

Analisis Kebutuhan Kualitas dan Kuantitas Udara Menggunakan Software Ventsim dan Kazemaru pada Tambang Bawah Tanah PT. Dempo Maju Cemerlang, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat

Febri Yanda Praja Saddika^{1*}, Bambang Heriyadi²

¹Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang

*febriyanda1999@gmail.com

Abstract. Mine engineers can use simulation software such as VentSim and Kazemaru to optimize airflow within the mine and create effective ventilation systems. Comparative analysis between the two software can provide important information about the strengths and weaknesses of each software when optimizing their underground mine ventilation systems. Reliability, computing speed, ease of use, modeling capabilities, accuracy of simulation results, and technical support are some of the factors one might look at in a comparison between VentSim and Kazemaru. In addition, this analysis may include comparison of features, user interface, ease of use, accuracy of simulation results, and time required to perform simulations. Analysis of the data used is quantitative, based on the theory of calculation. The result is quantitative. The focus of the research is the ventilation system used in the PT Dempo Maju Cemerlang mine pit. Mine pit PT. Dempo Maju Cemerlang requires 28.99 m³/s of total air, but based on the conditions at the time the measurements were made, the required amount of air has not been met. The results of calculating the air quantity of the ventilation system used in PT. Dempo Maju Cemerlang is only 24.97 m³/s. Every mining pit of PT. Dempo Maju Cemerlang has a temperature of 22.5–24.1 °C. Air humidity ranges between 88% and 93%. In the simulations performed with ventsim and kazemaru software, Ventsim excels in several features, including dust distribution, visualization and graphing, ventilation efficiency analysis, financial simulations, and an attractive user interface.

Keywords: Air Demand, Software, Ventilation System

1. Pendahuluan

Sistem ventilasi sangat penting untuk kegiatan penambangan bawah tanah karena, berbeda dengan tambang terbuka, tambang bawah tanah memiliki ketersediaan udara yang sangat terbatas. Selain itu, ada debu yang dihasilkan oleh aktivitas penambangan, sehingga sistem ventilasi sangat penting untuk kegiatan penambangan bawah tanah.

Sistem ventilasi yang efektif dalam tambang bawah tanah sangat penting untuk menjaga keamanan dan kesehatan para pekerja. Perangkat lunak simulasi seperti VentSim dan Kazemaru dapat membantu insinyur tambang dalam merancang sistem ventilasi yang efisien dan mengoptimalkan aliran udara di dalam tambang.

VentSim adalah perangkat lunak simulasi ventilasi tambang yang telah terbukti digunakan secara luas di industri pertambangan. Dengan VentSim, pengguna

dapat memodelkan sistem ventilasi tambang secara rinci, termasuk perancangan jaringan jalur udara, perhitungan tekanan dan kecepatan aliran udara, serta analisis distribusi gas dan debu dalam tambang. Perangkat lunak ini juga dilengkapi dengan fitur visualisasi yang membantu pengguna memahami dan menganalisis hasil simulasi.

Sementara itu, Kazemaru adalah perangkat lunak simulasi aliran udara yang juga digunakan dalam industri pertambangan. Kazemaru memiliki kemampuan untuk memodelkan sistem ventilasi tambang dengan berbagai parameter, seperti kecepatan udara, tekanan, suhu, dan kelembaban. Perangkat lunak ini juga dapat melakukan analisis kualitas udara dalam tambang, termasuk penyebaran partikel debu dan gas.

Dalam konteks PT. Dempo Maju Cemerlang, analisis perbandingan antara VentSim dan Kazemaru dapat memberikan informasi penting tentang keunggulan dan

keterbatasan masing-masing perangkat lunak dalam mengoptimalkan sistem ventilasi tambang bawah tanah mereka. Analisis ini dapat melibatkan perbandingan fitur, antarmuka pengguna, kemudahan penggunaan, keakuratan hasil simulasi, dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi. Hasil analisis ini dapat membantu PT. Dempo Maju Cemerlang dalam memilih perangkat lunak yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka dalam merancang dan memantau sistem ventilasi tambang bawah tanah mereka.

Salah satu perusahaan tambang emas bawah tanah yang menerapkan teknologi *shrinkage stoping* adalah PT. Dempo Maju Cemerlang. *Shrinkage stoping* merupakan penambangan dengan cara membuat level-level. Di dalam level-level tersebut dibuat stope (lumbung), (Anggara, 2017). Dalam proses pengambilan bijih, bijih tersebut dihancurkan secara langsung dan dibiarkan berkumpul di lombong. Penambangan dilakukan dengan potongan horizontal dimulai dari bawah menuju ke atas melalui *manway*. *Manways* dibuat di dekat pilar vertikal yang memisahkan *stope* yang berdekatan.

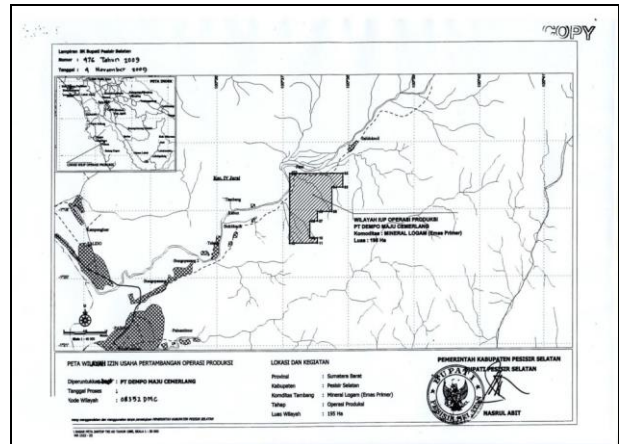
Tambang Salido yang ditemukan oleh orang-orang Belanda pada tahun 1669 merupakan tambang tua yang disebut PT. Dempo Maju Cemerlang. Pada tambang bawah tanah PT. Dempo Maju Cemerlang terdapat 8 lubang, dengan penamaan lubang dimulai dari lubang Level 1 sampai lubang Level 8. Sedangkan untuk lubang yang aktif beroperasi yaitu pada lubang Level 6 dan Level 7.

Untuk melanjutkan analisis perbandingan antara VentSim dan Kazemaru, Faktor-faktor yang mungkin diperhatikan dalam perbandingan meliputi keandalan, kecepatan komputasi, kemudahan penggunaan, kemampuan pemodelan, keakuratan hasil simulasi, dan dukungan teknis. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang perbedaan dan keunggulan masing-masing perangkat lunak dalam konteks tambang bawah tanah. Hasil penelitian ini dapat membantu manajemen tambang dalam pengambilan keputusan terkait sistem ventilasi yang optimal dan meningkatkan keselamatan serta kesehatan pekerja tambang. Sehingga berdasarkan pada kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kebutuhan Kualitas dan Kuantitas Udara Menggunakan Software Ventsim dan Kazemaru pada Tambang Bawah Tanah PT. Dempo Maju Cemerlang, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat.”

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi IUP Perusahaan

Secara administratif, PT. Operasi produksi emas Dempo Maju Cemerlang terletak di Nagari Minang, Kecamatan IV Kecamatan Jurai Pesisir Selatan. Kegiatan operasional produksi dapat ditempuh dari Painan, ibu kota Kabupaten Pesisir Selatan, di lokasi Simpang Salido Kecil, seperti terlihat pada gambar berikut.

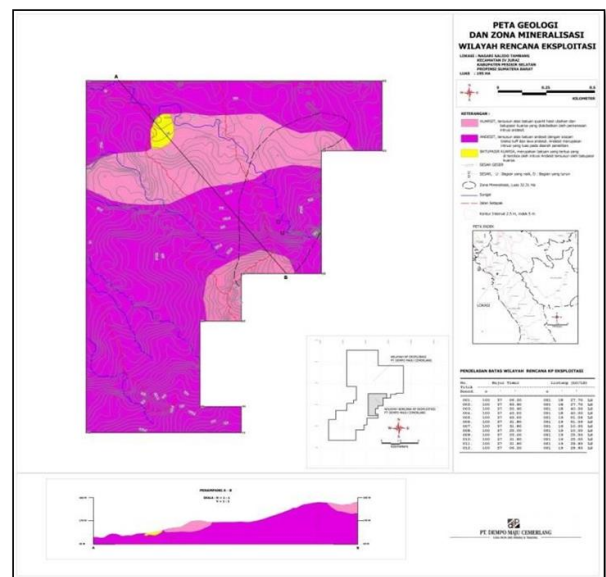


Gambar 1. Peta Wilayah IUP PT. Dempo Maju Cemerlang

2.2 Keadaan Geologi

Secara umum geologi wilayah tersebut merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara 10 hingga 800 meter di atas permukaan laut yang memanjang dari arah timur laut hingga barat daya.

Berdasarkan kerangka tektonik dari cekungan-cekungan sedimen Tersier Indonesia. Cekungan ini terbentuk di sepanjang batas lempeng tumbukan dekat zona subduksi, biasanya antara pulau-pulau di busur nonvulkanik bagian luar dan busur vulkanik bagian dalam, tempat terbentuknya batuan sedimen dan bercirikan serpih, napal, dan batugamping dengan sisipan batuan vulkanik. Satuan batuan pada daerah penelitian meliputi lava andesit, kuarsit, dan batupasir kuarsa.



Gambar 2. Peta Geologi PT. Dempo Maju Cemerlang

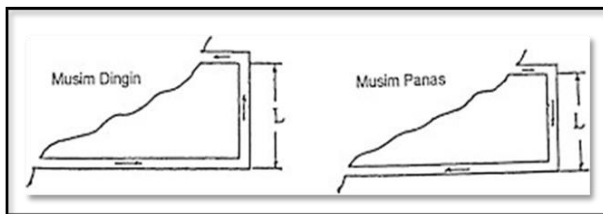
2.3 Sistem Ventilasi

Tambang bawah tanah mempunyai dua jenis sistem ventilasi yaitu ventilasi alami dan ventilasi mekanis, berikut penjelasannya.

Ventilasi alami adalah aliran udara yang terjadi secara alami sebagai akibat dari variasi suhu atau berat kandungan udara pada dua titik yang terhubung. seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.

Karakteristik ventilasi alami, terdiri dari yaitu:

- a. Ventilasi alami tergantung pada perbedaan ketinggian permukaan, tempat kerja, serta perbedaan suhu udara.
- b. Kekuatan ventilasi alami ditentukan oleh kedalaman, intensitas panas batuan dan perbedaan ketinggian dari lubang bukaan.
- c. Pada iklim dingin ventilasi alami lebih kuat.
- d. Arah aliran udara tidak konstan terutama pada tambang dangkal <1500 ft (450 m).
- e. Jika terjadi perubahan temperatur udara yang awalnya kecil dari dalam tambang dan menjadi besar dari dalam tambang arah aliran udara akan berbelok.



Gambar 3. Skema kerja Sistem Ventilasi Mekanis

Ventilasi mekanis (*mechanical ventilation*) adalah jenis ventilasi yang menggunakan alat mekanis untuk menciptakan perbedaan tekanan agar udara dapat mengalir. Kipas angin merupakan suatu alat mekanis yang mengatur sirkulasi udara pada suatu tambang sehingga kebutuhan udara dapat terpenuhi. Sistem ventilasi kipas mekanis bergantung pada lokasi kipas berada. Ada tiga sistem ventilasi kipas mekanis:

- a. Sistem Hembus
- b. Sistem Hisap
- c. Sistem Hembus-Hisap

2.4 Pengendalian Kualitas Udara

2.4.1 Kebutuhan Udara Segar

Jumlah udara yang dihirup dan dihembuskan per satuan waktu per menit disebut kecepatan pernapasan per menit. Dalam kasus orang yang bekerja keras, jumlah hasil bagi pernapasan ini sama dengan satu, yang berarti bahwa jumlah CO₂ yang dilepaskan sama dengan jumlah oksigen yang dihembuskan. (Balai Diklat TBT, 2002). Berdasarkan jenis kegiatannya, kebutuhan udara segar pada manusia dibedakan atas:

- a. Dalam keadaan istirahat.
- b. Dalam kegiatan kerja moderat, misalnya kerja kantor.
- c. Dalam kegiatan kerja keras, misalnya olahraga atau kerja tambang.

Tabel 1. Kebutuhan Oksigen Berdasarkan Jenis Kegiatan

Kegiatan Kerja	Laju Perna-fasan Per Menit	Udara Terhirup Per Menit dalam in ³ /menit (10 ⁻⁴ m ³ /detik)	Oksigen Terkonsumsi cfm (10 ⁻³ m ³ /detik)	Angka bagi Perna-fasan (respiratory 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

2.4.2 Kandungan Gas Udara

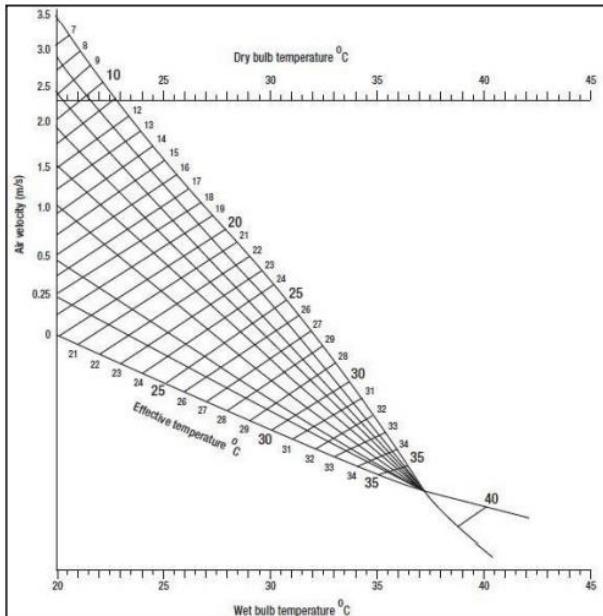
Kurangnya oksigen pada udara yang digunakan untuk bernafas mempengaruhi keadaan fisiologis seseorang, seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Pengaruh Kekurangan Oksigen

Kandungan O ₂ di Udara	Pengaruh
17%	Laju pernafasan meningkat (ekivalen dengan 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 kesehatan
6%	Kejang-kejang dan kematian

2.4.3 Temperatur Efektif

Pengaturan suhu dan kelembaban pada area kerja merupakan fungsi ventilasi pada tambang bawah tanah untuk menciptakan lingkungan kerja yang nyaman. Panas yang berlebihan dapat menyebabkan rotasi dan kecelakaan kerja, sehingga penting untuk mengetahui suhu efektif tambang. Dengan demikian, seseorang dapat memutuskan tindakan atau pengobatan apa yang harus diterapkan pada lubang tersebut. Cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai suhu sebenarnya adalah dengan menggunakan grafik pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Temperatur Efektif

2.4.4 Kelembapan Udara

Pada tambang bawah tanah, udaranya tidak selalu berupa udara kering namun juga terdapat uap air yang nantinya akan mempengaruhi kelembapan di dalam lubang. Ketika udara luar lebih dingin dari udara tambang (di musim dingin), udara masuk dengan cepat dipanaskan hingga mencapai suhu tambang. Jadi saat musim dingin pengaruh arus ventilasi membuat tambang menjadi kering dan kelembapannya relatif rendah. Namun hal sebaliknya terjadi bila pada kondisi musim panas pengaruh aliran ventilasi pelembab dan kelembapan relatif menjadi tinggi.

2.5 Pengendalian Kuantitas Udara

Udara mengalir dengan kecepatan tertentu, misalnya V m/det dan penampang tabung alir ber penampang A , maka yang dimaksud dengan debit fluida adalah volume fluida yang mengalir persatuan waktu melalui suatu pipa dengan luas dan kecepatan tertentu.

$$Q = V \times A$$

Keterangan

Q = Kuantitas udara / Debit (m^3/s)

V = Kecepatan Aliran Udara (m/s)

A = Luas Penampang (m^2)

Untuk mengantisipasi panas yang berlebihan maka diatur bahwa kuantitas udara untuk mengontrol panas dan kelembapan adalah $0,33$ m/s dikalikan dengan luas terowongan/ lubang

$$Qt = 0.33 \text{ m/s} \times A$$

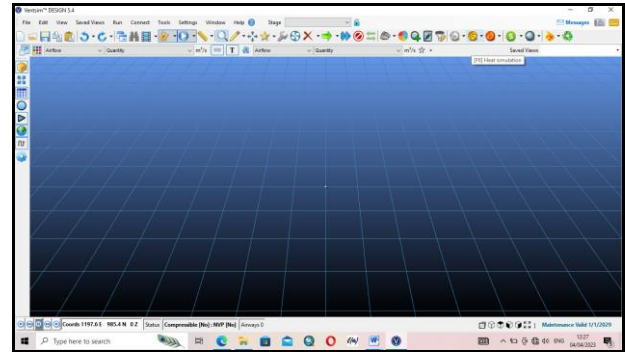
Keterangan:

Qt = Jumlah udara untuk mengontrol panas dan kelembapan

A = Luas lubang tambang

2.6 Program Ventsim

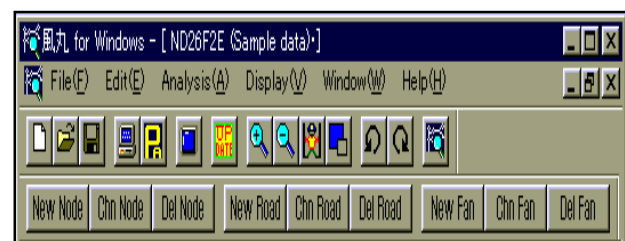
Ventsim beroperasi dalam lingkungan grafis yang penuh dengan tiga dimensi, atau 3D. Window utama ventsim memiliki semua fungsi yang diperlukan untuk membuat, mengubah, melihat, dan memvisualisasikan model udara. Gambar berikut menunjukkan tampilan interface ventsim.



Gambar 5. Tampilan Interface Ventsim

2.7 Program Kazemaru

Software Kazemaru ini memudahkan pengguna untuk mengetahui bentuk 3D tambang bawah tanah menggunakan K-View (3 dimensi yaitu X, Y dan Z). Selain hambatan udara, sistem juga dapat memperhitungkan kurva karakteristik kipas bertekanan yang berventilasi alami, saluran volume udara tetap, dan seperti saluran masuk, sistem juga dapat memperhitungkan hambatan udara yang bervariasi tergantung pada arah ventilasi. Dimungkinkan untuk melakukan analisis jaringan ventilasi jika terjadi kebakaran. Adapun tools yang terdapat pada software Kazemaru seperti pada gambar dibawah adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Tools pada Software Kazemaru

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian terapan. Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif. Adapun yang menjadi objek penelitian adalah software simulasi system ventilasi pada tambang bawah tanah. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan studi literatur. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer penelitian ini berupa hasil

pengamatan langsung di lapangan, yaitu kandungan gas dalam tambang, temperatur dan kelembapan udara, kecepatan udara, dan luas penampang terowongan dan duct. Sedangkan data sekunder pada penelitian ini, yaitu spesifikasi fan/blower, layout kemajuan lubang tambang, dan jumlah pekerja.

3.1 Teknik Pengolahan data

Teknik pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut. 1) melakukan perhitungan matematis dari data yang telah didapatkan, 2) menganalisis kualitas dan kuantitas udara pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang, 3) menganalisis kelayakan system ventilasi, dan 4) merancang desain sistem ventilasi menggunakan software.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Sebelum melakukan perhitungan terhadap rancangan sistem ventilasi, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder yang bersumber dari pengamatan langsung di lapangan dan arsip perusahaan, adapun data-data tersebut berupa:

4.1.1 Pengukuran Temperatur Dan Kelembapan

Adapun hasil pengukuran temperatur dan kelembapan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Temperatur dan Kelembapan Udara

No	Lokasi Pengukuran	TD (°C)	TW (°C)	Rh (%)
1	Portal Tunnel L7	27.3	26.3	93
2	MHL L7	27.3	26.3	92
3	Kantin	26.2	25	88
4	Workshop	26.2	25.4	90
5	SOD L7	25.9	25.8	91
6	NOD L7	25.9	25.8	91
7	Portal Tunnel L6	26	26	90
8	SOD X_Cut 1 L6	26.2	25	89
9	SOD X_Cut 2 L6	26.2	25	89

Keterangan

TD = Dry Temperature/Temperatur udara kering (°C)

TW = Wet Temperature/Temperatur udara basah (°C)

Rh = Kelembapan relative lubang (%)

NAB = ≤ 85 % (kelembapan relatif)

4.1.2 Pengukuran Kecepatan Udara

Adapun hasil pengukuran kecepatan udara dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara

lokasi pengukuran	front penambangan (m/s)	ujung Duct (m/s)

Portal Tunnel L7	0.8	5
MHL L7	0.7	2.4
Kantin	0.6	2.4
Workshop	0.5	2.9
Sod L7	0.6	4.2
Nod L7	0.6	4.2
Portal Tunnel L6	0.46	-
Sod X_Cut 1 L6	0,45	-
Sod X_Cut 2 L6	0.44	-

4.1.3 Pengukuran Dimensi Lubang dan Kandungan Gas

Tabel 5. Hasil Pengukuran Dimensi Lubang dan Kandungan Gas

No	Lokasi pengukuran	Dimensi		Pengukuran gas		
		Lebar	Tinggi	O ₂	CO	H ₂ S
1	Portal tunnel L7	2.2	2.4	20.8	0	0
2	MHL L7	2.2	2.4	20.8	0	0
3	Kantin	2.2	2.4	20.8	0	0
4	Workshop	2.6	2.8	20.8	0	0
5	Sod L7	2.2	2.4	20.8	0	0
6	Nod L7	2.3	2.4	20.8	0	0
7	Portal tunnel l6	2.3	2.4	20.8	0	0
8	Sod X_Cut 1 L6	2.3	2.4	20.8	0	0
9	Sod X_Cut 2 L6	2.3	2.4	20.8	0	0

Keterangan:

NAB CO = < 0.001 %

NAB H₂S = < 0.005 %

NAB O₂ = > 19.5 %

4.1.4 Spesifikasi Fan/Blower

Pada Lubang PT. Dempo Maju Cemerlang, digunakan blower utama dengan rincian spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 6. Spesifikasi Blower Utama

Airflow	390 m ³ /min
Air Preassure	5.300 Pa
Working Temperatur	≤ 80 ⁰ C
Rotation Speed	2.900 Rpm
Motor Model	380 Volt / 50 Hz

4.1.5 Jumlah Pekerja

Berikut adalah tabel jumlah pekerja pada PT. Dempo Maju Cemerlang

Tabel 7. Jumlah Pekerja Lubang Tambang

No	Jabatan	Jumlah (orang)
1	Miners	7
2	Karyawan lokal	7
3	Ketua teknik tambang bawah tanah	1

4	Geologist	3
5	Survey	2
Total		20

4.1.6 Peralatan Penunjang Tambang

Alat penunjang penambangan merupakan alat yang membantu dalam proses pengambilan bijih emas PT Dempo Maju Cemerlang meliputi: Pompa Air, *Jackleg Drill*, *Rocker Shovel Loader*, dan *Locomotif* sebagai alat angkut.

4.1.7 Perhitungan Luas Terowongan dan Duct

Terowongan pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang umumnya berbentuk persegi panjang dan setengah lingkaran, sehingga hasil luas penampang terowongan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil Luas Terowongan

No	Lokasi pengukuran	Luas persegi panjang			Luas setengah lingkaran			Luas total (m ²)
		P	L	P×L	π	R	$L = \frac{1}{2} \pi r^2$	
1	Portal Tunnel L7	2.2	1.3	2.86	3.14	1.1	1.90	4.76
2	MHL L7	2.2	1.3	2.86	3.14	1.1	1.90	4.76
3	Kantin	2.2	1.3	2.86	3.14	1.1	1.90	4.76
4	Workshop	2.6	1.5	3.9	3.14	1.3	2.65	6.55
5	SOD L7	2.2	1.3	2.86	3.14	1.1	1.90	4.76
6	NOD L7	2.3	1.25	2.88	3.14	1.15	2.08	4.95
7	Portal Tunnel L6	2.3	1.25	2.88	3.14	1.15	2.08	4.95
8	SOD L6 X_CUT 1	2.3	1.25	2.88	3.14	1.15	2.08	4.95
9	SOD L6 X_CUT 2	2.3	1.25	2.88	3.14	1.15	2.08	4.95

Tabel 9. Hasil luas penampang Duct

NO	Lokasi pengukuran	Jari-jari Duct	konstanta	Luas (m ²)
		r (meter)	π	$A = \pi r^2$
1	Portal Tunnel l7	0.26	3.14	0.21
2	MHL L7	0.26	3.14	0.21
3	Kantin	0.26	3.14	0.21
4	Workshop	0.26	3.14	0.21
5	SOD L7	0.26	3.14	0.21
6	NOD L7	0.26	3.14	0.21

4.1.8 Menghitung Kuantitas Udara

Kuantitas atau jumlah udara yang mengalir di setiap front penambangan lubang tambang PT. Dempo

Maju Cemerlang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q = V \times A$$

Berikut ini merupakan hasil penghitungan kuantitas udara pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 10. Hasil Penghitungan Kuantitas Udara Lubang Tambang

Lokasi	Luas Tunnel	Luas Duct	Selisih luas	Kecepatan udara	Kuantitas udara Q (m ³ /s)
	At (m ²)	Ad (m ²)	As=At-Ad (m ²)	V (m/s)	Q=As×V
Portal Tunnel L7	4.76	0.21	4.55	0.8	3.64
MHL L7	4.76	0.21	4.55	0.7	3.18
Kantin	4.76	0.21	4.55	0.6	2.73
Workshop	6.55	0.21	6.34	0.5	3.17
SOD L7	4.76	0.21	4.55	0.6	2.73
NOD L7	4.95	0.21	4.74	0.6	2.84
Portal Tunnel L6	4.95	-	4.95	0.46	2.28
SOD X Cut 1 L6	4.95	-	4.95	0,45	2.23
SOD X Cut 2 L6	4.95	-	4.95	0.44	2.18

4.1.9 Kebutuhan Udara untuk Operasional Tambang

Berikut ini merupakan kebutuhan udara untuk operasional penambangan.

Tabel 11. Kebutuhan Udara Total Lubang Tambang

Lokasi Penambangan	Pemafasan (m ³ /s)	Mengontrol Panas & Kelembapan (m ³ /s)	Alat Operasional (m ³ /s)	Jumlah (m ³ /s)	Ditambah 15%
portal L7	0.03	1.57	-	1.6	1.84
MHL L7	0.06	1.57	-	1.63	1.87
kantin	0.06	1.57	-	1.63	1.87
Workshop	0.09	2.16	1.3	3.55	4.10
SOD	0.09	1.57	2	3.66	4.21
NOD	0.09	1.63	2.3	4.02	4.62
portal L6	0.03	1.63	1.1	2.76	3.17
x_cut 1	0.06	1.63	1.4	3.09	3.55
x_cut 2	0.09	1.63	1.4	3.12	3.59
Jumlah Kebutuhan Udara Lubang Tambang PT. Dempo Maju Cemerlang (m³/s)				25.06	28.82

4.2 Pembahasan

4.2.1 Kuantitas Udara

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa jumlah udara total yang dibutuhkan pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang adalah **28,99** m³/s. Sesuai dengan kondisi ketika dilakukan pengukuran di lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang diketahui bahwa jumlah kebutuhan udara total masih belum terpenuhi. Total hasil perhitungan kuantitas udara system ventilasi yang diterapkan pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang hanya dapat memenuhi kebutuhan udara sebanyak **24,97** m³/s sehingga dapat dinyatakan bahwa system ventilasi yang diterapkan sekarang tidak dapat memenuhi kebutuhan udara pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang.

4.2.2 Kualitas Udara

- a. Kandungan Gas

Setelah dilakukan pengukuran, berpedoman kepada Keputusan Direktur Jendral Mineral dan Batubara Kementrian ESDM Nomor 185 K/37.04/DJB/2019. Kandungan gas di dalam lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang diketahui bahwa konsentrasi sulfida (H₂S), karbon monoksida (CO), oksigen (O₂), dapat dinyatakan aman. Kondisi kosentrasi gas lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 12. Kondisi kosentrasi gas lubang tambang

Gas	Konsentrasi(%)	Diizinkan (%)	Kondisi
Co	0	< 0,005	Aman
H ₂ S	0	<0,001	Aman
O ₂	20,8	>19,5	Aman
CH ₄	0	<0,25	Aman

b. Temperatur Udara

Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa temperatur pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang berkisar antara 22,5°C sampai dengan 24,1°C disetiap percabangan. Berpedoman kepada KEPDIRJEN Mineral dan Batubara ESDM No. 185K/37.04/DJB/2019 temperatur pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang aman karena seharusnya temperatur udara dipertahankan antara 18°C sampai 27°C. Kondisi temperatur efektif lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 13. Kondisi Temperatur Efektif Lubang Tambang

No	Lokasi	Temperatur Efektif °C	Temperatur yang diizinkan (°C)	Kondisi
1	Portal Tunnel L7	23.1	18-27	aman
2	MHL L7	24		
3	Kantin	22.5		
4	Workshop	23.5		
5	SOD L7	23.1		
6	NOD L7	23.1		
7	Portal L6	24.1		
8	L6 X_Cut 1	23.9		
9	L6 X_Cut 2	23.9		

c. Kelembapan Udara

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan disetiap lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang, di ketahui nilai kelembapan udara berkisar 88% sampai dengan 93%. Berpedoman dengan Kepdirjen Mineal dan Batubara ESDM No. 185 K/37.04/DJB/2019 keadaan ini tidak aman, karena seharusnya kelembapan udara tidak boleh melebihi 85%. Kondisi yang tidak aman ini nantinya dapat menjadi sumber panas pada lubang tambang. Dan meningkatkan resiko kecelakaan kerja karena kondisi tidak ideal fisiologis pekerja. Kondisi kelembapan udara dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

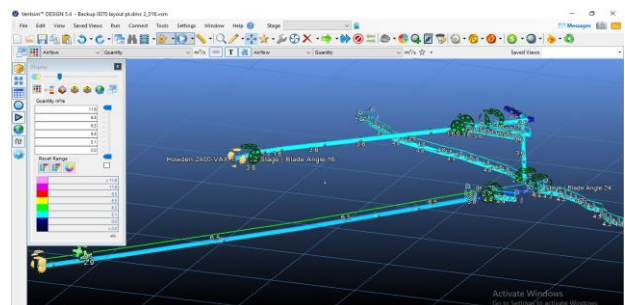
Tabel 14. Kondisi Kelembapan Udara Lubang Tambang

No	Lokasi	Kelembapan Udara (%)	Diizinkan (%)	Kondisi
1	Portal Tunnel L7	93	<85	Tidak Aman
2	MHL L7	92		
3	Kantin	88		
4	Workshop	90		
5	SOD L7	91		
6	NOD L7	91		
7	Portal Tunnel L6	91		
8	SOD X_Cut 1 L6	90		
9	SOD X_Cut 2 L6	89		

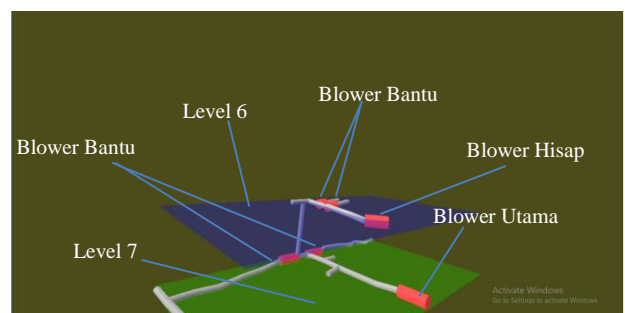
4.2.3 Rancangan sistem ventilasi yang baru

Salah satu tujuan sistem ventilasi adalah untuk mengalirkan udara segar kedalam tambang serta mengatur kelembapan dan temperatur pada lubang tambang. Berdasarkan analisis keadaan aktual dan simulasi ventilasi yang telah dilakukan diketahui bahwa sistem ventilasi masih kurang optimal. Pengoptimalan ventilasi untuk meningkatkan kebutuhan udara dapat dilakukan penerapan sistem ventilasi hisap. Setelah dilakukan beberapa simulasi didapati bahwa penerapan sistem ventilasi ini lebih efektif untuk meningkatkan kuantitas udara dalam tambang.

Ujung lubang Level 6 akan diberi *exhaust fan* dengan *air pressure* 91.7 Pa dengan kuantitas udara 3.6 m³/s untuk menghisap udara kotor yang ada di dalam lubang tambang, dan pada tiap-tiap cabang diberi blower bantu. Pada gambar berikut ini merupakan model rancangan sistem ventilasi yang baru.



Gambar 7. Hasil Rancangan sistem ventilasi yang baru menggunakan *software ventsim*



Gambar 8. Hasil Rancangan sistem ventilasi yang baru menggunakan *software kazemaru*

Dari hasil simulasi ini penempatan blower dibuat lebih merata. Pada lubang PT. Dempo Maju Cemerlang jumlah blower yang digunakan menjadi 6 unit, Berdasarkan hasil rancangan sistem ventilasi yang baru ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan udara pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang dan sesuai dengan standar keselamatan dan kesehatan para pekerja tambang kedepannya. Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan perbandingan hasil kuantitas dan kualitas udara sebelum dan sesudah proses simulasi software ventsim.

Tabel 15. Perbedaan sistem ventilasi lubang tambang sebelum dan sesudah evaluasi

No	Sebelum evaluasi	Sesudah evaluasi
1	Sistem ventilasi yang diterapkan belum menggunakan <i>fan</i> hisap	Sistem ventilasi telah menggunakan <i>fan</i> hisap yang diletakan di lubang Level 6
2	Menggunakan 1 unit <i>blower</i> utama di lubang Level 7	Menggunakan 1 unit <i>blower</i> utama di lubang Level 7 dan 5 unit <i>blower</i> pembantu pada percabangan dan lubang tembusan
3	Total Debit udara yang dibutuhkan lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang sebesar 28.82 m ³ /s	Total debit udara yang dihasilkan menggunakan model rancangan yang baru sebesar 33.8 m ³ /s

Tabel 16. Hasil perbedaan analisis *software* kuantitas udara setelah evaluasi

No	Lokasi	Ventsim	Kazemaru	Kebutuhan udara (m ³ /s)	Kuantitas udara Q (m ³ /s)
1	Portal Tunnel L7	2.9	6.5	1.84	3.64
2	MHL L7	2.9	6.5	1.87	3.18
3	Kantin	3.8	3.8	1.87	2.73
4	Workshop	4.4	4.4	4.10	3.17
5	SOD L7	4.3	4.3	4.21	2.73
6	NOD L7	4.8	4.8	4.62	2.84
7	Portal Tunnel L6	3.6	4.7	3.17	2.28
8	SOD X_Cut 1 L6	3.6	3.6	3.55	2.23
9	SOD X_Cut 2 L6	3.5	3.5	3.59	2.18

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut. *Pertama*, keadaan aktual kuantitas dan kualitas udara pada lubang tambang PT. Dempo Maju Cemerlang berdasarkan hasil pengukuran adalah sebagai berikut: a. Kandungan gas tetap dalam kondisi aman yaitu konsentrasi H₂S < 0,001%, konsentrasi CO <

0,005%, konsentrasi O₂ >19,5%, konsentrasi CH₄ < 0,25%, sesuai dengan keputusan Dirjen Minerba ESDM Nomor 185 K/37.40/DJB/2019. b. Temperatur udara yaitu 22,5°C sampai dengan 24,1°C, sesuai dengan keputusan Dirjen Minerba ESDM Nomor. 185 K/37.04/DJB/2019. c. Kelembapan udara yaitu 88% sampai dengan 93%, tidak sesuai dengan keputusan Dirjen Minerba ESDM No. 185K/37.04/DJB/2019. d. Kuantitas udara yang masuk sebanyak 24.97 m³/s dan kebutuhan udara total sebesar 28.99 m³/s. *Kedua*, hasil analisis berdasarkan keadaan aktual kuantitas dan kualitas udara system ventilasi belum dapat memenuhi kebutuhan udara untuk operasional penambangan sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dan Keputusan Dirjen Minerba ESDM No. 185 K/30.04/DJB/2019. *Ketiga*, berdasarkan hasil rancangan sistem ventilasi yang baru didapatkan hasil pemenuhan terhadap nilai kuantitas dan kualitas udara sudah terpenuhi. Hal ini dikarenakan pada rancangan sistem ventilasi yang baru ditambahkan blower bantu pada setiap cabang pada lubang tambang dan menempatkan blower hisap pada ujung lubang Level 6. Untuk kuantitas udara sendiri juga mengalami peningkatan yaitu dari 24.97 m³/s menjadi 33.8 m³/s. *Keempat*, dari hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak ventsim dan kazemaru, Ventsim memiliki keunggulan dalam beberapa fitur seperti distribusi debu, visualisasi dan grafik, analisis efisiensi ventilasi, simulasi keuangan, serta tampilan antarmuka pengguna yang menarik dan fitur-fitur versi lanjutan lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] Agus P.Sasmito, Jundika C.Kurnia, ErikBirgersson & Arun S.Mujumdar. (2015). Computational evaluation of thermal management strategies in an underground mine. ATE 1144-1150
- [2] Agus P.Sasmito, Jundika C.Kurnia, ErikBirgersson & Arun S.Mujumdar. (2015). Computational evaluation of thermal management strategies in an underground mine. ATE 1144-1150
- [3] Akande, J. M., & Moshood, O. (2013). Modelling of okaba underground coal mine ventilation system. International Journal of Engineering and Technology, 3(7), 766-772
- [4] Arun S.Mujumdar, &ErikBirgersson. (2015). Computational evaluation of thermal management strategies in an underground mine. ATE 1144-1150
- [5] Asmunandar, A., & Heriyadi, B. (2018). Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi Pada Lubang Tambang BMK-35 CV. Bara Mitra Kencana, Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kota Sawahlunto. Bina Tambang, 3(3), 1133-1142
- [6] Bafnis, A. F., Heriyadi, B., & Sumarya, S. (2014). Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT. Bukit Asam-UPO. Bina Tambang, 1(2), 85-99.
- [7] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah. 2010. Diklat Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah.

- Sawahlunto: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara Balai Diklat Tambang Bawah Tanah.
- [8] Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., Ramani, R. V., & Wang, Y. J. (2012). Mine ventilation and air conditioning. John Wiley & Sons.
- [9] Hartman. Mine ventilation And Air Conditioning. New York The Ronald Press Company. 1982.
- [10] Heriyadi, Bambang. Ventilasi Tambang Bawah Tanah. Balai Diklat Tambang Bawah Tanah, Sawahlunto, Oktober 2002.
- [11] J. M Akande, Onifade Moshood, 2013, Modelling of Okaba Underground Coal Mine Ventilation System, The federal University of Tecnology Akure, Ondo State, Nigeria
- [12] Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 555.K/26/M.PE/1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum.
- [13] Le Roux, W. L. (1979). Mine ventilation notes for beginners. Mine Ventilation Society of South Africa
- [14] Nel, A. J., Vosloo, J. C., & Mathews, M. J. (2018). Evaluating complex mine ventilation operational changes through simulations. Journal of Energy in Southern Africa, 29(3), 22-32.
- [15] Nie, X., Wei, X., Li, X., & Lu, C. (2018). Heat treatment and ventilation optimization in a deep mine. Advances in Civil Engineering, 2018. Peng,
- [16] Rochsyid Anggara,. (2017). Metode Tambang Bawah Tanah: Shrinkage Stopping. Balai Pendidikan dan Pelatihan Tambang Bawah Tanah. No. 004/32.02/BDT/2017
- [17] Sestiana, R., & Heriyadi, B. (2019). Perencanaan Sistem Ventilasi Pada Tambang Batubara Bawah Tanah Seam C2 Di PT. Nusa Alam Letari, Desa Salak,
- [18] Su, S., Chen, H., Teakle, P., & Xue, S. (2018). Characteristics of coal mine ventilation air flows. North China Electric Power University, China
- [19] Yuniarto, W. B., Wijaya, R. A. E., & Sidiq, H. (2020). Optimalisasi Fan Pada Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah Area Kubang Kicau PT. Aneka Tambang Tbk, UBPE Pongkor Bogor, Jawa Barat. ReTII, 325- 332