

Pengembangan Sistem Ventilasi dalam Fase *Development Mining* untuk Pengoperasian Metode *Block Caving* di Tambang Emas PT Bumi Suksesindo Kabupaten Banyuwangi Provinsi Jawa Timur

Rifqi Feishal Mahbub^{*}, Stefano Munir, Dudi Nasrudin

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*rifqifeishalmahbub@gmail.com

Abstract. The ventilation system has an important role in underground mining, one of which is to provide safety and comfort for mine workers and mechanical equipment. Along with the increasing progress of tunnel development, which causes temperature and air pressure to increase, PT Bumi Suksesindo needs to carry out analysis and development of the mine ventilation system network. This research on the mine ventilation system at PT Bumi Suksesindo aims to determine the performance of the mine ventilation system, analyze problems arising from the mine ventilation system, and determine efforts to improve the mine ventilation system using ventsim software, so that the air needs on the face can be met. PT Bumi Suksesindo's underground mine is still in the mining development with a tunnel development target of 2000 m. The ventilation system at PT Bumi Suksesindo consists of 2 forcing fans that are installed to meet the needs of clean air at drill cuddy and face decline, and 3 exhausting fans to remove dirty air from the front of the work. The average discharge of clean air in drill cuddy is 9.9 m³/s, this condition has not been able to meet the ideal air requirements, as regulated in the Kepmen ESDM Number 1827/2018, that for the minimum air discharge of one worker is 0,03 m³/s and a mechanical device is 0,05 m³/s. Judging from the geographical conditions, the forcing fan installation location is at an elevation of 120 msl with the air source being sucked from the portal at an elevation of 160 msl. The climatic conditions of the research area are tropical, with an average temperature of 27,5°C and humidity of 85%. Based on geological conditions, the research location is in a batuampar rock formation, with a porphyry type of deposit, and a mineralized zone in andesitic volcanic rocks. From the results of ventsim software modeling, the air flow to the drill cuddy 3 and face decline experienced a shortage of 11.86 m³/s, this was due to the too large air supply to the drill cuddy 1 and drill cuddy 2 and there was an air leak in the vent duct, amounting to 11,09 m³/s or the equivalent of air requirements for 370 people. Improvement efforts are being made to increase air flow in the work area, by adding a booster fan 1x55 Kw on stockpile 7, so that it will increase air supply to drill cuddy 3 and face decline, and by adjusting the vent duct regulator by 50% so that air pressure increases. Of all the improvement efforts, it will fulfill the air needs of the entire work area and increase the air quantity by 39.11% from the previous condition.

Keywords: Main Fan, Mine Ventilation, Cuddy Drill, Ventsim Software.

Abstrak. Sistem ventilasi memiliki peranan penting dalam tambang bawah tanah, salah satunya adalah memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pekerja tambang dan alat mekanis. Seiring dengan bertambahnya kemajuan terowongan *development*, yang mengakibatkan temperatur dan tekanan udara meningkat, maka PT Bumi Suksesindo perlu melakukan analisis dan pengembangan jaringan sistem ventilasi tambang. Penelitian sistem ventilasi tambang di PT Bumi Suksesindo ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem ventilasi tambang, menganalisis masalah yang timbul dari sistem ventilasi tambang, dan menentukan upaya tindakan perbaikan sistem ventilasi tambang menggunakan *software ventsim*, agar kebutuhan udara di *face* dapat terpenuhi. Keadaan tambang bawah tanah PT Bumi Suksesindo, masih dalam tahap *development mining* dengan target terowongan *development* sejauh 2000 m. Sistem ventilasi di PT Bumi Suksesindo terdiri dari, 2 *forcing fan* yang dipasang untuk memenuhi kebutuhan udara bersih pada *drill cuddy* dan *face decline*, serta 3 *exhausting fan* untuk mengeluarkan udara kotor dari *front* kerja. Debit rata-rata udara bersih pada setiap *drill cuddy* sebesar $9,9 \text{ m}^3/\text{s}$, kondisi ini belum mampu memenuhi kebutuhan udara yang ideal, sebagaimana telah diatur dalam Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018, bahwa untuk debit minimum udara satu orang pekerja sebesar $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ dan alat mekanis sebesar $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$. Ditinjau dari kondisi geografis, lokasi pemasangan *forcing fan* berada pada elevasi 120 mdpl dengan sumber udara dari portal pada elevasi 160 mdpl. Kondisi iklim daerah penelitian adalah tropis, dengan suhu rata-rata sebesar $27,5^\circ\text{C}$ dan kelembapan udara sebesar 85%. Berdasarkan kondisi geologi, lokasi penelitian berada di formasi batuampar, dengan tipe endapan *porphyry*, serta zona mineralisasi pada batuan gunung api *andesitic*. Dari hasil pemodelan *software ventsim*, debit udara ke *drill cuddy* 3 dan *face decline* mengalami kekurangan sebesar $11,86 \text{ m}^3/\text{s}$, ini disebabkan suplai udara yang terlalu besar ke *drill cuddy* 1 dan *drill cuddy* 2 serta terdapat kebocoran pada *vent duct*, sebesar $11,09 \text{ m}^3/\text{s}$ atau setara dengan kebutuhan udara bagi 370 orang. Upaya perbaikan yang dilakukan untuk meningkatkan debit udara di area kerja, dengan menambahkan *booster fan* 1x55 Kw pada *stockpile* 7, sehingga akan menambah suplai udara ke *drill cuddy* 3 dan *face decline*, serta dengan mengatur regulator *vent duct* sebesar 50% agar tekanan udara meningkat. Dari semua upaya perbaikan, maka akan memenuhi kebutuhan udara seluruh area kerja dan meningkatkan kuantitas udara sebesar 39,11% dari kondisi sebelumnya.

Kata Kunci: *Main Fan, Ventilasi Tambang, Drill Cuddy, Ventsim.*

1. Pendahuluan

PT Bumi Suksesindo berencana mengoperasikan tambang emas bawah tanah dengan menggunakan metode penambangan *Block Caving*, yang diperoleh sesuai dengan karakteristik dari tipe endapan porfiri. Dalam setiap operasi penambangan bawah tanah, terdapat dua fase kegiatan penambangan, yaitu fase *development mining* dan fase *production mining*. Dengan total luas wilayah Izin Usaha Pertambangan sebesar 4998 Ha, saat ini tambang bawah tanah PT Bumi Suksesindo sedang dalam fase *development mining*, dengan panjang terowongan *decline* ketika penelitian berlangsung mencapai 1490 m, pada elevasi 160 mdpl.

Bahan galian yang berada di PT Bumi Suksesindo masuk dalam tipe endapan porfiri, dengan bentuk endapan berupa *veinlets* serta *stockwork*. Endapan porfiri adalah salah satu endapan dari sistem hipogen dan terbentuk pada busur vulkanik yang jauh dari permukaan. Endapan porfiri merupakan endapan primer yang berukuran *massive* dengan kadar rendah sampai medium, yang terdapat pada batuan beku plutonik. Umumnya endapan porfiri terbentuk

pada suhu sangat tinggi, sekitar 250°C - 750°C. Zona bijih yang terbentuk tidak beraturan dengan pembentukan kantong-kantong bijih, seringkali berada pada *stockwork*.

Dalam menerapkan teknologi penambangan bawah tanah dengan metode *Block Caving*, terdapat parameter-parameter yang harus dipertimbangkan, antara lain: kekuatan dinding batuan, bentuk endapan bahan galian, ukuran dan kemiringan endapan bahan galian, kadar bijih, keseragaman bijih dan kedalaman yang memungkinkan untuk digunakan metode tersebut. PT Bumi Suksesindo berencana menerapkan teknologi tambang bawah tanah metode *Block Caving*, mengingat adanya tumpang tindih dengan kawasan hutan lindung Tujuh Bukit serta kawasan pariwisata Pulau Merah. Maka, guna meminimalisir pembukaan lahan hutan lindung, berdasarkan prinsip keselamatan, efisiensi, ekonomi, kondisi geologi dan topografi, rencana penambangan yang akan dilakukan adalah dengan metode *Block Caving*, yaitu teknik penambangan dengan memotong bagian bawah dari blok bijih, sehingga blok bijih tersebut mengalami keruntuhan.

Salah satu unit *operation* yang sangat dibutuhkan baik untuk pekerja maupun alat mekanis pada kegiatan penambangan tambang bawah tanah adalah sistem ventilasi. Sistem ventilasi berperan penting dalam perpindahan udara disekitar tambang untuk mengeluarkan udara kotor dan menyediakan udara bersih yang diperlukan sesuai dengan kualitas dan kuantitasnya, sehingga dapat memberikan keamanan dan kenyamanan di tempat kerja.

Sistem ventilasi tambang PT BSI menggunakan sistem *overlap*, pada sistem ini *fan* dipasang untuk menarik keluar udara dari dalam terowongan, sehingga tekanan udara menjadi lebih kecil dibanding tekanan *surface*. Sistem ini memaksa tekanan negatif dari terowongan untuk mengeluarkan gas beracun lebih mudah, sehingga tidak terakumulasi di dalam tambang. Distribusi udara bersih mengandalkan 2 *fan axial double stage*, yang dipasang seri dengan diameter *casing fan* 1400 mm, serta memiliki daya hisap udara sebesar 40,23 m³/s.

Berdasarkan situasi dan kondisi lokasi penelitian, perlu dilakukan analisa pada setiap *drill cuddy* dan *face decline*, supaya dapat diketahui kebutuhan udara minimum semua area kerja, apakah sudah terpenuhi atau belum. Kemudian diperlukan pengamatan dan simulasi sistem ventilasi, agar didapatkan rekomendasi sistem ventilasi tambang yang sesuai dengan regulasi, demi menciptakan lingkungan kerja aman dan nyaman.

2. Landasan Teori

Ventilasi tambang berfungsi untuk mengatur aliran udara bersih dari permukaan tambang ke dalam tambang bawah tanah. Dalam pengaturannya, udara akan mengalir dari suhu rendah ke tinggi, dari tekanan tinggi ke rendah dan udara akan lebih banyak mengalir pada jalur ventilasi dengan resistensi yang lebih kecil dibandingkan dengan jalur yang memiliki resistansi besar. Pada sistem ventilasi tambang ini memiliki 3 fungsi secara umum yang sesuai dengan prinsip-prinsip fluida, yaitu:

1. Sebagai pengontrol kualitas udara (*Quality Control*) pada tambang bawah. Hal ini dilakukan dengan cara mengatur konsentrasi gas-gas beracun di dalam tambang. Maka dari itu, ketika tambang bawah tanah melakukan produksi, konsentrasi dari gas-gas beracun dapat di kontrol konsentrasinya sehingga tidak membahayakan para penambang yang sedang bekerja.
2. Sebagai pengontrol kuantitas udara (*Quantity Control*). Kontrol kuantitas udara yang dimaksud disini adalah pengaturan jumlah volume (debit) dan arah aliran udara dari debit tersebut. Pengontrolan ini tidak hanya dilakukan pada suplai udara bersih di lubang bukaan dan saluran pipa udara ventilasi, tetapi dilakukan juga pada tempat pembuangan gas-gas beracun.
3. Sebagai pengatur temperatur dan kelembapan udara. Pengaturan yang dilakukan adalah pengaturan pendinginan, pemanasan, kelembapan, dan penghilangan kelembapan udara. Pada tambang bawah tanah sering kali kondisi temperatur udara tidak sesuai dengan temperatur optimal kerja, seperti udara yang terlalu panas dan kelembapan udara yang tinggi. Maka dari itu, dengan adanya pengaturan, kebutuhan udara pekerja dan alat akan mendapatkan kondisi udara yang optimal untuk bekerja.

Sistem Ventilasi Tambang

Ada dua tujuan dari ventilasi tambang. Pertama, ventilasi utama harus mengalirkan udara melalui saluran ventilasi ke *front* kerja sehingga kebutuhan udara segar terpenuhi. Kemudian udara kotor hasil aktivitas penambangan bawah tanah dihisap ke permukaan. Kedua, sistem ventilasi harus dirancang agar menghilangkan debu dan gas-gas berbahaya. Tanpa adanya sistem ventilasi yang baik, siklus produksi menjadi tidak efektif dan efisien.

Dalam tambang bijih bawah tanah, sistem ventilasi dirancang untuk memenuhi pasokan kebutuhan udara bersih untuk pekerja tambang dan peralatan tambang. Dikarenakan bentuk tubuh bijih bervariasi, maka ventilasi harus *flexible* untuk menyuplai udara ke *front* kerja. Jaringan ventilasi pada area *face* harus terjaga, agar gas beracun hasil peledakan dapat dibersihkan dengan cepat dan efisien. Sistem ventilasi berdasarkan sumber udara terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Sistem Ventilasi Alami

Sistem ini terbentuk secara alami seiring dengan terbentuknya lubang bukaan atau penggalian *tunnel* pada tambang bawah tanah. Sistem ventilasi alami udara akan mengalir secara alami ke dalam tambang karena adanya perbedaan tekanan dan temperatur di kedua ujung lubang yang elevasinya berbeda.

2. Sistem Ventilasi Buatan.

Pada sistem ventilasi buatan udara akan mengalir karena perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh kipas angin bertugas sebagai pengatur sirkulasi udara sehingga setiap *face* pada tambang tersebut terpenuhi kebutuhan udaranya. Sistem ventilasi tambang, terbagi menjadi 3 yaitu: *Forcing System* (Sistem Hembus), *Exhausting System* (Sistem Hisap), *Overlap System*.




Monitoring Kuantitas dan Kualitas Udara Tambang

Kuantitas udara yang mengalir di *airways* biasanya tidak diukur secara langsung tetapi dihitung dari kecepatan rata-rata (V) dan luas penampang *airways* (A) pada titik pengukuran.

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

Keakuratan nilai debit tergantung pada pengukuran kecepatan aliran udara dan data geometri pengukuran penampang. Pengukuran kecepatan memanfaatkan berbagai instrumen agar data yang dihasilkan valid. Untuk pengukuran penampang dibutuhkan data aktual hasil bukaan *development*. Di bawah ini rumus untuk menentukan luas penampang lubang bukaan.

Tabel 1. Rumus Jenis Luas Penampang

No	Bentuk Penampang	Rumus Luas Penampang	Jenis
1		$L = (1/8(3,14 \times 12)) + ((t-1/2 l) \times l)$	<i>Archis</i>
2		$L = P \times L$	<i>Rectangular</i>
3		$L = 3,14 \times r^2$	<i>Round</i>

Sumber: Malcom dkk, 1993

Untuk menentukan jumlah udara minimum yang dibutuhkan di tempat kerja, berdasarkan Keputusan Dirjen Minerba No.185.K/3.04/DJB/2019 tentang sistem manajemen keselamatan pertambangan minerba, antara lain:

1. Kebutuhan pernapasan setiap orang sebesar 0.03 m³/s per orang.
 2. Kecepatan udara minimum untuk mengendalikan kuantitas udara sebesar 0.3 m/s. Pada tambang yang banyak mengeluarkan gas – gas berbahaya, kecepatan minimum pada muka kerja 0.76 – 1.52 m/s.
 3. Kecepatan udara minimum untuk mengendalikan suhu efektif dan kelembapan relatif sebesar 0.5 – 2.5 m/s.
 4. Kecepatan udara minimum pada *front* kerja yaitu sebesar 0.3 m/s.
- Penentuan sifat *psychrometry* udara pada kondisi tertentu merupakan persyaratan untuk

memecahkan permasalahan yang berhubungan dengan proses *air conditioning*. Terdapat 2 cara mencari sifat *psychrometry* ini, yaitu dengan menggunakan tabel *psychrometry* dan grafik *psychrometry*. Pada tekanan barometrik, 2 sifat *psychrometry* udara menentukan kondisi udara. Sifat *psychrometry* yang paling mudah di ukur adalah suhu bola kering dan suhu bola basah.

1. Tekanan barometrik, (Pb) adalah tekanan atmosfer yang ditunjukkan pada alat barometer, dalam satuan in.Hg atau psi (mm Hg atau Pa).
2. Suhu bola kering (*dry bulb temperature*) adalah suhu yang ditunjukkan oleh termometer kering, suatu ukuran kandungan panas yang ada pada udara; dalam satuan °C atau °F.
3. Suhu bola basah (*wet bulb temperature*) adalah suhu ketika air mengalami penguapan di udara yang membawa udara dalam keadaan jenuh secara adiabatik pada suhu tersebut, menjadi ukuran kapasitas penguapan udara dan ditunjukkan dengan termometer yang sumbunya dibasahi; dalam satuan satuan °C atau °F.
4. Kelembapan relatif (*relative humidity*) adalah perbandingan uap udara pada kondisi tertentu dan jenuh pada suhu konstan.
5. Temperatur efektif adalah temperatur ketika seseorang berada pada kondisi yang nyaman, dipengaruhi oleh temperatur kering, temperatur basah, dan kecepatan udara.

Mine Head

Menentukan kuantitas udara yang diinginkan perlu disediakan untuk mengatasi kehilangan *head* (*head loss*) dan menghasilkan aliran yang dingin diperlukan penjumlahan dari semua kehilangan energi aliran. Energi yang dimasukkan dalam kondisi (*steady*) dengan cara natural maupun mekanis menimbulkan tekanan yang akan hilang atau terkonsumsi oleh sistem yang disebut *head loss*. *Head loss* disebabkan oleh *friction loss* (*Hf*) dan *shock loss* (*Hs*).

$$Hl = Hf + Hs \dots\dots\dots (2)$$

Friction loss merupakan kehilangan udara yang disebabkan oleh gesekan udara dengan dinding *airways*. Kehilangan tekanan yang disebabkan oleh gesekan merupakan 70 – 90% dari total *head loss* dalam sistem ventilasi tambang.

$$Hf = \frac{K.L.V}{D g^2} \dots\dots\dots (3)$$

Shock loss adalah kehilangan tekanan udara yang disebabkan perubahan arah, bentuk dan ukuran saluran udara. Kehilangan akibat ini merupakan 10 – 30 % dari total *head loss*.

$$Hs = \frac{K.O.Le.Q^2}{A^3} \dots\dots\dots (4)$$

Tabel 2. Nilai Panjang Ekuivalen dan Parameter Panjang Ekuivalen

No	Tipe Jalur Udara	Le	
		(ft)	(m)
1	Belokan, sudut tajam, membulat	3	1
2	Belokan, sudut tajam, memasing	150	45
3	Belokan, sudut 90°, membulat	1	1
4	Belokan, sudut 90°, memasing	70	20
5	Belokan, sudut tumpul, membulat	1	1
6	Belokan, sudut tumpul, memasing	15	5
7	Jalur udara masuk	20	6
8	Jalur udara keluar	65	20
9	Jalur menyempit secara bertahap	1	1
10	Jalur membesar secara bertahap	10	3
11	Jalur melintas secara bertahap	1	1
12	Jalur melintas langsung	20	6
13	Splitting lurus	30	10
14	Splitting 90°	250	60
15	Junction lurus	60	20
16	Junction 90°	50	10

Sumber: Malcom dkk, 1993

Tabel 3. Parameter Penentuan Faktor Gesekan

	Friction Factor, k kg/m ²	Coefficient of friction, f (dimensionless)
Rectangular Airways		
Smooth concrete lined	0.004	0.0067
Shotcrete	0.0055	0.0092
Unlined with minor irregularities only	0.009	0.015
Girders on masonry or concrete walls	0.0095	0.0158
Unlined, typical conditions no major irregularities	0.012	0.02
Unlined, irregular sides	0.014	0.023
Unlined, rough or irregular conditions	0.016	0.027
Girders on side props	0.019	0.032
Drift with rough sides, stepped floor, handrails	0.04	0.067
Steel Arched Airways		
Smooth concrete all round	0.004	0.0067
Bricked between arched all round	0.006	0.01
Concrete slabs or timber lagging between flanges all round	0.0075	0.0125
Slabs or timber lagging between flanges to spring	0.009	0.015
Lagged behind arches	0.012	0.020
Arches poorly aligned, rough conditions	0.016	0.027
Metal Mines		
Arch-shaped level drifts, rock bolts and mesh	0.010	0.017
Arch-shaped ramps, rock bolts and mesh	0.014	0.023
Rectangular raise, untimbered, rock bolts and mesh	0.013	0.022
Bored raise	0.005	0.008
Beltway	0.014	0.023
TBM drift	0.0045	0.0075
Coal Mines : Rectangular entries, roof-bolted		
Intakes, clean conditions	0.009	0.015
Returns, some irregularities/sloughing	0.01	0.017
Belt entries	0.005 to 0.011	0.0083 to 0.018
Cribbed entries	0.05 to 0.14	0.08 to 0.23
Shafts		
Smooth lined, unobstructed	0.003	0.005
Brick lined, unobstructed	0.004	0.0067
Concrete lined, rope guides, pipe fittings	0.0065	0.0108
Brick lined, rope guides, pipe fittings	0.0075	0.0125
Unlined, well trimmed surface	0.01	0.0167
Unlined, major irregularities removed	0.012	0.02
Unlined, mesh bolted	0.0140	0.023
Tubbing lined, no fittings	0.007 to 0.014	0.0012 to 0.023
Brick lined, two sides buntons	0.018	0.03
Two side buntons, each with a tie girder	0.022	0.037
Longwall faceline with steel conveyor and powered supports		
Good conditions, smooth wall	0.035	0.056
Typical conditions, coal on conveyor	0.05	0.083
Rough conditions, uneven faceline	0.065	0.108
Ventilation Ducting		
Collapsible fabric ducting (forcing systems only)	0.0037	0.0062
Flexible ducting with fully stretched spiral spring reinforcement	0.011	0.018
Fibreglass	0.0024	0.004
Spiral wound galvanized steel	0.0021	0.0035

Sumber: Malcom dkk, 1993

Peraturan Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah

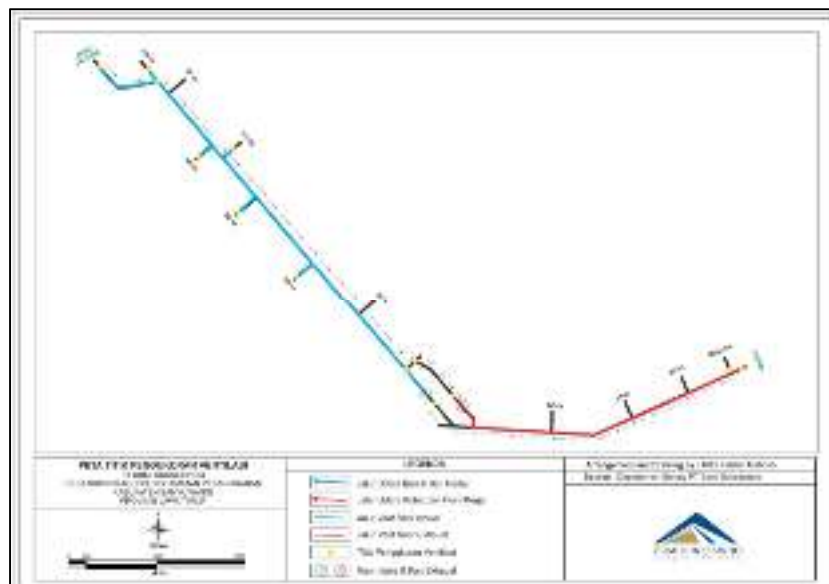
Terdapat peraturan yang mengatur perencanaan ventilasi tambang dan pengaturan jam kerja di dalam tambang bawah tanah. Perencanaan ventilasi tambang dalam mengatur kebutuhan kualitas dan kuantitas udara tambang bawah tanah diatur oleh Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018 dan Keputusan Dirjen Minerba Nomor 185/2019. Sedangkan peraturan yang mengatur jam kerja di dalam tambang diatur oleh PermenKes RI Nomor 70 Tahun 2016.

Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 Tahun 2018, parameter pengaturan kualitas udara tambang bawah tanah diperhitungkan pada keberadaan konsentrasi gas pengotor, suhu (temperatur cembung basah dan cembung kering), dan kelembapan relatif.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 menjelaskan standar dan persyaratan kesehatan lingkungan kerja yang mengatur nilai ambang batas lingkungan kerja industri. Nilai Ambang Batas (NAB) iklim lingkungan kerja merupakan batas iklim lingkungan kerja (*heat stress*) yang tidak boleh dilampaui selama delapan jam kerja per hari. NAB iklim lingkungan kerja dinyatakan dalam derajat celcius Indeks Suhu Basah dan Bola ($^{\circ}\text{C}$ ISBB), dikenal juga dengan istilah WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*) yang merupakan indikator iklim lingkungan kerja.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Lokasi pengukuran aliran udara terdiri dari tempat masuknya udara bersih (*intake air*), percabangan *airways*, dan area kerja. Gambar 1 menunjukkan peta situasi lokasi pengukuran ventilasi tambang. Penentuan lokasi pengukuran ini sangat penting dalam mengetahui jaringan sistem ventilasi di PT BSI, sebab lokasi pengukuran harus sebisa mungkin representatif, sehingga mampu menggambarkan distribusi aliran udara aktual ke setiap *front* kerja.



Gambar 1. Lokasi Pengukuran Aliran Udara

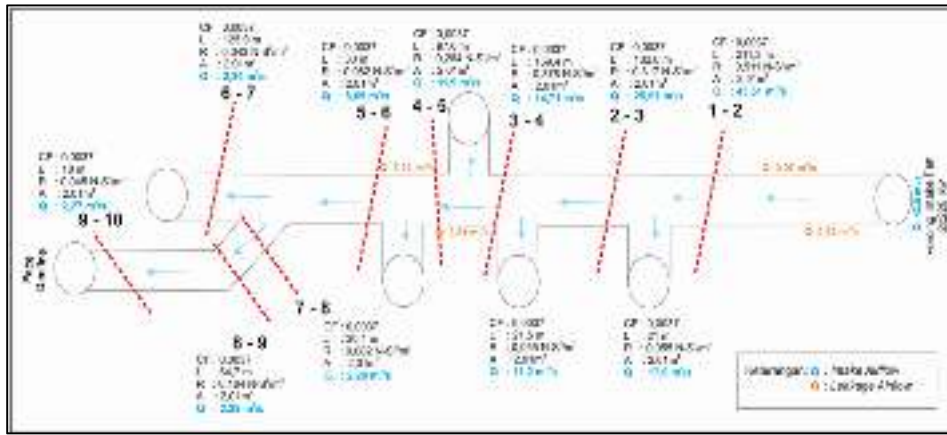
Alat yang digunakan untuk pengukuran sistem ventilasi adalah; 1) Kestrel 3500 Delta 2) MultiRae gas detector yang berfungsi untuk mendeteksi komposisi gas atau *contaminant* pada area kerja 3) Leica distometer untuk mengukur dimensi lubang tambang.



Gambar 2. Alat Ukur yang Digunakan

Resistensi adalah hambatan atau tahanan yang dialami oleh aliran udara di dalam tambang bawah tanah. Selama jalur udara tidak mengalami perubahan koefisien gesekan,

panjang, luas, dan keliling, maka tahanan dalam jalur ventilasi adalah konstan. Resistensi udara dipengaruhi oleh faktor *shock loss* dan *friction loss*. Untuk mengetahui nilai resistensi, maka dilakukan pengukuran pada terowongan dan *vent duct*. Pengukuran dipengaruhi oleh variabel; debit udara, koefisien gesekan, luas, keliling penampang, dan panjang *airways*. Berikut adalah hasil pengukuran tahanan udara pada *intake vent duct*.



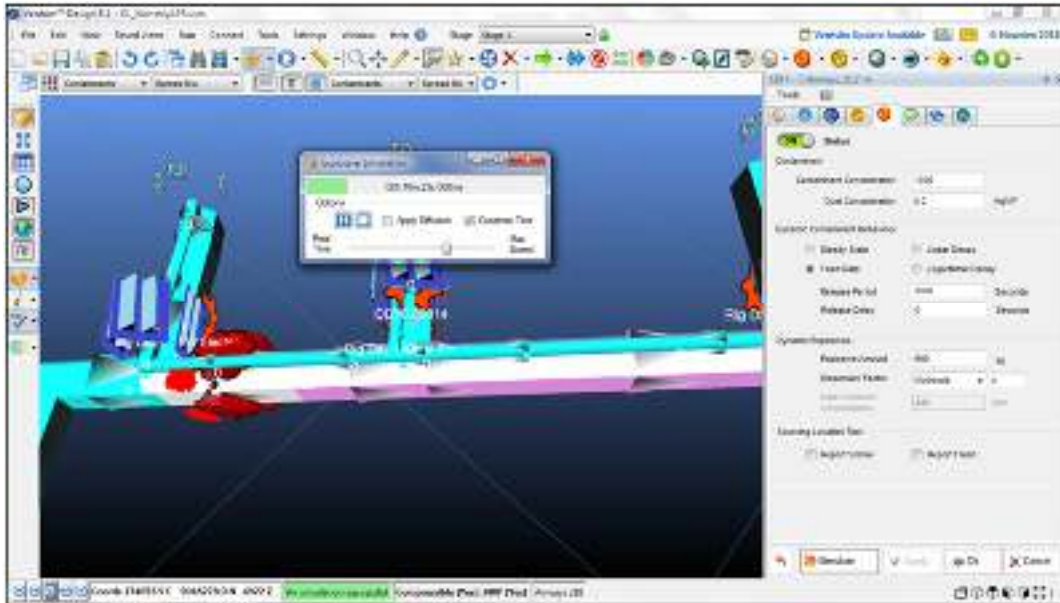
Gambar 3. Sketsa Pengukuran Hambatan Udara Intake Fresh Air Vent Duct

Kualitas udara tambang terbagi atas temperatur, kelembapan, dan kandungan gas tambang. Untuk melakukan uji temperatur maka digunakan standar Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB) yang merupakan standar ketentuan kualitas temperatur di PT BSI. Indeks Suhu Basah dan Bola adalah standar temperatur berdasarkan kondisi suhu basah, standar ini ditetapkan oleh Permen Kesehatan Nomor 70 tahun 2016. Pada kegiatan penambangan di PT BSI maksimal pekerja beraktivitas fisik adalah 8 jam dengan waktu istirahat selama 1 jam.

Tabel 4. Kondisi Kualitas Udara Tambang PT BSI

Lokasi Pengukuran	Td (°C)	Tw (°C)	WBGT (°C)	RH (%)
Stasiun 1 (15 m portal)	28,23	27,64	27,42	84,75
Stasiun 2 (<i>Magazine</i>)	29,24	27,66	29,23	84,33
Stasiun 3 (<i>Drill Cuddy 1</i>)	30,12	28,23	29,42	85,84
Stasiun 4 (<i>Drill Cuddy 2</i>)	30,22	28,42	29,13	84,53
Stasiun 5 (<i>Drill Cuddy 3</i>)	30,42	28,52	29,32	83,1
Stasiun 6 (<i>Drill Cuddy 4</i>)	30,18	29,75	29,5	82,19
Stasiun 7 (<i>Drill Cuddy 5</i>)	30,23	29,05	29,48	83,55
Stasiun 8 (<i>Face Decline</i>)	31,2	29,46	29,44	84,86
Stasiun 9 (Belokan <i>Intake Air</i>)	30,62	29,06	29,5	81,87
Stasiun 10 (Belokan <i>Vent Drive I</i>)	30,75	29,05	29,3	82,63
Stasiun 11 (<i>Vent Drive Dalam</i>)	30,68	29,3	29,2	82,43
Stasiun 12 (Belokan <i>Vent Drive II</i>)	29,2	29,2	29,4	82,93
Stasiun 13 (Belokan <i>Drill Cuddy 5</i>)	30,8	29,1	29,1	86,75

Pada jadwal *cycle time* yang direncanakan oleh perusahaan, waktu untuk *re-entry* (proses pengeluaran kontaminan hasil kegiatan peledakan) ditetapkan alokasi waktu 30 menit. Akan tetapi setelah disimulasikan dengan *software ventsim*, jumlah waktu tersebut belum cukup untuk mengeluarkan seluruh kontaminan yang berada dalam tambang, dari hasil pemodelan diperoleh alokasi waktu ideal sebesar 35 menit untuk mengeluarkan seluruh gas dan kontaminan hasil kegiatan peledakan. Berikut merupakan hasil dari pemodelan alokasi waktu *clearing* gas hasil peledakan.



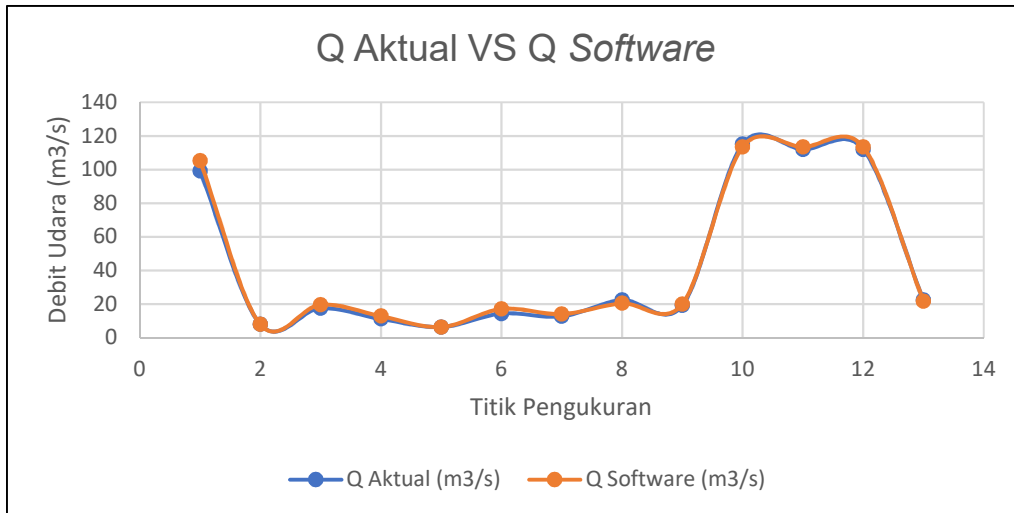
Gambar 4. Pemodelan Alokasi Waktu *Clearing* Gas Peledakan

Perbandingan Pengukuran Ventilasi Metode Konvensional dan *Software Ventsim*

Untuk dapat mengetahui debit udara menggunakan *software ventsim*, ada beberapa parameter yang harus dilengkapi, yaitu: dimensi terowongan, spesifikasi *fan*, peta situasi ventilasi, resistensi terowongan dan *vent duct*, serta kondisi lingkungan tambang. Pemodelan dilakukan dengan menyesuaikan kondisi aktual, akan tetapi tidak mempertimbangkan faktor kompresor sebagai media untuk meningkatkan debit udara di *face*. Dari hasil perbandingan, terdapat beberapa ketidaksamaan antara metode konvensional dan *software ventsim*. Pada area *face decline*, udara yang masuk lebih besar kondisi aktual dibandingkan pemodelan *software*, kemudian debit udara *software* lebih kecil dibandingkan aktual, hal ini dikarenakan pada saat pengukuran ada kompresor yang beroperasi sehingga debit udara meningkat.

Tabel 5. Perbandingan Debit Udara Metode Konvensional dan *Software*

Lokasi Pengukuran	Q Aktual (m ³ /s)	Q <i>Software</i> (m ³ /s)	Deviasi	Error (%)
Stasiun 1 (15 m portal)	99.2	105.2	6	6.05
Stasiun 2 (<i>Magazine</i>)	8	8	0	0.00
Stasiun 3 (<i>Drill Cuddy</i> 1)	17.6	19.7	2.1	11.93
Stasiun 4 (<i>Drill Cuddy</i> 2)	11.2	12.9	1.7	15.18
Stasiun 5 (<i>Drill Cuddy</i> 3)	6.4	6.4	0	0.00
Stasiun 6 (<i>Drill Cuddy</i> 4)	14.4	17.1	2.7	18.75
Stasiun 7 (<i>Drill Cuddy</i> 5)	12.8	14.1	1.3	10.16
Stasiun 8 (<i>Face Decline</i>)	22.4	20.5	-1.9	-8.48
Stasiun 9 (Belokan <i>Intake Air</i>)	19.2	20.1	0.9	4.69
Stasiun 10 (Belokan <i>Vent Drive I</i>)	115.2	113.5	-1.7	-1.48
Stasiun 11 (<i>Vent Drive</i> Dalam)	112	113.4	1.4	1.25
Stasiun 12 (Belokan <i>Vent Drive II</i>)	112	113.4	1.4	1.25
Stasiun 13 (Belokan <i>Drill Cuddy</i> 5)	22.4	21.8	-0.6	-2.68



Gambar 5. Grafik Perbandingan Debit Udara Aktual dan Debit Udara *Software*

Rekomendasi dan Upaya Perbaikan Sistem Ventilasi

Rekomendasi dan upaya perbaikan yang dilakukan pada tambang bawah tanah PT BSI adalah pengaturan *regulator vent duct* dan penambahan *booster fan Clemcorp 1x55 KW*. Perbaikan pengaturan *regulator vent duct* dilakukan agar udara *intake* dari *fan* dapat diatur tekanan udaranya, sehingga menjadi lebih proporsional sesuai dengan kebutuhan setiap *front* kerja. Setelah dilakukan penambahan *booster fan*, maka ada peningkatan suplai debit udara pada *drill cuddy 3* dan *face decline*. Pada beberapa *drill cuddy* terdapat penurunan debit udara, namun tidak lebih dari batas minimal kebutuhan udara *drill cuddy* tersebut.



Gambar 6. Hasil Pemodelan *Software Ventsim* Setelah Penambahan *Booster Fan*

Dari hasil penambahan *booster fan*, kebutuhan udara pada *drill cuddy 3* dan *face decline* untuk aktivitas *mucking* terpenuhi. Berikut perbandingan hasil debit udara di area *front* kerja sebelum dilakukan perbaikan dengan hasil debit udara setelah perbaikan pada *software ventsim*.

Tabel 6. Hasil Pemodelan Debit Udara *Front Kerja* Setelah Upaya Perbaikan

Lokasi Pengukuran	Kebutuhan debit udara* (m ³ /s)	Debit sebelum perbaikan (m ³ /s)	Debit setelah perbaikan (m ³ /s)
Stasiun 3 (<i>Drill Cuddy 1</i>)	9.84	17.6	14.3
Stasiun 4 (<i>Drill Cuddy 2</i>)	9.84	11.2	11
Stasiun 5 (<i>Drill Cuddy 3</i>)	9.84	6.4	11.7
Stasiun 6 (<i>Drill Cuddy 4</i>)	9.84	14.4	11.1
Stasiun 7 (<i>Drill Cuddy 5</i>)	9.9	12.8	10.6
Stasiun 8 (<i>Face Decline</i>)	30.82	22.4	33.4

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Sistem ventilasi yang dikembangkan pada tambang bawah tanah PT Bumi Suksesindo terdiri dari *fan*, *airways*, *control device*, *quantity* dan *quality* udara. Pada daerah *drill cuddy*, total udara bersih yang masuk sebesar 90,4 m³/detik. Sedangkan udara yang tidak mengalir ke daerah *drill cuddy*, berdasarkan hasil *monitoring* dan *controlling* menunjukkan bahwa terdapat beberapa kebocoran udara di sepanjang *vent duct intake*, yang cukup berarti dalam mengurangi debit udara (Q) dan tekanan udara (*head loss*).
2. Dari hasil analisis sistem ventilasi dengan metode konvensional dan simulasi *software ventsim*, terjadi permasalahan di area *drill cuddy 3* dan *face decline* yang tidak terpenuhi kebutuhan debit udaranya, berdasarkan standar yang ditetapkan Kepmen ESDM No.1827 Tahun 2018. Kurangnya debit udara bersih pada *drill cuddy 3* dan *face decline*, disebabkan karena suplai udara bersih yang terlalu besar ke arah *drill cuddy 1*, *drill cuddy 2*, dan *drill cuddy 4*, serta udara bersih pada *vent duct* mengalami kebocoran.
3. Upaya tindakan perbaikan sistem ventilasi tambang di PT Bumi Suksesindo, adalah dengan melakukan pengaturan sistem bukaan mulut *vent duct* sebesar 50% pada percabangan *drill cuddy* pertama, agar dapat meningkatkan tekanan aliran udara, serta penambahan satu buah *booster fan Clemcorp 55 KW*, yang terletak di *stockpile 7*. Penambahan *booster fan* ini, dapat meningkatkan debit udara pada *drill cuddy 3* sebesar 45,29% dan *face decline* sebesar 32,93% dari kondisi sebelumnya.

5. Saran

1. Memperhatikan kapasitas angkut *articulated truck* agar tidak terlalu penuh, serta meningkatkan *maintenance* terhadap *vent duct* yang mengalami kebocoran.
2. Meminimalisir percabangan *vent duct*, karena menyebabkan nilai tahanan dan *head loss* semakin besar. Adapun jika posisinya di percabangan, maka dibuat *smooth*, untuk meminimalisir kehilangan udara akibat belokan.
3. Saat aktivitas *charging* dan *supporting*, untuk meningkatkan pasokan debit udara pada daerah *face*, maka disarankan untuk menyalakan kompresor dari alat *jumbo drill*. Tujuan dari kompresor adalah untuk meningkatkan pasokan udara bersih dalam rangka menurunkan suhu efektif yang sesuai dengan Kepmen ESDM No.1827 Tahun 2018, agar tercapai lingkungan kerja aman dan nyaman.

Daftar Pustaka

- [1] Achdan, A., Bachri, S., 1993, "Geological Map of the Blambangan Quadrangle, East Java", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [2] Anonim, 2011, "Ventilation Of Underground Mines - Draft Code of Practice", Safe Work Australia, Brisbane.
- [3] Anonim, 2014, "Laporan Studi Kelayakan Pertambangan Emas DMP di Desa Sumberagung Kecamatan Pesanggaran – Kabupaten Banyuwangi", PT Bumi Suksesindo, Banyuwangi.
- [4] Anonim, 2016, "Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri", Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70/2016, Menteri Kesehatan RI.
- [5] Anonim, 2017, "Ergonomics of the Thermal Environment", International Organization for Standarization 7243, Geneva.
- [6] Anonim, 2017, "Laporan Iklim dan Cuaca Badan Meteorologi dan Geofisika Desa Sumberagung Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi", Badan Meteorologi dan Geofisika, Banyuwangi.
- [7] Anonim, 2018, "Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik", Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018, Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral.
- [8] Anonim, 2018, "Quarterly Activities Report PT Bumi Suksesindo Desa Sumberagung Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi", PT Bumi Suksesindo, Banyuwangi.

- [9] Anonim, 2019, “Petunjuk Teknis Pelaksanaan Keselamatan Pertambangan dan Pelaksanaan, Penilaian, dan Pelaporan Sistem Manajemen Keselamatan Pertambangan Minerba”, Keputusan Dirjen Minerba Nomor 185/K/37.04/DJB/2019, Direktorat Jendral Minerba Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- [10] Brake, D.J,2012, “Mine Ventilation A Practitioner’s Manual”, Sealed Sources Fixed Industrial Gauges and Unsealed Sources-Radioactive Ores & Concentrates, Brisbane.
- [11] Gamble, G. A., Ray, R. E., Americas, P. B. and York, N., 2009. “Differences In Design Considerations for Tunnel Versus Mine Underground Ventilation Fan Systems”, SME Annual Meetings, Denver, Brisbane.
- [12] Hamilton, 1979, “Zona Sesar Jawa Timur”, Institut Teknologi Bandung, Dep. Umum Research Nasional, Bandung.
- [13] Hartman, H. L.1997. “Mine Ventilation And Air Conditioning 3rd Edition”, John Wiley & Sons,Inc, Canada.
- [14] Howes M.J, 2011, “Ventilation and Cooling in Underground Mines”, International Labor Organization, Geneva.
- [15] Le Roux, W. L, 1979, “Mine Ventilation Notes For Beginners”, The Mine Ventilation Society Of South Africa, Africa.
- [16] Malcolm J, Mc.Pherson. 1993. “Subsurface Ventilation And Enviromental Engineering”, Chapman and Hall Inc, USA.
- [17] Mc.Dermott, Hendry J. 1985. “Handbook of Ventilation for Contaminant Control”, Butterworth Publieshers of America, USA.
- [18] Mc Elroy, G.E., 1935. “Engineering Factors In The Ventilation of Metal Mines”, Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington D.C.
- [19] Milesi, Hendry J. 2010. “Handbook of Ventilation Underground Mining”. Butterworth Publieshers of America, Washington D.C.
- [20] Plessis,du J.J.L, 2014, “Ventilation and Occupational Environment Engineering in Mines”, Mine Ventilation Society.
- [21] Sweet, K. A, 1984, “Mining 1”, Technical Publication Trust, Perth, W.A.
- [22] Zhang, Xichen, Yutao Zhang, Jerry C. Tien, 2011, “The Efficiency Study Of The Push-Pull Ventilation System In Underground Mine”, University of Wollongong, Australia.