

3) Nitrogen Oksida (NO₂)

Gas Nitrogen Oksida sebenarnya tidak berbahaya (inert), namun pada keadaan tekanan tertentu dapat teroksidasi dan dapat menjadi gas beracun. Nilai ambang batas ditetapkan 5 ppm, baik untuk waktu terdedah singkat maupun untuk waktu 8 jam kerja. Gas NO₂ akan bersenyawa dengan kandungan air dalam udara membentuk asam nitrat, yang dapat merusak paru-paru manusia.

4) Hidrogen (H₂)

Gas hidrogen dapat berasal dari proses pengisian aki. Dalam kandungannya diudara berkisar antara 4-74%, dapat menyebabkan terjadinya ledakan. Dalam tambang bawah tanah ada beberapa macam sifat gas-gas, dapat lihat pada tabel berikutnya.

Tabel 6. Sifat-sifat bermacam gas

Nama	Simbol	Berat Jenis Udara=1	Sifat Fisik	Pengaruh	Sumber Utama	Ambang Batas (%)	Kisar Ledak (%)
Oksigen	O ₂	1.1056	tak berbau, tak berwarna, tak ada rasa	bukan racun, tak berbahaya	udara normal		
Nitrogen	N ₂	0.9673	tak berbau, tak berwarna, tak ada rasa	bukan racun, menyak-kan	udara normal		
Karbon dioksida	CO ₂	1.5291	tak berbau, tak berwarna, rasa agak asam	sesak napas, berkeringat	pernafasan, motor bakar, peledakan	0.5	
Metan	CH ₄	0.5545	tak berbau, tak berwarna, tak ada rasa	sesak napas, dapat meledak	peledakan, motor bakar, lapisan		5 - 15
Karbon monoksida	CO	0.9672	tak berbau, tak berwarna, tak ada rasa	racun, dapat meledak	nyala api, peledakan, motor bakar, pernafasan	0.005	12.5 - 74
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	1.1912	tak berwarna, rasa asam bau telur busuk	racun, dapat meledak	air tanah, motor bakar	0.001	
Sulfur dioksida	SO ₂	2.2626	tak berwarna, rasa asam sangat tajam	racun	pembakaran sulfida, motor bakar	0.0005	
Nitrogen Oksida	NONO 2N ₂ O	1.5895	bau tajam, warna coklat, rasa pahit	racun	peledakan, motor bakar		
Hidrogen	H ₂	0.0695	tak berbau, tak berwarna, tak ada rasa	dapat meledak	air pada api panas baterai		4 - 74
Asam Sianida	HCN		bau tajam, tak berwarna, rasa pahit	racun	proses pengolahan	0.001	
Radon	RA	7.6650		radio aktif	lapisan		

c. Kuantitas Udara Tambang

$$Q = V \times A$$

Keterangan :

Q = Kuantitas aliran udara (m³/detik)

V = Kecepatan aliran udara (m/detik)

A = Luas penampang jalur udara (m²)

1) Prinsip Pengaliran Udara

a) Aliran udara di dalam *duct* (Persamaan Atkinson). Ketika udara mengalir melewati *duct*, terowongan batuan, terowongan besi, terowongan kayu, ataupun di dalam *stope* tekanan dibutuhkan untuk melawan gaya yang berasal dari gesekan di dalam, ukuran, panjang, bentuk *duct*, kekasaran dinding dan gangguan alam. Secara teoritis bilangan Reynold penting, namun di dalam pelaksanaan praktek ventilasi tambang bawah tanah pengaruhnya kecil selama aliran udara merupakan aliran turbulen (W.L.LE ROUX, 1979:65). Semua factor di atas telah dimasukkan dalam persamaan Atkinson,

$$P = K \times C \times L \times V^2$$

Keterangan:

P = Tekanan (Pa)

K = Koefisien Gesek (Ns²/m⁴)

C = Keliling *duct* (m)

L = Panjang *duct* (m)

V² = Kecepatan Udara (m/s)

A = Luas Penampang (m²)

Persamaan Atkinson di atas dapat dikoreksi menjadi :

$$P = \frac{K \times C \times L \times V}{A} \times \frac{W}{1,2}$$

Dimana w adalah density udara dalam kg/m³. Kuantitas udara (Q) adalah hasil kali kecepatan (V) dengan luas penampang (A).

$$Q = V \times A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Persamaan di atas bila di masukan ke dalam persamaan Atkinson akan menjadi :

$$P = \frac{K \times C \times L \times Q^2}{A^3} \times \frac{W}{1,2}$$

Nilai K yang merupakan koefisien gesek saluran udara dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Koefisien Gesek Salura Udara (Ns²/m⁴)

Airway	K
Ventilation piping	0,003
Concrete lined empty shaft	0,004
Straight rock tunnel	0,01
Concrete lined shaft with streamlined buntions	0,02
Concrete lined shaft with R.S.J. buntions	0,0
Heavily timbered rectangular shaft	0,0

- b) Aliran udara di dalam lubang bukaan
Aliran udara dibagi menjadi tiga, laminar, intermediate dan turbulen. Kriteria yang dipakai untuk menentukan keadaan aliran adalah Bilangan Reynold (N_{Re}). Untuk aliran laminar ditetapkan N_{Re} ≤ 2000 dan untuk turbulen N_{Re} ≥ 4000.
- c) Head Loss (H_L) Adalah satu parameter penting dalam pengendalian kuantitas aliran udara, parameter ini merupakan suatu angka yang menunjukkan tekanan yang harus diberikan untuk mengatasi semua hambatan yang mungkin dilewati aliran udara. Hambatan ini dapat berupa: kekasaran permukaan lubang bukaan, penyangga kayu/baja dan penyekat-penyekat udara. Tekanan udara harus lebih besar dari hambatan yang ada agar udara dapat mengalir. Head loss dalam aliran fluida dibagi atas dua komponen, yaitu *Friction loss* (H_f) dan *Shock loss* (H_s)^[8]

Tabel 8. Panjang Ekuivalen untuk Berbagai Sumber Shock Loss

Sumber	Le	
	Feet	Meter
Bend, acute, round	3	1
Bend, acute, sharp	150	45
Bend, right, round	1	1
Bend, right, sharp	70	20
Bend, obtuse, round	1	1
Bend, obtuse, sharp	15	5
Doorway	70	20
Overcast	65	20
Inlet	20	6
Discharge	65	20
Contraction, gradual	1	1
Contraction, abrupt	10	3
Expansion, gradual	1	1
Expansion, abrupt	20	6
Splitting, straight branch	30	10
Splitting, straight branch 90°	200	60
Junction, straight branch	60	20
Junction, deflected branch	30	10
Mine car or skip (20% of airway area)	100	30
Mine car or skip (40% of airway area)	500	150

d) Mine Heads

Pada suatu sistem ventilasi tambang dengan satu mesin angina dan satu saluran keluar, kumulatif pemakaian energi disebut "mine head", yaitu perbedaan tekanan yang harus ditimbulkan untuk menyediakan sejumlah tertentu udara ke dalam

tambang. Perhitungan sederhananya adalah sebagai berikut:

$$\text{mine } H_T = \text{mine } H_s + \text{mine } H_v$$

d. Pengendalian Gas-gas dalam Tambang Bawah Tanah

1) Pencegahan (*Prevention*)

- Menerapkan prosedur peledakan yang benar agar tidak terjadi gas-gas yang berbahaya/beracun.
- Perawatan dari motor-motor bahan bakar.
- Pencegahan terhadap adanya api.

2) Pemindahan (*Removal*)

- Pengaliran (*drainase*) gas-gas ke lokasi yang aman atau tidak dikerjakan.
- Penggunaan regulator dan pintu ventilasi.
- Penggunaan kipas (*fan*) sebagai ventilasi local di lokasi yang dirasa perlu.

3) Absorpsi (*Absorption*)

- Penggunaan reaksi kimia terhadap gas yang keluar dari mesin (knalpot).
- Penyerapan dengan percikan air terhadap gas hasil peledakan.

4) Isolasi (*Isolation*)

- Memberi batas sekat terhadap daerah tambang yang terbakar.
- Penggunaan waktu-waktu peledakan pada saat antara gilir atau waktu-waktu tertentu.

5) Pelarutan

- Pelarutan *local* dengan menggunakan ventilasi lokal.
- Pelarutan dengan menggunakan aliran utama.

Jumlah udara segar yang diperlukan untuk mengencerkan suatu masukan gas sampai nilai MAC dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, Raja V. Ramani, Y. J. Wang, *Mine Ventilation and Air Conditioning*):

$$Q = (Q_g / (\text{MAC} - B) - Q_g)$$

Dimana : Q_g = masukan gas pengotor

B = Konsentrasi gas dalam udara normal

e. Aturan yang terkait tentang ventilasi pada KEPMEN ESDM RI No. 1827 K/30/MEM/2018

Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah^[7]

- 1) Kebutuhan dan kualitas udara setiap orang
- 2) Peralatan meliputi lokasi, jenis, jumlah dan kapasitas peralatan mekanis
- 3) Jaringan ventilasi dalam bentuk peta yang mencakup debit dan arah aliran udara, jumlah dan lokasi pintu angin, serta jalur evakuasi keadaan darurat
- 4) Pemeliharaan dan perawatan sarana ventilasi
- 5) Pemantauan kualitas udara meliputi kelembaban, temperature, kandungan gas (oksigen, gas berbahaya / beracun), dan debu serta kuantitas udara meliputi kecepatan aliran dan volume.

Pelaksanaan Sistem Ventilasi

- 1) Sistem ventilasi mengacu pada dokumen studi kelayakan yang sudah disetujui

- 2) Daya dukung lokasi penempatan kipas angin utama (*main fan*) bias menahan beban statis rumah kipas angin
- 3) Terowongan untuk jalan utama udara masuk dan jalan utama udara keluar pada lokasi massa batuan yang kuat dan kompak
- 4) Kapasitas kipas angin utama mampu mengalirkan udara ke seluruh area tambang bawah tanah sesuai kebutuhan maksimum ditambah 15%
- 5) Kipas angin cadangan yang mampu mengalirkan udara untuk kebutuhan udara minimal tambang bawah tanah tersedia
- 6) Jenis dan tipe kipas angin yang digunakan pada tambang batubara bawah tanah jenis kipas angina isap (*auxiliary exhaust fan*) atau gabungan system isap dan tekan
- 7) Kepala Teknik Tambang menetapkan tata cara baku pemeliharaan dan perawatan system ventilasi

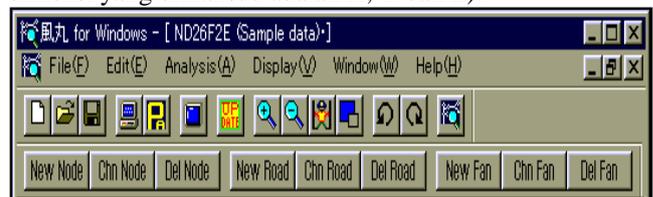
f. Keselamatan Tambang Bawah Tanah

Kepala Teknik Tambang menjamin tersedianya aliran udara bersih yang cukup untuk semua tempat kerja. Apabila dalam system ventilasi tambang terdeteksi adanya gas yang mudah terbakar dan meledak, maka KTT segera melakukan tindakan pengamanan khusus untuk memperbaiki kondisi tersebut. Pengaturan ventilasi pada tambang bawah tanah meliputi :

- 1) Perencanaan system ventilasi
- 2) Jalan masuk udara
- 3) Standar dan pengukuran ventilasi, termasuk di dalamnya penyediaan gas detector
- 4) Ventilasi alami
- 5) Kipas angin utama
- 6) Sistem kipas angin tambahan dan kipas angin cadangan
- 7) Pemasangan kipas angin penguat
- 8) Jaringan ventilasi
- 9) Pencegahan kebocoran udara.

3.3 Pengenalan dan Fungsi *Tools* pada *Software Kazemaru*

Software Kazemaru ini berfungsi agar memudahkan pengguna untuk mengetahui bentuk 3 dimensi dari tambang bawah tanah dengan menggunakan *K-View* (3 dimensi yang dimaksud adalah X, Y dan Z).



Gambar 10. *Tools* pada *Software Kazemaru*

- a. Road: rute aliran ventilasi biasa yang memiliki hambatan. Pada sistem ini ditunjukkan garis biasa.
- b. Node: titik percabangan lorong, pintu lorong (surface) dan lain lain.

- c. Surface node: node di surface, tekanan = tekanan atmosfer, Ditunjukkan dengan lingkaran rangkap.
- d. U/G node: node di U/G, tekanan diperoleh dari hitungan. Ditunjukkan dengan lingkaran tunggal.
- e. Elemen flow rate: elemen dengan menggunakan flow rate sebagai data panjang, hambatan ventilasi, selisih tinggi ujung node semuanya adalah 0. Ditunjukkan dengan garis putus-putus.
- f. Lorong flow-rate tetap: elemen dengan menggunakan flow rate sebagai data. Tidak ada syarat berhubungan dengan panjang, hambatan ventilasi, selisih ketinggian kedua node. Ditunjukkan dengan garis putus-putus. Dengan kompatibilitas data jaringan ventilasi yang terdahulu.
- g. <File>: untuk membuka file, menyimpan, dan mencetak file.
- h. <Edit>: untuk membuat, mengubah dan menghapus node-node, jalan tambang (road) dan kipas angin/mesin angin (fan).
- i. <Analysis>: Melakukan penghitungan analisa jaringan ventilasi.
- j. <Display> : mengubah setting besaran, warna, dan item display.

4 Metode Penelitian

4.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metodologi penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif, adalah penelitian dengan memperoleh data yang berbentuk angka atau data kualitatif yang diangkakan. Dalam melaksanakan penelitian permasalahan ini, penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya diperoleh pendekatan penyelesaian masalah.

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah teknik observasi dan sebagian besar data yang dipakai adalah data sekunder yang didapatkan dari perusahaan.

4.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari semua data seperti data kecepatan udara penampang terowongan, penampang *duct*, suhu dilokasi penambangan, gas-gas pengotor, *lay out* penelitian dan spesifikasi mesin angin.

4.2.2 Pengambilan Data

Pelaksanaan penelitian ini penulis menggunakan dua metode pengambilan data yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer yang perlu diambil adalah ukuran penampang terowongan, panjang terowongan, ukuran

penampang duct, jumlah pekerja, kadar gas metan dan gas-gas lainnya, node, elevasi, dan kecepatan udara pada *front* penambangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini yaitu peta izin usaha penambangan, jumlah pekerja, data jam kerja, jumlah alat, spesifikasi alat, dan *lay out* tambang bawah tanah.

4.2.3 Pengolahan Data

Melakukan perhitungan beberapa kebutuhan udara untuk kegiatan penambangan selanjutnya menganalisis kuantitas udara serta kualitas udara, setelah kebutuhan udara untuk operasional penambangan diketahui dan kuantitas serta kualitas udara juga diketahui, selanjutnya dianalisis apakah kuantitas udara yang tersedia sudah mencukupi kebutuhan udara untuk operasional penambangan sesuai KEPMEN ESDM RI No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang ventilasi.

4.2.4 Pembahasan

Hasil pengolahan data berupa Memperoleh data kualitas dan kuantitas udara, mendapatkan data aktual sistem jaringan ventilasi pada *front* penambangan, dan membuat rancangan sistem ventilasi tambang dan menambahkan *lokal fan*.

4.2.5 Penyusunan Laporan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari kegiatan penelitian dengan melakukan penyusunan laporan berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari pengamatan, pengukuran, dan percobaan.

4.3 Teknik Analisis Data

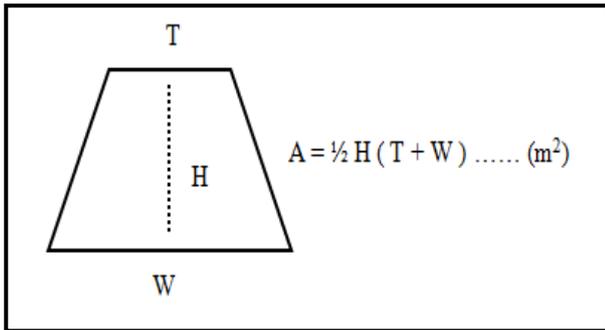
Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya didapatkan pendekatan penyelesaian masalah. Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan penulis menggunakan rumus-rumus melalui literatur yang ada untuk menganalisis data.

5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Data

5.1.1 Luas Penampang Terowongan

Pada perencanaan penambangan PT. AICJ terowongan berbentuk trapesium, sehingga luas penampang terowongan adalah sebagai berikut.



Gambar 11. Penampang Terowongan

Keterangan :

- A = Luas Penampang (m²)
- H = Tinggi Penampang (m)
- W = Lebar Penampang Bawah (m)
- T = Lebar Penampang Atas (m)

Tabel 9. Hasil Pengukuran Dimensi Lubang

5.1.2 Luas Penampang Duct

Untuk pengukuran luas penampang pipa angin yang berbentuk lingkaran dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Keterangan :

- A : Luas Penampang (m²)
- D : Panjang Diameter (m)
- π : Kostanta (3,14)



Gambar 12. Luas Pempang Duct

5.1.3 Pengukuran Kuantitas Udara pada Tunnel Mainshaft

Dari hasil pengukuran kondisi udara pada Tambang Bawah Tanah *tunnel Mainshaft* dan *Auxiliaryshaft*, maka didapat kuantitas udara pada lokasi tambang, dapat dilihat pada table sebagai berikut.

Tabel 9. Kuantitas Udara pada Tunnel Mainshaft & Auxiliaryshaft

Lokasi Pengukuran	Kecepatan Udara m/s	Luas Penampang m ²	Debit
			m ³ /s
NAB Sesuai Keputusan ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018			< 2/orang & < 3/HP
Tunnel Mainshaft & Auxiliaryshaft			
Junction 1	6,3	0,196	1,276

Junction 6	5,8	0,196	1,136
Junction 7	7,8	0,196	1,528
Junction 8	5,4	0,196	1,098

5.1.4 Kualitas Udara pada Tunnel Mainshaft dan Auxiliaryshaft

Hasil pengukuran kualitas udara pada *tunnel mainshaft* dan *auxiliaryshaft* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Kualitas Udara pada Front J6 dan J7

Lokasi Pengukuran	KANDUNGAN GAS			
	CARBON MONOKSIDA (CO) (%)	HIDROGEN SULFIDA (H ₂ S) (%)	OKSIGEN (O ₂) (%)	METHAN (CH ₄) (%)
Junction 1	0	0	20,9	0
Junction 6	0	0	20,9	0
Junction 7	0	0	20,9	0
Junction 8	0	0	20,9	0

Tabel 11. Temperatur dan Kelembaban pada Tunnel Mainshaft

Lokasi Pengukuran	Temperatur °C		Kelembaban Relatif (Rh) (%)
	Basah (Tw) (°C)	Kering (Td) (°C)	
Junction 1	26,0	28,0	82
Junction 6	25,2	28,0	74
Junction 7	26,0	29,0	75
Junction 8	25,2	27,5	82

5.1.5 Jumlah karyawan dan peralatan yang digunakan pada front penambangan tunnel mainshaft dan auxiliaryshaft

5.1.5.1 Pemboran (Drilling)

Pada kegiatan pemboran menggunakan alat jack leg dan jumlah pekerja yang ada pada *front* penambangan J6 sebanyak 2 orang, yang meliputi :

- Operator jack leg = 1 orang
- Pengawas = 1 orang

5.1.5.2 Peledakan (Blasting)

Pada kegiatan peledakan pada *front* ada 4 orang pekerja, yang meliputi :

- Operator ANFO Loader = 1 orang
- Pekerja = 2 orang
- Pengawas Juru Ledak = 1 orang

5.1.5.3 Pemuatan dan Pengangkutan

Pada kegiatan loading pada *front* menggunakan Belt Conveyor dan jumlah pekerja ada 5 orang, yang meliputi:

- Operator Hoist = 1 orang
- Operator Belt Conveyor = 1 orang
- Pekerja = 3 orang

5.1.6 Kebutuhan Udara untuk Mendilusi Gas Metan

Perhitungan jumlah udara untuk menetralkan gas metan dilakukan dengan mengalikan produksi penggalian pergilir dengan keluaran emisi gas metan yang dilambangkan dengan Y. (Pusdiklat Teknologi dan Minerba BDTBT, 2002 : 35)

$$Y = 4,1 + 0,023 X$$

$$= 4,1 + 0,023 (100 \text{ m})$$

$$= 6,4 \text{ m}^3\text{CH}_4 / \text{ton batubara}$$

Sehingga jumlah emisi gas metan yaitu :

$$Q_g = \text{rata-rata produksi} / \text{gilir} \times \text{jumlah pancaran gas metan} \times 1 / \text{waktu efektif jam kerja pergilir (8jam)}$$

$$= 40 \text{ ton batubara} / \text{gilir} \times 6,4 \text{ m}^3\text{CH}_4 / \text{ton batubara} \times 1 / 28.800 \text{ dtk}$$

$$= 0,008 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Keterangan : rata-rata produksi pergilir merupakan rata-rata hasil produksi dalam periode 1 bulan penelitian.

Maka, kuantitas udara untuk mendilusi gas metan diperoleh dengan perhitungan seperti dibawah ini :

$$Q = [Q_g / (MAC - B)] - Q_g$$

$$= [0,008 \text{ (m}^3/\text{dtk)} / (0,25 - 0,1)] - 0,008$$

$$= 0,045 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Keterangan :

- Q_g = Jumlah emisi gas metan (m³/dtk)
- Q = Jumlah Udara untuk menetralkan gas (m³/dtk)
- MAC = Maximum Allowable Concentration (0,25%)
- B = Konsentrasi gas metan dalam udara normal (0,1%)

5.2 Analisis dan Pembahasan

5.2.1 Kebutuhan Udara Minimum pada *Front* Penambangan

Kebutuhan udara minimum pada *front* penambangan J6 dan J7

5.2.1.1 Jumlah pekerja yang berada di lokasi per shift yaitu sebanyak 11 orang, maka kebutuhan minimumnya adalah 11 orang x 0,033 m³/detik = 0,363 m³/detik

5.2.1.2 Alat angkut yang digunakan adalah *Belt Coveyor* dengan daya 126 HP, maka kebutuhan udara adalah 126 HP x 0,05 = 6,3 m³/detik.

5.2.1.3 Alat angkut yang digunakan adalah *Hoist* dengan daya 15,28 HP, maka kebutuhan udara adalah 15,28 HP x 0,05 = 0,764 m³/detik.

Jumlah kebutuhan udara minimum untuk peralatan mekanis yang digunakan pada *tunnel mainshaft* dan *auxiliaryshaft* yaitu :

Kebutuhan udara minimum untuk alat

$$= 6,3 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,764 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 7,064 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Kebutuhan udara total} = \text{Jumlah Pekerja} + \text{Jumlah Alat}$$

$$= 0,363 \text{ m}^3/\text{detik} + 7,064 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 7,427 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Tabel 12. Kebutuhan Udara Minimum

No	Keterangan	Total Kebutuhan Udara (m ³ /det)
1	Pekerja	0,363
2	Peralatan Mekanis	7,064
Total Kebutuhan Udara Minimum		7,427 m ³ /detik
Udara yang Tersedia		7,540 m ³ /detik

5.2.2 Kebutuhan Udara pada Saat Kegiatan Penambangan

5.2.2.1 *Front Junction 6*

- Kebutuhan Udara pada Saat Pemboran.

Kebutuhan untuk pernafasan pekerja tambang

Jumlah pekerja pada saat pemboran pada *front* penambangan adalah :

Operator *Jack Leg Drill* = 1

Pengawas = 1

Jumlah = 2

Maka kebutuhan udara minimum untuk pernafasan pekerja pada saat pemboran yaitu :

$$Q_{\text{pernafasan}} = 2 \text{ orang} \times 0,033 \text{ m}^3/\text{detik/orang}$$

$$= 0,066 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Kebutuhan udara pada saat peledakan

- Kebutuhan untuk pernafasan pekerja tambang

Jumlah pekerja pada saat peledakan pada *front* penambangan adalah :

Operator ANFO Loader = 1 orang

Pekerja = 2 orang

Pengawas Juru Ledak = 1 orang

Jumlah = 4 orang

Maka kebutuhan udara minimum untuk pernafasan pekerja pada saat peledakan yaitu :

$$Q_{\text{pernafasan}} = 4 \text{ orang} \times 0,033 \text{ m}^3/\text{detik/orang}$$

$$= 0,132 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Kebutuhan udara pada saat *Mucking* (pemuatan) dan *Hauling* (pengangkutan)

- Kebutuhan udara untuk pernafasan pekerja tambang

Jumlah pekerja pada saat *Mucking* dan *Hauling* pada *front* penambangan adalah :

Operator *Hoist* = 1 orang

Operator *Belt Conveyor* = 1 orang

Pekerja = 3 orang

Jumlah = 5 orang

Maka kebutuhan udara minimum untuk pernafasan pekerja pada saat *mucking* dan *hauling* yaitu :

$$Q_{\text{pernafasan}} = 5 \text{ orang} \times 0,033 \text{ m}^3/\text{detik/orang}$$

$$= 0,165 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Kebutuhan udara untuk alat muat (*mucking*) dan alat angkut (*hauling*)

Berdasarkan Keputusan Dirjen Minerba No. 185.K/3.04/DJB/2019 Tentang pengukuran ventilasi tambang bawah tanah yaitu apabila mesin dihidupkan untuk setiap tenaga kuda (HP) maka jumlah udara yang harus dialirkan minimal 3 m³/menit (0,05 m³/detik) / 1 HP. Alat muat yang digunakan adalah *Hoist* dengan daya 11,4 HP. Sedangkan alat angkut yang dipakai adalah *Belt Conveyor* dengan daya 126 HP, maka kebutuhan udara yaitu :

$$Q_{\text{hoist}} = 11,4 \text{ HP} \times 0,05 \text{ m}^3/\text{deti}$$

$$= 0,57 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{\text{Belt Conveyor}} = 126 \text{ HP} \times 0,05 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 6,3 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{Total} = Q_{pernafasan} + Q_{hoist} + Q_{Belt Conveyor}$$

$$= 0,165 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,57 \text{ m}^3/\text{detik} + 6,3 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 7,035 \text{ m}^3/\text{detik}$$

5.2.2.1 Front Junction 7

- Kebutuhan udara pada saat pemboran
Kebutuhan untuk pernafasan pekerja tambang
Jumlah pekerja pada saat pemboran pada *front* penambangan adalah :

$$\text{Operator Jack Leg Drill} = 1$$

$$\text{Pengawas} = 1$$

$$\text{Jumlah} = 2$$

Maka kebutuhan udara minimum untuk pernafasan pekerja pada saat pemboran yaitu :

$$Q_{pernafasan} = 2 \text{ orang} \times 0,033 \text{ m}^3/\text{detik/orang}$$

$$= 0,066 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Kebutuhan udara pada saat peledakan
Kebutuhan untuk pernafasan pekerja tambang
Jumlah pekerja pada saat peledakan pada *front* penambangan adalah :

$$\text{Operator ANFO Loader} = 1 \text{ orang}$$

$$\text{Pekerja} = 1 \text{ orang}$$

$$\text{Pengawas Juru Ledak} = 1 \text{ orang}$$

$$\text{Jumlah} = 3 \text{ orang}$$

Maka kebutuhan udara minimum untuk pernafasan pekerja pada saat peledakan yaitu :

$$Q_{pernafasan} = 3 \text{ orang} \times 0,033 \text{ m}^3/\text{detik/orang}$$

$$= 0,099 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Kebutuhan udara pada saat *Mucking*(pemuatan) dan *Hauling* (pengangkutan)
Kebutuhan udara untuk pernafasan pekerja tambang
Jumlah pekerja pada saat *Mucking* dan *Hauling* pada *front* penambangan adalah :

$$\text{Operator Hoist} = 1 \text{ orang}$$

$$\text{Operator Belt Conveyor} = 1 \text{ orang}$$

$$\text{Pekerja} = 2 \text{ orang}$$

$$\text{Jumlah} = 4 \text{ orang}$$

Maka kebutuhan udara minimum untuk pernafasan pekerja pada saat *mucking* dan *hauling* yaitu :

$$Q_{pernafasan} = 4 \text{ orang} \times 0,033 \text{ m}^3/\text{detik/orang}$$

$$= 0,132 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Kebutuhan udara untuk alat muat (*mucking*) dan alat angkut (*hauling*)

Berdasarkan Keputusan Dirjen Minerba No. 185.K/3.04/DJB/2019 Tentang pengukuran ventilasi tambang bawah tanah yaitu apabila mesin dihidupkan untuk setiap tenaga kuda (HP) maka jumlah udara yang harus dialirkan minimal 3 m³/menit (0.05 m³/detik) / 1 HP. Alat muat yang digunakan adalah *Hoist* dengan daya 11,4 HP. Sedangkan alat angkut yang dipakai adalah *Belt Conveyor* dengan daya 126 HP, maka kebutuhan udara yaitu :

$$Q_{hoist} = 11,4 \text{ HP} \times 0,05 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,57 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{Belt Conveyor} = 126 \text{ HP} \times 0,05 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 6,3 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{Total} = Q_{pernafasan} + Q_{hoist} + Q_{Belt Conveyor}$$

$$= 0,132 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,57 \text{ m}^3/\text{detik} + 6,3 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 7,002 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Tabel 13. Kebutuhan Udara pada Saat Aktifitas Penambangan

No	Front Penambangan	Keterangan	Total Kebutuhan Udara
1	Junction 6	Kebutuhan udara saat pemboran	0,066 m ³ /s
		Kebutuhan udara pada saat peledakan	0,132 m ³ /s
		Kebutuhan Udara pada saat pemuatan dan pengangkutan	7,035 m ³ /s
		Total kebutuhan udara pada front penambangan	7,233 m³/s
2	Junction 7	Kebutuhan udara saat pemboran	0,066 m ³ /s
		Kebutuhan udara pada saat peledakan	0,099 m ³ /s
		Kebutuhan Udara pada saat pemuatan dan pengangkutan	7,002 m ³ /s
		Total kebutuhan udara pada front penambangan	7,167 m³/s
		Kebutuhan udara untuk mendilusi gas metan	0,045 m³/s
		Kebutuhan Udara Total	14,445 m³/s

5.2.3 Kuantitas Udara pada *Front* Penambangan J6 dan J7

5.2.3.1 Front Junction 6

Dari hasil pengukuran, kecepatan angin di ujung pipa atau *flexible duct* pada *frontjunction* 6 adalah 5,8 m/detik, sedangkan luas penampang 0,196 m². Sehingga aliran udara yang dihembus oleh *local fan* langsung ke *front* adalah :

$$Q = V \times A$$

$$= 5,8 \text{ meter/detik} \times 0,196 \text{ m}^2$$

$$= 1,136 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Berdasarkan kuantitas udara di atas kebutuhan udara yang tersedia pada *FrontJunction* 6 sebesar 1,136 m³/detik, dan kebutuhan udara yang dibutuhkan sebesar 7,233 m³/detik. Berarti kebutuhan udara pada *front* belum terpenuhi, maka dari itu perlu diatasi dengan menambah *local fan* sehingga udara yang tersedia sebanding dengan udara yang dibutuhkan.

5.2.3.2 Front Junction 7

Dari hasil pengukuran, kecepatan angin di ujung pipa atau *flexible duct* pada *frontjunction* 7 adalah 7,8 m/detik, sedangkan luas penampang 0,196 m². Sehingga aliran udara yang ditiup oleh *local fan* langsung ke *front* adalah :

$$Q = V \times A$$

$$= 7,8 \text{ meter/detik} \times 0,196 \text{ m}^2$$

$$= 1,528 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Berdasarkan kuantitas udara di atas kebutuhan udara yang tersedia pada *frontJunction* 7 sebesar 1,528 m³/detik, dan kebutuhan udara yang dibutuhkan sebesar 7,167 m³/detik. Berarti kebutuhan udara pada *front* belum terpenuhi, maka dari itu perlu diatasi dengan menambah *local fan* sehingga udara yang tersedia sebanding dengan udara yang dibutuhkan.

5.2.4 Kualitas, Temperatur dan Kelembaban Udara pada Front Junction 6 dan Junction 7

5.2.4.1 Front Junction 6

Berdasarkan tabel kualitas udara maka diketahui bahwa pada *Front Junction 6*, temperatur efektif udara masih tinggi sebesar 25°C atau masih melewati Nilai Ambang Batas (NAB) yang telah ditentukan sedangkan kelembaban relatif pada *front Junction 6* adalah 74% dapat dilihat dengan menggunakan tabel kelembaban bola basah dan bola kering. Dimana kelembaban pada *front J6* sudah dalam kondisi aman atau dibawah NAB.

5.2.4.2 Front Junction 7

Berdasarkan tabel kualitas udara di atas maka diketahui bahwa pada *Front Junction 7*, temperatur efektif udara masih tinggi sebesar 27°C atau masih melewati Nilai Ambang Batas (NAB) yang telah ditentukan sedangkan kelembaban relatif pada *front Junction 7* adalah 75% dapat dilihat dengan menggunakan tabel kelembaban bola basah dan bola kering. Dimana kelembaban pada *front J7* sudah dalam kondisi aman atau dibawah NAB.

Tabel 14. Perbandingan kesesuaian temperatur dan kelembaban menurut standar pada Kepmen ESDM RI No. 1827 K/30/MEM/2018

Lokasi	Elemen	Di Lubang	Standar Kepmen	Kesesuaian Dengan Kepmen
J6	Temperatur	25 °c	18-24 °c	Belum
	Kelembapan	74 %	85%	Sudah
J7	Temperatur	27 °c	-24 °c	Belum
	Kelembapan	75 %	85 %	Sudah

5.2.5 Menghitung Panjang Jalur Udara yang dapat di *Suplay Blower*

5.2.5.1 Panjang *duct* yang dapat dicapai blower utama ke *front* penambangan *Junction 6*

Blower utama bertekanan 3750 Pa dengan kuantitas 3,86 m²/dtk.

$$L+Le = \frac{P \times A^3}{K \times C \times Q^2 \times \frac{W}{1,2}}$$

$$L+Le = \frac{3750 \times 0,196^3}{0,003 \times 1,57 \times 3,86^2 \times \frac{1,178}{1,2}}$$

$$L+Le = \frac{28,235}{0,068}$$

$$L+Le = 415,22 \text{ m}$$

$$L+Le = 415,22 \text{ m} - 10 \text{ m} = 405,22 \text{ m}$$

Berdasarkan panjang ekuivalen *duct* adalah 10 meter, karena belokan di system ventilasi merupakan tipe *splitting, straight, branch* (memecah / terpisah dengan lurus). Maka, panjang *duct* yang dapat di *suplay* oleh *blower* adalah 405,22 meter.

5.2.5.2 Panjang *duct* yang dapat dicapai blower utama ke *front* penambangan *Junction 7*

Blower utama bertekanan 4067 Pa dengan kuantitas 3,68 m²/dtk.

$$L+Le = \frac{P \times A^3}{K \times C \times Q^2 \times \frac{W}{1,2}}$$

$$L+Le = \frac{4067 \times 0,196^3}{0,003 \times 1,57 \times 3,68^2 \times \frac{1,178}{1,2}}$$

$$L+Le = \frac{30,623}{0,062}$$

$$L+Le = 493,92 \text{ m}$$

$$L+Le = 493,92 \text{ m} - 10 \text{ m} = 483,92 \text{ m}$$

5.2.6 Penambahan *blower*

Berdasarkan kebutuhan udara pada *front junction 6* dan *junction 7* belum terpenuhi, maka dari itu perlu diatasi dengan menambah *blower* sehingga udara yang tersedia sebanding dengan udara yang dibutuhkan. Maka dari itu dapat menggunakan rumus dibawah ini, dimana nilai koefisien gesek (K), keliling *duct* (C), panjang *duct* (L), kuantitas udara (Q) dan luas penampang *duct* (A).

5.2.6.1 *Front Junction 6*

$$P(\text{tersedia}) = \frac{K.C.L}{A^3} \times Q^2$$

$$= \frac{0,003 \times 1,57 \times 405,22}{0,196^3} \times 3,86^2$$

$$= 259,735 \times 3,86^2$$

$$= 3869,95 \text{ Pa}$$

$$P(\text{kebutuhan}) = \frac{K.C.L}{A^3} \times Q^2$$

$$= \frac{0,003 \times 1,57 \times 405,22}{0,196^3} \times 7,233^2$$

$$= 259,735 \times 7,233^2$$

$$= 13588,37 \text{ Pa}$$

$$Wa(\text{tersedia}) = \frac{P \times Q}{1000}$$

$$= \frac{3869,95 \times 3,86}{1000}$$

$$= 14,938 \text{ Kw}$$

$$Wa(\text{kebutuhan}) = \frac{P \times Q}{1000}$$

$$= \frac{13588,37 \times 7,233}{1000}$$

$$= 98,284 \text{ Kw}$$

$$Wa(\text{dibutuhkan}) = Wa(\text{kebutuhan}) - Wa(\text{tersedia})$$

$$= 98,284 \text{ Kw} - 14,938 \text{ Kw}$$

$$= 83,346 \text{ Kw} \approx 8,3 \text{ Kw}$$

5.2.6.1 *Front Junction 7*

$$P(\text{tersedia}) = \frac{K.C.L}{A^3} \times Q^2$$

$$= \frac{0,003 \times 1,57 \times 493,92}{0,196^3} \times 3,68^2$$

$$= 308,965 \times 3,68^2$$

$$= 4184,13 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{kebutuhan}) &= \frac{K.C.L}{A^3} \times Q^2 \\
 &= \frac{0,003 \times 1,57 \times 493,92}{0,196^3} \times 7,167^2 \\
 &= 308,965 \times 7,167^2 \\
 &= 15870,26 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Wa(\text{tersedia}) &= \frac{P \times Q}{1000} \\
 &= \frac{4184,13 \times 3,68}{1000} \\
 &= 15,397 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Wa(\text{kebutuhan}) &= \frac{P \times Q}{1000} \\
 &= \frac{15870,26 \times 7,167}{1000} \\
 &= 113,742 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Wa(\text{dibutuhkan}) &= Wa(\text{kebutuhan}) - Wa(\text{tersedia}) \\
 &= 113,742 \text{ Kw} - 15,397 \text{ Kw} \\
 &= 98,345 \text{ Kw} \approx 9,8 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

5.2.7 Rancangan Jaringan Ventilasi pada Tunnel Mainshaft dan Auxiliaryshaft

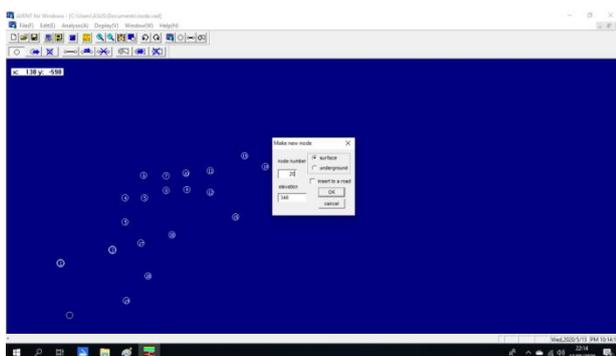
Analisa dapat dilakukan dengan cara menggunakan *Software Kazemaru*, dalam penggunaan *Software Kazemaru* diperlukan input data sebagai data base dalam pengolahan rancangan sistem ventilasi, data tersebut berupa elevasi titik *node*, panjang terowongan, temperatur, aliran udara (*airflow*), tahanan ventilasi, keliling dan luas penampang, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 15. Data Hasil Pengukuran dan Analisa Sistem Ventilasi

Lokasi	Keliling Torowongan M	Elevasi M	Temperatur °c	Aliran Udara m/s	Luas Penampang m ²
Junction 1	4,76	293	28	6,3	0,196
Junction 6	4,76	302	28	5,8	0,196
Junction 7	4,76	296	29	7,8	0,196
Junction 8	4,76	291	27,5	5,4	0,196

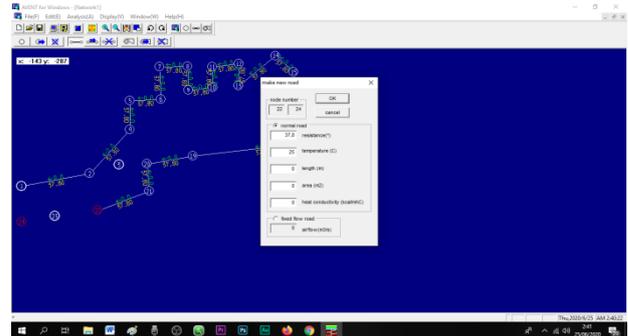
Langkah-langkah dalam pengolahan data dengan menggunakan *software kazemaru*

5.2.7.1 Pembuatan Node Jaringan Sistem Ventilasi



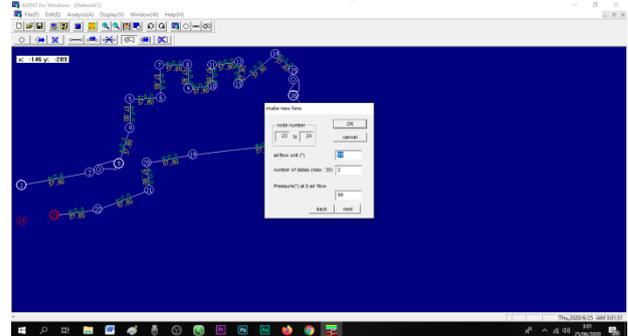
Gambar 14. Pembuatan Node

5.2.7.2 Pembuatan Road Jaringan Sistem Ventilasi

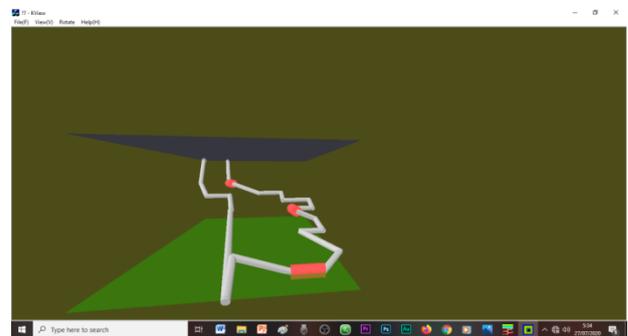


Gambar 15. Pembuatan Road

5.2.7.3 Pembuatan Fan Jaringan Sistem Ventilasi



Gambar 16. Pembuatan Fan



Gambar 17. Peta Ventilasi 3D

6 Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

1. Kuantitas udara pada *front* J6 dan J7 belum memenuhi standar yang diperbolehkan dalam Kepmen ESDM RI No. 1827 K/30/MEM/2018. Kuantitas udara pada *front* J6 sebesar 1,136m³/detik. Kuantitas udara yang dibutuhkan sebesar 7,233 m³/detik dan kuantitas udara pada *front* J7 sebesar 1,528 m³/detik sementara kuantitas yang dibutuhkan sebesar 7,167 m³/detik. Sedangkan untuk kualitas udara pada lokasi penambangan *front Junction 6* dan *Junction 7* seperti gas-gas beracun / berbahaya masih dibawah NAB (Nilai Ambang Batas) yang telah ditetapkan oleh keputusan ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 halaman 109 tentang ventilasi.

2. Pada *front Junction 6* kebutuhan udara yang tersedia sebesar 1,136 m³/detik sedangkan udara yang dibutuhkan sebesar 7,233m³/detik untuk memenuhi kebutuhan udara pada saat aktivitas penambangan perlu dilakukan penambahan daya *blower* sebesar 8,3 Kw \approx 10,5 Kw, dan pada *frontJunction 7* kebutuhan udara yang tersedia sebesar 1,528 m³/detik sedangkan udara yang dibutuhkan sebesar 7,167 m³/detik untuk memenuhi kebutuhan udara pada saat aktivitas penambangan perlu dilakukan penambahan daya *blower* sebesar 8,9 Kw \approx 10,5 Kw.
3. Membuat rancangan system ventilasi tambang dengan melakukan penambahan *blower* pada tiap *front* penambangan agar udara pada *front* penambangan tercukupi, dan rancangan pemodelan sirkulasi udara baru dengan menggunakan *software kazemaru*.

6.2 Saran

1. Sebaiknya perusahaan lebih memperhatikan suhu di area penambangan, Apabila suhu di area penambangan terlalu tinggi akan membuat para pekerja tidak nyaman dalam beraktivitas dan hasil produksi akan menurun dikarenakan pekerja sering istirahat saat bekerja.
2. Untuk menjaga kuantitas dan kualitas udara tambang bawah tanah, maka harus tetap dilakukan pengontrolan secara rutin, baik itu pengontrolan harian, mingguan, ataupun bulanan.
3. Kecepatan aliran udara sebesar 150 – 500 fpm (0,8 – 2,5 m/detik) dapat memperbaiki tingkat kenyamanan ruang kerja yang panas dan lembab. (*Diktat Ventilasi Tambang Hal. 31 Program D-III T.Pertambangan FT – UNP*).

Daftar Pustaka

- [1] Andri Pranoto. 2016. “*Analisis dan Perbaikan Sistem Ventilasi pada Front Penambangan Plant Ciguha Level 500 PT. Aneka Tambang (Persero) Tbk, Unit Bisnis Penambangan Emas (UBPE) Pongkor Bogor Jawa Barat*” Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.
- [2] Anonim, 2004.*Diklat Ventilasi Tambang*, Yogyakarta : Program D-III Teknik Pertambangan Fakultas Teknik UPN.
- [3] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah. 2010. *Diklat Sistem Ventilasi Tambang Bawah tanah*.Sawahlunto: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara Balai Diklat Tambang Bawah Tanah.
- [4] Bambang Heriyadi, *Materi Ajar Peranginan Ventilasi Tambang*, BDTBT, Swahlunto, 2002.
- [5] Hartman, L Howard, 1997, *Mine Ventilation and Air Conditioning 3rd*, Ed John Willey & Sons, New York.
- [6] Hustrulid, 1982, *Underground Mining Methods Handbooks*, Society of Mining Engineers of The America Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers Inc, New York.
- [7] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesi Nomor 1827 K/ 30/

MEM/ 2018.“Pedoman Pelaksanaan Teknik Pertambangan yang Baik” Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

- [8] Wardany Husein. 2016. “*Evaluasi Sistem Jaringan Ventilasi Guna Menunjang Kegiatan Operasional Penambangan pada Rump Down Central Lokasi Ciurug Level 450 Tambang Bawah Tanah PT. Antam (persero) Tbk. Ubpe Pongkor*” Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.