

Analisis Jaringan Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah Pertambangan Emas Bojong Deet Sukabumi

Pramudia Aji Rustiyanto¹, Supardi Razak^{1}, Andromeda Nabella²*

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Geologi, Universitas Jendral Soedirman, Indonesia

*Email: supardi.razak@uinjkt.ac.id

SARI

Daerah Bojong Deet adalah tempat penambangan bahan galian emas. Dua kipas sentrifugal mengalirkan udara bersih ke lubang tambang bawah tanah di WPR Bojong Deet, dengan kapasitas kipas 9.6 m³/menit. Lubang tambang bawah tanah dari lubang masuk hingga *front* masih dalam kondisi aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas udara dan kuantitas udara tambang bawah tanah. Menurut pengamatan dan observasi yang dilakukan di lapangan, ada kekurangan udara di lokasi penelitian, yang menyebabkan kondisi kerja yang tidak nyaman dan aman bagi pekerja. Selain itu, belum ada sistem ventilasi yang dirancang untuk tambang bawah tanah ini. Dengan menggunakan *software* pemodelan, jumlah udara yang ada di lubang tambang belum sesuai dengan peraturan yang ada. Oleh karena itu, penambangan yang dilakukan harus mengganti atau menambahkan kipas agar pekerja dapat menambang dengan aman dan nyaman.

Kata kunci: dilusi, kipas, kuantitas, kualitas, ventilasi

How to Cite: Rustiyanto, P. A., Razak, S., dan Nabella, A. 2025. Analisis Jaringan Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah Pertambangan Emas Bojong Deet Sukabumi. Jurnal Geomine, 13 (2): 102-115.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Phone:

+6285299961257

+628124190813

Article History:

Submit July 3, 2025

Received in from May 27, 2025

Accepted August 12, 2025

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

The Bojong Deet area is a gold mining site. Two centrifugal fans deliver clean air to the underground mining pit at Bojong Deet WPR, with a fan capacity of 9.6 m³/min. The underground mining pit from the entry hole to the front is still in active condition. The purpose of this study is to determine the air quality and air quantity of the underground mine. According

to observations made in the field, there is a lack of air at the research site, which causes uncomfortable and unsafe working conditions for workers. In addition, no ventilation system has been designed for this underground mine. Using modeling software, the amount of air present in the mine pit is not in accordance with existing regulations. Therefore, mining should replace or add fans so that workers can mine safely and comfortably.

Keywords: *dilution, fan, quantity, quality, ventilation*

PENDAHULUAN

Kegiatan tambang bawah tanah adalah kegiatan yang memiliki resiko yang sangat tinggi seperti kebakaran, ledakan dan runtuh atap yang dapat saja terjadi setiap saat. Dibutuhkan penanganan khusus untuk tambang bawah tanah dalam pengaturan kuantitas dan kualitas udara, dan aliran udara yang baik agar memberikan lokasi kerja yang aman bagi pekerja yang sedang melakukan kegiatan penambangan lubang tambang (Razak, S. 2023).

Sistem ventilasi sangat penting untuk memberikan udara segar kepada pekerja di tambang bawah tanah. Sistem ventilasi yang kurang tepat akan menyebabkan efisiensi yang lebih rendah, produktivitas yang lebih rendah, dan peningkatan tingkat kecelakaan, meskipun tidak mempengaruhi secara langsung tingkat operasi produksi (Razak, S. 2024). Kecelakaan tambang bawah tanah tidak akan terjadi jika ada sistem ventilasi yang memadai secara kualitas dan kuantitas, serta suhu di lubang tambang bawah tanah yang sesuai dengan peraturan dan standar yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah. Menurut keputusan Menteri ESDM No. 1827K/K/30/MEM/2018 dan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 185. K/37.04/DJB/2019 (Arifa, 2018). Jumlah pekerja, jumlah udara untuk mendilusi debu, jumlah peralatan yang beroperasi, dan kondisi suhu dan kelembaban udara adalah beberapa faktor yang perlu dievaluasi untuk menentukan jumlah udara yang diperlukan untuk kelangsungan operasional tambang bawah tanah. Untuk mempelajari kondisi sistem ventilasi tambang bawah tanah saat ini dan memberikan rekomendasi sistem ventilasi yang sesuai dengan peraturan yang berlaku. Penelitian ini dilakukan dengan judul analisis jaringan sistem ventilasi tambang bawah tanah pertambangan emas bojong deet sukabumi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah, untuk mengetahui kondisi *existing* sistem ventilasi di lubang tambang, mengetahui kualitas dan kuantitas udara yang berada di lubang tambang, dan untuk menentukan sistem ventilasi yang sesuai dengan peraturan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yang melibatkan penggunaan alat pengolahan data statistik; sebagai hasilnya, data dan hasil yang dihasilkan adalah angka (Sahir, 2021). Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti tentang variabel minat untuk tujuan studi. Responden individu, kelompok fokus. Adapun data primer yang digunakan yaitu, peta wpr daerah penelitian, peta geologi regional, peta topografi data kualitas udara mencakup kecepatan udara dan debit udara serta data gas, suhu, dan kelembapan pada tambang bawah tanah. Adapun teknik pengolahan data yang dilakukan yaitu menghitung luas terowongan dan *duct* serta kecepatan udara di tambang bawah tanah, menghitung debit udara dan menghitung jumlah udara yang diperlukan untuk pekerja, alat, dan dilusi debu. Analisis data dilakukan dengan mengubah dimensi lubang bukaan sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM No. 1827K/30/MEM/2018 dan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 185.K/37.04/DJB/2019. Selain itu, dihitung juga kebutuhan udara.

Kuantitas Udara Pada Tambang Bawah Tanah

Tujuan pehitungan udara tambang bawah tanah adalah untuk mengetahui kebutuhan udara dan pembagian ke setiap jalur udara yang diperlukan di tambang bawah tanah. Setelah kecepatan udara dan luas penampang jalur udara diketahui, persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung kuantitas udara (Yulianti, 2018).

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

Keterangan :

- Q = Kuantitas udara (m³/s)
- V = Kecepatan Aliran (m/s)
- A = Luas Penampang Jalur Udara (m²)

Selain itu, perlu diingat bahwa kebutuhan udara pekerja tambang bawah tanah sebanding dengan kebutuhan udara sistem ventilasi (Hartman, 1997).

$$a. Q - b = c. Q \dots\dots\dots 2$$

Keterangan :

- a = Oksigen pada udara luar (%)
- b = Konsumsi oksigen
- c = Oksigen minimum dalam tambang bawah tanah/NAB (%)
- Q = Jumlah udara yang dibutuhkan untuk satu orang pekerja

Salah satu tujuan sistem ventilasi tambang bawah tanah adalah untuk membuang debu di depan penambangan agar tidak mengganggu proses penambangan dan membahayakan kesehatan karyawan. Oleh karena itu, debu harus dibuang sesuai dengan persamaan berikut (McPherson, 2019). (Laju produksi 12 karung, satu karung 25 kg)

$$Q = \frac{Ed}{Cd} \times \frac{P}{3600} \dots\dots\dots 3$$

Keterangan :

- Ed = tingkat emisi debu yang dapat terhirup (mg/ton)
- P = laju produksi mineral (ton/jam)
- Cd = Peningkatan konsentrasi debu yang dapat terhirup diperbolehkan (mg/m³).

Friction loss

Dalam sistem ventilasi tambang, *friction loss* aliran udara yang melalui lubang bukaan tambang dapat menyumbang antara 70-90 % dari *head loss*. Kerugian ini dianggap lebih signifikan daripada kehilangan *shock loss* karena dampaknya yang sangat besar. Oleh karena itu, untuk menemukan dan mengatasi masalah ini secara efektif, diperlukan perhitungan yang cermat dan akurat (Hartman, 1997). Untuk menentukan nilai *friction loss* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Hartman, 1997).

$$Hf = \frac{KOLQ^2}{A^3} \dots\dots\dots 4$$

Keterangan :

- Hf = *friction loss* (Pa)
- K = *friction factor* (kg/m³)
- O = Keliling penampang saluran udara (m)
- L = Panjang saluran udara (m)
- Q = Debit udara (m³/s)
- A = Luas penampang saluran udara (m²)

Shock loss

Selain kerugian gesekan yang disebabkan oleh perubahan arah aliran udara, bentuk, atau ukuran saluran, kerugian akibat guncangan juga terjadi pada ventilasi tambang. Hambatan menyebabkan hilangnya guncangan dengan mengurangi area saluran. Namun, kerugian akibat guncangan biasanya hanya antara 10-30 % dari kerugian dari total head loss sistem ventilasi tambang. Pada dasarnya, *head loss* bervariasi sebagai kuadrat kecepatan atau langsung sebagai velocity head, untuk sumber kejutan tertentu. Ada banyak cara untuk menghitung *shock loss* (Hartman, 1997). Besarnya shock loss H_x dalam air masuk (Pa) dapat dihitung dari head kecepatan H_v .

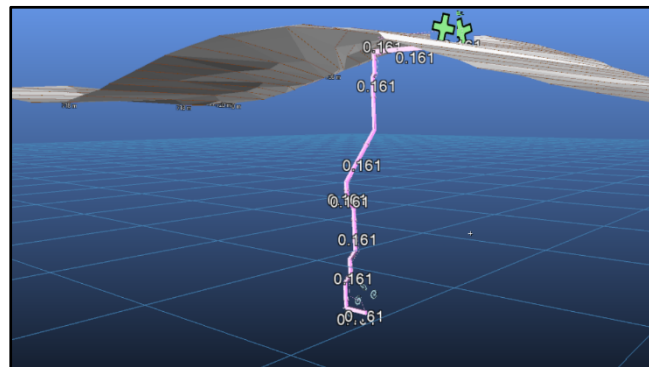
$$H_x = XH_v \dots\dots\dots 5$$

X di sini merupakan *shock loss factor*. Ini kira-kira mirip dengan faktor gesekan K dalam *friction loss*. Dengan kata lain, setiap tikungan, perubahan area, dan halangan memiliki faktor *shock-loss* unik, tergantung pada dimensi dan ciri-cirinya (Yulianti. R. 2021).

HASIL PENELITIAN

Kondisi Lubang Derry WPR Bojong Deet

Untuk mengamati jaringan ventilasi, data hasil pengukuran serta data yang telah diproses sebelumnya diperlukan. Hasil pengukuran langsung, seperti keadaan dan dimensi lubang tambang, menunjukkan bahwa lubang kerja ini masih aktif karena pencarian material berharga masih dalam tahap *development*. Tabel 1. menunjukkan keadaan lubang tambang pada kondisi *existing*, dan sistem ventilasi ini dikenal sebagai sistem *forcing* atau sistem hembus. Tabel 2 menunjukkan dimensi lubang bukaan tambang bawah tanah saat ini. Untuk desain sistem ventilasi secara *existing* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain sistem ventilasi tambang bawah tanah *existing*

Tabel 1. Keadaan lubang tambang bawah tanah WPR Bojong Deet

No	Lokasi	Keterangan
1	Lubang Masuk	Aktif
2	Adit 1	Aktif
3	Adit 2	Aktif
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	Aktif
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	Aktif
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	Aktif
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	Aktif
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	Aktif
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	Aktif
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	Aktif



11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	Aktif
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	Aktif
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	Aktif
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	Aktif
15	<i>Front</i>	Aktif

Tabel 2. Dimensi lubang bukaan tambang bawah tanah *existing*

No	Lokasi	Lebar (M)	Tinggi (M)	Luas (M ²)
1	Lubang Masuk	0,8	15	1,2
2	Adit 1	0,8	1,5	1,2
3	Adit 2	0,8	1,5	1,2
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	1	1,0	1
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	1	1,0	1
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	1	1,0	1
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	1	1,0	1
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	1	1,0	1
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	1	1,0	1
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	1	1,0	1
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	1	1,0	1
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	1	1,0	1
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	1	1,0	1
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	1	1,0	1
15	<i>Front</i>	0,8	1,5	1,2

Terowongan tambang bawah tanah memiliki luas lubang bukaan 1,2 m² di lokasi lubang masuk hingga adit 2 dan pada lokasi *Front* penambangan. pada lokasi vertikal *shaft* 1 hingga vertikal *shaft* 6 luas dimensi terowongan 1 m². Luas lubang bukaan terowongan adalah sangat kecil di area lubang masuk hingga *front* penambangan. dan dimensi ini tidak sesuai dengan peraturan yang ada. Menurut Peraturan Menteri ESDM No. 1827K/30/MEM/2018. lebar terowongan tanpa alat mekanis harus 2 meter dan tingginya 2,5 meter. Dari hasil pengukuran di lokasi penelitian. dimensi terowongan tambang bawah tanah ini menunjukkan bahwa terowongan tidak ideal. Ini karena penambangan emas skala kecil atau pertambangan rakyat. yang belum mempertimbangkan regulasi dan aspek teknis yang ada saat ini. Jumlah udara yang dialirkan ke dalam tambang bawah tanah tidak dapat maksimal karena luas pipa jalur udara (pipa) pada lubang masuk hanya 0,005 m². Dimensi jalur udara (*duct*) pada lubang tambang bawah tanah kondisi *existing* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas dimensi jalur udara (*duct*)

No	Lokasi	phi	Jari – jari (meter)	Luas
1	Lubang Masuk	3,14	0,04	0,00502
2	Adit 1	3,14	0,04	0,00502
3	Adit 2	3,14	0,04	0,00502
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	3,14	0,04	0,00502
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	3,14	0,04	0,00502
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	3,14	0,04	0,00502
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	3,14	0,04	0,00502
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	3,14	0,04	0,00502
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	3,14	0,04	0,00502
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	3,14	0,04	0,00502
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	3,14	0,04	0,00502
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	3,14	0,04	0,00502
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	3,14	0,04	0,00502
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	3,14	0,04	0,00502

15	<i>Front</i>	3,14	0,04	0,00502
----	--------------	------	------	---------

Jumlah Pekerja Dan Alat Yang Digunakan

Jumlah pekerja dan jumlah alat yang digunakan selama proses penambangan di WPR Bojong Deet harus diketahui saat merancang sistem ventilasi yang sesuai. Jumlah pekerja dan jumlah alat yang digunakan selama proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah pekerja dan alat yang digunakan

No	Lokasi	Jumlah Pekerja	Alat	Jumlah Alat
1	Lubang Masuk	1	-	-
2	Adit 1	-	-	-
3	Adit 2	1	-	-
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	-	-	-
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	-	-	-
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	-	-	-
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	2	-	-
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	-	-	-
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	-	-	-
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	-	-	-
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	2	-	-
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	-	-	-
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	-	-	-
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	-	-	-
15	<i>Front</i>	6	Jack Hammer	2

Pengukuran Kualitas Udara Pada Tambang Bawah Tanah

Selain itu, hasil yang dihasilkan dari pengukuran kualitas udara dengan *gas detector* secara *existing*. Data yang diperoleh adalah CO₂ dalam satuan ppm, oksigen dalam satuan persentase, temperatur efektif dalam satuan celcius, dan kelembapan relatif dalam satuan persentase. Sebelum pekerja keluar dari lubang tambang, pengukuran dilakukan di lubang masuk terowongan. Tabel 5 di bawah ini menunjukkan data hasil pengukuran kualitas gas pada lubang masuk. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kandungan gas dalam keadaan baik sesuai dengan peraturan yang berlaku dan tidak melebihi nilai ambang batas. Namun, temperatur pada lubang tambang tidak sesuai dengan peraturan yang ada. Dari hasil pengukuran kualitas udara terowongan tambang bawah tanah menunjukkan bahwa kandungan gas dalam keadaan sesuai dengan nilai ambang batas yang telah disesuaikan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Namun, data tentang suhu dan kelembapan relatif yang diperoleh pada kondisi saat ini melewati ambang batas. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa udara yang didistribusikan pada lubang tambang bawah tanah tidak didistribusikan secara maksimal, sehingga tidak dapat menurunkan suhu. Sesuai dengan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185.K/37. 04/DJB/2019, kondisi suhu ideal untuk tambang bawah tanah adalah 18°C hingga 27°C. Semakin dalam kedalaman penambangan, suhu di area penambangan meningkat.

Tabel 1. Data kualitas udara pada tambang bawah tanah

Lokasi	PM 2.5 mg/ ton	PM 10 mg/ ton	O ₂ Persentase	CO ₂ ppm	Temperatur °C	Humidity %
			Tidak kurang dari 19,5%	Tidak lebih dari 0,5%	18 sampai 27 derajat celcius	Kelembapa n relatif maksimum 85%

Lubang masuk	229,6	373	20,8	0,071	26,8	85,1
Adit 1	89,9	140,4	20,7	0,056	27,0	86,4
Adit 2	86,1	136,1	20,5	0,056	27,1	84,5
Vertikal <i>Shaft</i> 1	86,1	135,5	20,6	0,058	27,2	85,0
Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	85,9	134,8	20,8	0,062	27,4	85,2
Vertikal <i>Shaft</i> 2	76,8	119,8	20,6	0,062	27,4	85,0
Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	71,5	111,1	20,5	0,058	27,9	86,1
Vertikal <i>Shaft</i> 3	78,5	112,2	20,6	0,057	28,0	86,0
Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	79,6	114,3	20,5	0,058	28,3	86,2
Vertikal <i>Shaft</i> 4	80,5	120,5	20,7	0,057	28,4	87,8
Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	92,2	142,5	20,7	0,056	30,1	88,9
Vertikal <i>Shaft</i> 5	100,5	150,3	20,8	0,057	30,2	90,0
Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	197,7	311,7	20,7	0,059	30,1	90,5
Vertikal <i>Shaft</i> 6	101,2	155,1	20,7	0,065	30,2	91,1
<i>Front</i>	99,2	156,1	20,8	0,047	30,2	91,6

Pengukuran Kuantitas Udara Pada Tambang Bawah Tanah

Pada kondisi saat ini, dua kipas sentrifugal CFAB-CZR250W/I-9Z digunakan pada tambang bawah tanah ini. Dimana kedua kipas tersebut memiliki kemampuan volume udara yang dikeluarkan 4,8 meter per menit. Dalam hal kuantitas udara pada tambang bawah tanah. Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185.K/37.04/DJB/2019 menetapkan kecepatan udara minimal 7 m/menit dan kebutuhan udara ideal untuk setiap pekerja 2 m³/menit dan alat 3 m³/menit. Dari data yang diperoleh dari pengukuran kecepatan udara. yang merupakan kondisi yang sudah ada. pengukuran dilakukan di setiap titik lokasi. Hasil pengukuran kecepatan udara dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data kecepatan udara pada tambang bawah tanah dalam kondisi *existing*

No	Lokasi	Kecepatan udara pada jalur udara (Meter/Menit)		NAB (M/Menit)
		<i>Duct</i>	Terowongan	
1	Lubang Masuk	1921.8	7.68	
2	Adit 1	1921.8	7.68	
3	Adit 2	1921.8	7.68	
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	1921.8	9.66	
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	1921.8	9.66	
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	1921.8	9.66	
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	1921.8	9.66	
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	1921.8	9.66	7
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	1921.8	9.66	
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	1921.8	9.66	
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	1921.8	9.66	
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	1921.8	9.66	
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	1921.8	9.66	
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	1921.8	9.66	
15	<i>Front</i>	1921.8	7.68	

Karena kecepatan udara minimal yang disesuaikan adalah 7 m/menit. hasil pengukuran kecepatan udara di *duct* pada *existing* dapat dianggap sesuai dengan peraturan

yang ada di lokasi tambang bawah tanah. Hasil pengukuran kecepatan udara pada lubang bukaan tambang bawah tanah menunjukkan bahwa pada lokasi lubang masuk hingga adit 1 dan pada *front* penambangan kecepatan udara adalah 7.68 meter/menit. Pada lokasi *vertikal shaft* 1 hingga *shaft* 6 kecepatan udara adalah 9.66 meter/menit. Hasil ini berbeda dengan kondisi *existing*. yang disebabkan oleh perbedaan luas area yang dilalui udara. Menurut Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185.K/37. 04/DJB/2019. kecepatan udara di terowongan tambang bawah tanah harus 7 meter per menit dalam kondisi yang sesuai dengan peraturan.

Menurut Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185.K/37.04/DJB/2019. kebutuhan udara ideal adalah 2 meter/menit untuk setiap pekerja dan 3 meter/menit untuk setiap alat. Tabel 7 menunjukkan kuantitas udara pada lubang tambang bawah *existing*.

Tabel 2. Kuantitas udara pada tambang bawah tanah *existing*

No	Lokasi	Duct			Terowongan			NAB Q (M3/ Menit)
		Luas	V (M/ Menit)	Q (M3/ Menit)	Luas	V (M/ Menit)	Q (M3/ Menit)	
1	Lubang Masuk	0,005	1921,8	9,609	1,2	7,68	9,216	2
2	Adit 1	0,005	1921,8	9,609	1,2	7,68	9,216	-
3	Adit 2	0,005	1921,8	9,609	1,2	7,68	9,216	2
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	4
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	4
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	0,005	1921,8	9,609	1,00	9,66	9,66	-
15	<i>Front</i>	0,005	1921,8	9,609	1,2	7,68	9,216	26,5

Menurut data yang ada, *duct* tambang bawah tanah kekurangan udara. Hal ini disebabkan karena kipas yang digunakan untuk penambangan tidak memenuhi ambang batas yang ditetapkan dalam Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185.K/37,04/DJB/2019. Selain itu, banyaknya belokan dan kebocoran saluran udara menyebabkan kekurangan udara di tambang bawah tanah. Akibatnya, jumlah udara yang sampai ke *front* penambangan tidak sesuai dengan satandar yang ada. Sebagai akibat dari kebocoran pipa *duct* dan banyaknya belokan di tambang bawah tanah, udara yang dialirkan dari pipa tidak memenuhi kebutuhan udara di *front* penambangan.

Kebutuhan udara di *Front* kerja

Menurut Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185.K/37,04/DJB/2019, kebutuhan udara tambang bawah tanah adalah 2 m³/menit untuk manusia dan 3 m³/menit untuk alat. Selain itu, menurut Keputusan Menteri ESDM Nomor

1827K/K/30/MEM/2018, kapasitas angin utama memiliki kapasitas untuk mengalirkan udara ke seluruh area tambang bawah tanah sesuai dengan kebutuhan udara maksimum ditambah dengan 15%. Kebutuhan udara untuk pekerja yang direkomendasikan pada lubang tambang bawah tanah dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kebutuhan udara untuk pekerja

No,	Lokasi	Jumlah Pekerja	Q (M ³ / Menit)	Kebutuhan udara
1	Lubang Masuk	1		2
2	Adit 1	-		2
3	Adit 2	1		2
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	-		2
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	-		2
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	-		2
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	2		4
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	-	2	2
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	-		2
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	-		2
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	2		4
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	-		2
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	-		2
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	-		2
15	<i>Front</i>	6		12

Nilai minimal yang harus dialirkan ke dalam tambang bawah tanah ditunjukkan oleh data kebutuhan udara di tabel 8, Kebutuhan udara pekerja berbeda di setiap tempat karena jumlah pekerja yang berbeda. Di lokasi penambangan *front*, kebutuhan udara sangat tinggi karena dibutuhkan lebih banyak pekerja untuk proses penambangan. Kebutuhan udara untuk alat yang direkomendasikan pada lubang tambang bawah tanah dapat dilihat pada Tabel 9. Dari data dilapangan, alat yang digunakan merupakan 2 buah *jack hammer*, memiliki *horse power* 2,3468, maka dari itu, kebutuhan udara yang dibutuhkan untuk alat *jack hammer* ialah 14,08 m³/menit.

Tabel 9. Kebutuhan udara untuk alat

No,	Lokasi	Jumlah Alat	Daya Alat (HP)	Q (M ³ / Menit)	Kebutuhan udara
1	Lubang Masuk	-			
2	Adit 1	-			
3	Adit 2	-			
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	-			
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	-			
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	-			
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	-			
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	-			
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	-			
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	-			
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	-			
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	-			
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	-			
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	-			
15	<i>Front</i>	2	2,3468	3	14,08

Selain menentukan kebutuhan udara untuk alat dan pekerja, perlu diperhatikan bahwa ada kebutuhan udara untuk mendilusi debu di *front* tambang bawah tanah. Kedalaman

penambangan WPR Bojong Deet adalah 733,9–640,1, dan produksi yang dihasilkan di lubang tambang adalah 0,3 ton per jam. Tabel 10 menunjukkan jumlah udara yang disarankan untuk mendilusi debu di lubang tambang bawah tanah. Karena debu yang dihasilkan dari aktivitas penambangan dapat mengganggu pekerjaan dan kesehatan karyawan, debu di *front* penambangan harus dilusikan dengan kuantitas udara 0,425 m³/menit.

Tabel 10. Kebutuhan udara untuk mendilusi debu

Debu dari Penambangan	Produksi	P	Ed	Cd	Referensi	Debit Kebutuhan Udara	
						ton/ hari	ton/ jam
<i>Development Front</i>	2,4	0,3	255,3	3	Mc Pherson (2012)		

Rekomendasi Sistem Jaringan Ventilasi

Dengan mempertimbangkan kondisi tambang bawah tanah yang sangat terbatas, perencanaan sistem ventilasi harus disesuaikan dengan perencanaan kemajuan tambang yang dilakukan pada WPR Bojong Deet. Target produksi per hari yang telah ditetapkan adalah 2,4 ton per hari dengan metode konvensional. Perhitungan kecepatan udara yang dialirkan dan kebutuhan udara untuk *front* penambangan keduanya dimasukkan dalam analisis perencanaan sistem ventilasi. Tabel 11 menunjukkan kebutuhan udara minimal yang harus dialirkan pada tambang bawah tanah. Hal ini harus mempertimbangkan kebutuhan udara untuk pekerja, alat yang beroperasi, dan mendilusi debu.

Tabel 11. Kebutuhan udara pada tambang bawah tanah

No	Deskripsi	Jumlah	Jumlah kebutuhan udara (m ³ /min)
1	Pekerja	12	24,0
2	Alat	2	14,1
3	Dilusi debu	-	0,4
Total kebutuhan udara			38,5
15% dari kebutuhan udara total			5,8
Total kebutuhan udara + 15%			44,3

Hasil Tabel di atas menunjukkan bahwa alat yang bekerja pada lokasi penambangan membutuhkan 14,1 m³/menit untuk udara, pekerja 24 m³/menit, dan debu untuk mendilusi di *front* penambangan 0,4 m³/menit. Keputusan Menteri ESDM No. 1827K/30/MEM/2018 menetapkan bahwa kipas utama harus mampu mengaliri 44 meter³/menit untuk memenuhi kebutuhan udara tambang bawah tanah. Ini berarti bahwa kipas utama harus dapat mengalirkan udara ke seluruh area tambang bawah tanah sesuai dengan kebutuhan udara maksimum ditambah dengan 15%. Dari hasil analisis kebutuhan udara di *front* penambangan, dimensi lubang bukaan yang direkomendasikan adalah 2 meter lebar dan 2,5 meter tinggi dari lubang bukaan tambang, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12. Hasil analisis sistem ventilasi tambang bawah tanah juga menunjukkan bahwa salah satu masalah utama dengan sistem ventilasi ini adalah kipas yang tidak ideal digunakan.

Tabel 12. Rekomendasi dimensi terowongan

No	Lokasi	Lebar (M)	Tinggi (M)	Luas (M ²)
1	Lubang Masuk	2	2,5	5



2	Adit 1	2	2,5	5
3	Adit 2	2	2,5	5
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	2	2,5	5
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	2	2,5	5
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	2	2,5	5
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	2	2,5	5
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	2	2,5	5
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	2	2,5	5
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	2	2,5	5
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	2	2,5	5
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	2	2,5	5
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	2	2,5	5
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	2	2,5	5
15	<i>Front</i>	2	2,5	5

Hal yang belum diperhatikan pada kondisi *existing* yaitu jumlah pekerja yang bekerja, alat yang bekerja selama penambangan, dan jumlah udara yang dibutuhkan untuk mendilusi debu. Menurut perhitungan kebutuhan udara yang ditunjukkan pada Tabel 11. kipas yang digunakan harus dapat mengalirkan udara setidaknya 44,0 meter/menit. Kipas centrifugal 220V DE190 yang direkomendasikan memiliki kapasitas aliran udara 54,1 meter/menit dengan ukuran pipa 0,15 meter, dan dimensi *duct* yang direkomendasikan ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekomendasi dimensi *duct*

No	Lokasi	phi	Jari - jari (M)	Luas (M ²)
1	Lubang Masuk	3,14	0,077	0,0186
2	Adit 1	3,14	0,077	0,0186
3	Adit 2	3,14	0,077	0,0186
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	3,14	0,077	0,0186
5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	3,14	0,077	0,0186
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	3,14	0,077	0,0186
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	3,14	0,077	0,0186
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	3,14	0,077	0,0186
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	3,14	0,077	0,0186
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	3,14	0,077	0,0186
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	3,14	0,077	0,0186
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	3,14	0,077	0,0186
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	3,14	0,077	0,0186
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	3,14	0,077	0,0186
15	<i>Front</i>	3,14	0,077	0,0186

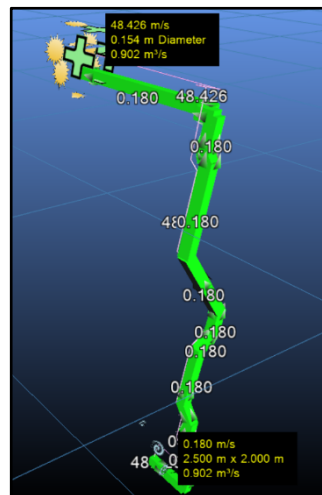
Tabel 14 menunjukkan data kuantitas udara pada lubang tambang bawah tanah dengan dimensi yang disarankan dan jenis kipas yang disarankan, yang diperoleh dari simulasi *software* pemodelan yang telah dilakukan.

Tabel 3. Rekomendasi kuantitas udara pada tambang bawah tanah

No	Lokasi	<i>Duct</i>			Terowongan			NAB
		Luas	V (M/ Menit)	Q (M3/ Menit)	Luas	V (M/ Menit)	Q (M3/ Menit)	Q (M3/ Menit)
1	Lubang Masuk	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
2	Adit 1	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
3	Adit 2	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
4	Vertikal <i>Shaft</i> 1	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2

5	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 1	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
6	Vertikal <i>Shaft</i> 2	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
7	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 2	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	4
8	Vertikal <i>Shaft</i> 3	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
9	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 3	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
10	Vertikal <i>Shaft</i> 4	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
11	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 4	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	4
12	Vertikal <i>Shaft</i> 5	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
13	Vertikal <i>Shaft</i> 50 derajat 5	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
14	Vertikal <i>Shaft</i> 6	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	2
15	<i>Front</i>	0,018	2905,5	54	5	10,8	54	26,5

Hasil simulasi *software* pemodelan yang dilakukan menggunakan desain yang direkomendasikan sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM No. 1827K/30/MEM/2018 dan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 185K/37. 04/DJB/2019 untuk data kecepatan udara memenuhi ambang batas. Selain itu, hasil rekomendasi sistem ventilasi tambang bawah tanah ditunjukkan pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa jumlah udara yang ada di dalam terowongan telah memenuhi ambang batas yang telah diperhitungkan untuk kebutuhan udara pada lubang bukaan tambang bawah tanah.



Gambar 2. Rekomendasi sistem ventilasi tambang bawah tanah

KESIMPULAN

Kondisi sistem ventilasi tambang bawah tanah *existing* tidak sesuai dengan peraturan yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827K/K/30/MEM/2018 dan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Nomor 185K/37.04/DJB/2019. Dalam kondisi *existing* dimensi lubang bukaan adalah 0,7 meter lebar dan 1,7 meter tinggi. Lubang bukaan harus memiliki minimal lebar 2 meter dan tinggi 2,5 meter. Kualitas udara di lubang tambang bawah tanah buruk. Kecepatan udara di lokasi penambangan sesuai dengan nilai ambang 7 meter/menit, tetapi dalam *existing* hanya 7,68 hingga 9,66 meter/menit. Kecepatan udara yang

masuk ke depan penambangan mempengaruhi kuantitas udara yang masuk ke depan penambangan. karena kuantitas udara di *front* penambangan hanya 9,216 meter/menit. yang tidak memenuhi nilai NA. Selain itu. hasil pemeriksaan kualitas udara menunjukkan bahwa suhu lubang bukaan tambang bawah tanah lebih tinggi dari NAB. yaitu 18°C hingga 27°C (di beberapa tempat sampai 28°C hingga 30°C). yang dipengaruhi oleh kedalaman proses penambangan. Untuk data kelembapan relatif pada *existing*. berkisar antara 85,1% dan 91,6%. NAB kelembapan relatif seharusnya tidak lebih dari 85%. Ini karena kandungan air pada udara meningkat sebagai akibat dari sistem penyaliran tambang bawah tanah yang buruk. Hasil simulasi yang dilakukan pada *software* sistem ventilasi tambang bawah tanah untuk kondisi *existing* ini menunjukkan bahwa rekomendasi yang diberikan adalah lubang bukaan 2,5 meter dan tinggi 3 meter. Dengan mempertimbangkan kenyamanan dan keamanan pekerja selama aktivitas penambangan. kipas yang direkomendasikan adalah kipas centrifugal 220V DE190 dengan kapasitas aliran udara 54,1 m³/menit dengan ukuran pipa 0,154 meter dan kecepatan udara 7,2 meter/menit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada pertambangan emas skala kecil daerah bojong deet sukabumi atas segala bantuannya baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- Asmunandar, A. B. H. (2018). *Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi Pada Lubang Tambang BMK-35 CV. Bara Mitra Kencana. Tanah Kuning. Desa Batu Tanjung. Kota Sawahlunto*. Jurnal Bina Tambang. 1133-1142.
- Anshar, (2023). *Geology and ore mineralization of Kertajaya area. Simpenan sub-district. Sukabumi. West Java*. Indonesia. AIP Conference Proceedings.
- Arifa, F. (2018). *Analisis Perancangan Sistem Ventilasi Lubang Tambang C1 Batubara Bawah Tanah Pt. Nusa Alam Lestari Sawahlunto Sumatera Barat*. Padang: Sekolah Tinggi Teknologi Industri (Sttind) Padang.
- Bafnis, A. F. (2014). *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (SAWAHLUWUNG) PT Bukit Asam _ UPO*. Padang: Universitas Negeri Padang .
- BPS. (2023). *Kecamatan Simpenan Dalam Angka 2023*. Kabupaten Sukabumi: Bps Kabupaten Sukabumi.
- Hartman, H. L. (1997). *Mine Ventilation And Air Conditioning*. Canada: A Wiley-Interscience Publication.
- Kanam, O. H. (2021). *A review on underground mine ventilation system*. Journal of Mines. Metals & Fuels. 62 - 70.
- Kemeneterian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). *Keputusan Direktur Jenderal Mineral Dan Batubara Nomor 185.K/37.04/Djb/2019*. Jakarta: Esdm.
- Kemeneterian Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. (2018). *Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/Mem/2018*. Jakarta: Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Larasati, B. (2020). *Evaluasi Kebutuhan Udara Front Kerja di Blok Cikoneng. PT Cibaliung Sumberdaya Menggunakan Perangkat Lunak Ventsim 5.2*. Indonesian Mining and Energy Journal. 23 - 27.
- McPherson, M. J. (2009). *Subsurface Ventilation Engineering*.
- Pusat Riset Teknologi Pertambangan . (2023). *Laporan Akhir Kegiatan Riset Pemodelan dan Deliniasi Zona mineralisasi emas di Bawah Permukaan pada Pertambangan Emas*



Skala Kecil menggunakan metoda Resistivity dan Induced Polarization. Serpong: Rumah Program Nanoteknologi dan Material Maju. Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material. BRIN.

- Razak, S., Simangunsong, G. M., & Karian, T. (2024). *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Akibat Peledakan Deep Mill Level Zone (DMLZ) PT Freeport Indonesia.* Jurnal Geomine. 12(1). 26-42.
- Razak, S., Kusumaningsih, D. A., & Haryono, A. F. (2023). *Studi Pemodelan Empirik Peak Particel Velocity (PPV) Tambang Bawah Tanah PT Freeport Indonesia.* Jurnal Geomine. 11(2). 121-133.
- Saputra, A. D. (2019). *Analisis Kinerja Kipas Utama Pada Tambang Bawah Tanah Toguraci Di Pt Nusa Halmahera Minerals. Maluku Utara.* Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Steward, C. (2018). *User Guide Ventsim Design.* Ventsim Software.
- Sukamto. (2006). *Peta Geologi Lembar Jampang dan Balekembang. Jawa. Bandung:* Pusat Survey Geologi .
- Tripti Maurya, K. K. (2015). *Effect of Heat on Underground Mine Workers.* Procedia Earth and Planetary Science 11. 491 - 498.
- Yulianti, R., Widodo, N. P., & Gautama, R. S. (2021). *Kondisi resirkulasi udara terhadap penurunan sumber panas di dalam tambang bawah tanah.* J. Geomine. 8. 228.