

Evaluasi & Analisis Rencana Perubahan Jalur Ventilasi Untuk Kebutuhan Lubang Pendidikan Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT. Bukit Asam Tbk - UPO

Alman syarif^{1*}, and Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

*almansyarif@gmail.com

**bambang.heriyadi@yahoo.co.id

Abstract. PT Bukit Asam Tbk Ombilin Mining Unit (UPO-PTBA) is the oldest underground coal mine in Indonesia, due to the activity of the penambangannya has been performed since the colonial Netherlands. Ventilation system in underground mine Sawahluwung using suction system (exhaust) air out the quantity of 35.10 m³/s, while the quantity of incoming air of 34.50 m³/s through the three holes of entry i.e. Adit Sawahluwung + 214 of 23.00 m³/s, Adit Sawahluwung + 223 of 6.50 m³/s and head of Sapan II of 5.00 m³/s. The amount of air entering the air out there is a difference of 0.60 m³/s caused by air leaks in the duct wall Mine Fan. Hand in hand towards post-war mines, PTBA UPO plans make preparing hole and education as a means of education for the world of education and society, then closing and pengedaman done on the area-J8 J6, J7-J9, J1Bak Pumps LS II. The pattern of air flow enters starts from the Adit Sawahluwung.

Keywords: Underground Mining, The Need Of Air, Ventilation System, Tunnel Education, Kepmen.

1. Pendahuluan

PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin (PTBA-UPO) merupakan perusahaan pertambangan batubara bawah tanah yang tertua di Indonesia karena aktivitas penambangannya telah dilakukan semenjak jaman kolonial Belanda. PTBA-UPO melakukan penambangan dengan metode *long wall* manual, *long wall* semi mekanis, *long wall* mekanis dan *room and pillar*.

Seiring berjalannya waktu, tambang bawah tanah PTBA-UPO saat ini sedang menuju kegiatan pasca tambang dan berencana meninggalkan sebahagian lokasi tambangnya akan dijadikan lubang pendidikan, yang direncanakan sebagai tempat pendidikan dan latihan cara melakukan pemboran, peledakan, penyanggaan, kegiatan ventilasi dan lain sebagainya.

Penutupan sebagian besar lokasi tambang bawah tanah PTBA-UPO akan dilakukan dengan pembuatan dam pada lokasi J6, J7, J1 dan Lurah Sapan II^[1]. Untuk posisi mesin angin induk pada saat ini berada pada lubang Lurah Sapan II dan direncanakan penempatannya dekat lubang Adit Sawahluwung +223.

Kondisi udara ventilasi saat ini pada tambang bawah tanah Sawahluwung melalui 3 jalur yaitu dari Adit Sawahluwung +214, Adit Sawahluwung +223 dan pintu Lurah Sapan II +214,5. Pola aliran udara masuk dimulai dari Adit Sawahluwung - J.4 - J.3 - J.2 - J.6 - J.8 - .52 - J.53 - J.51 - J.2C - J.4C - J.3C. Sedangkan aliran udara keluar dari J.3C - J.64 - J.1C - J.57 - J.56 - J.65 - J.46 - J.9 - J.7 - J.1 - keluar. Panjang Jalur ventilasi saat ini ± 6 km dan bila dijadikan untuk lubang pendidikan akan menjadi ± 1,8 km.

Dengan ditutupnya front penambangan batubara di tambang bawah tanah Ombilin I (Sawahluwung) maka mesin angin yang biasa dipergunakan untuk kebutuhan mensuplai udara ke *front* jadi *stand by*, dan untuk kebutuhan udara lubang pendidikan maka mesin angin tersebut akan dimanfaatkan sebagai *exhaust fan*.

Untuk memenuhi kebutuhan udara pada tambang bawah tanah PTBA-UPO perlu dilakukan pengkajian terhadap beberapa parameter yang meliputi kapasitas mesin angin induk, jumlah pekerja, jumlah orang/tamu yang masuk, jumlah emisi gas metan, jumlah peralatan mesin yang beroperasi serta kondisi suhu dan kelembaban.

Peraturan yang mengatur mengenai sistem ventilasi tambang bawah tanah terdapat dalam Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 555.K/26/M.PE/1995^[2]. Peraturan tersebut mengatur jumlah udara yang harus dipenuhi dan kualitas udara yang harus dicapai agar memenuhi prinsip kesehatan dan keselamatan kerja. Peraturan tersebut menjadi parameter kelayakan dari sebuah sistem ventilasi tambang bawah tanah di Indonesia.

Penelitian ini bermaksud untuk mengkaji hasil pemetaan di lapangan dengan tujuan utama sebagai berikut: Mendapatkan data kualitas dan kuantitas udara pada lubang tambang bawah tanah PT. Bukit Asam UPO Sawahluwung, Memperoleh kuantitas udara yang harus dialirkan untuk keperluan lubang pendidikan & operasional penambangan pada tambang bawah tanah PT. Bukit Asam UPO Sawahluwung, Menghasilkan rancangan sistem ventilasi yang baik pada lubang tambang PT. Bukit Asam UPO Sawahluwung.

2. Lokasi Penelitian

Secara geografis PT. Batubara Bukit Asam Tbk, Unit Pertambangan Ombilin terletak pada Koordinat $100^{\circ} 44' - 100^{\circ} 50'$ Bujur timur dan $0^{\circ} 35' - 0^{\circ} 43'$ Lintang Selatan.

Tambang ini berada di Kota Sawahlunto, Propinsi Sumatera Barat yang berjarak 90 km dari kota padang melalui jalan raya Indarung. Lokasi daerah penambangan meliputi Sawahluwung, Sawah Rasau V, Sigalut, Langkok, Waringin dan Sugar dengan luas IUP 2.935 Ha. Untuk kesampaian daerah sawahlunto dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Peta Area Penambangan PT Pamapersada Nusantara Jobsite TOPB

3. Kajian Teori

Sistem ventilasi adalah salah satu yang di pergunakan dalam tambang bawah tanah^[3]. Oleh karena itu sangatlah perlu di perhatikan kondisi maupun perawatan. Untuk memperoleh informasi yang terinci mengenai kuantitas dan kualitas udara tambang bawah tanah pada sistem jaringan ventilasi, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap sistem ventilasi yang ada, yaitu mengadakan pengukuran dan pengamatan terhadap ventilasi, sehingga dapat diketahui arah aliran atau sirkulasi udara, kuantitas udara yang memenuhi persyaratan yang berlaku.

3.1. Pengendalian Kualitas Udara Tambang

3.1.1 Perhitungan Keperluan Udara Segar

Jenis kegiatan manusia dapat dibedakan, yaitu :

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

Laju pernafasan per menit didefinisikan sebagai banyaknya udara dihirup dan dihembuskan per satuan waktu satu menit. Pada manusia yang bekerja keras, angka bagi pernafasan ini (*respiratori quotient*) sama dengan satu, yang berarti bahwa jumlah CO_2 yang dihembuskan sama dengan jumlah O_2 yang dihirup pada pernafasannya. Gambaran mengenai keperluan oksigen pada pernafasan pada tiga jenis kegiatan manusia secara umum dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Keperluan Oksigen untuk Pernafasan Manusia Berdasarkan Jenis Kegiatan

Kegiatan Kerja	Laju Pemafofan Per Menit	Udara Terhirup Per Menit dalam m^3 /menit ($10^{-4} m^3$ /detik)	Oksigen Terkonsumsi cm^3 ($10^{-5} m^3$ /detik)	Angka Bagi Pemafofan (<i>respiratori quotient</i>)
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

3.1.2 Kelembaban Relatif Udara

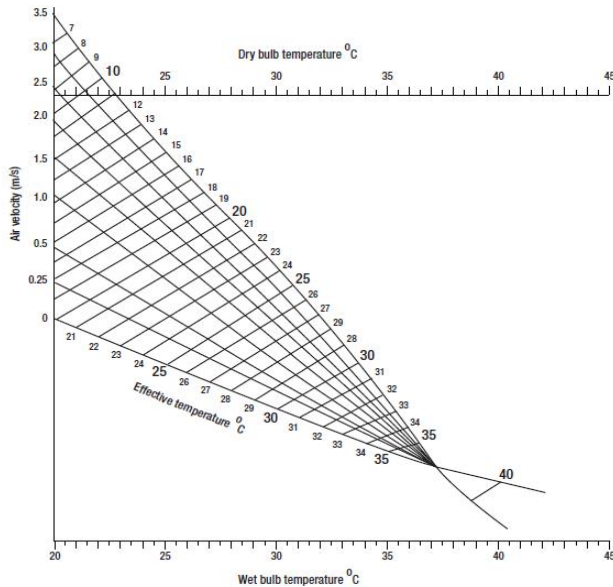
Kelembaban relatif udara merupakan bilangan yang dinyatakan dalam persen (%) yang menunjukkan perbandingan antara jumlah uap yang dikandung udara pada temperatur tertentu terhadap jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung pada temperatur yang sama. Pada dasarnya kandungan uap air dalam udara akan memiliki temperature yang lebih hangat dibandingkan dengan uap air yang tercampur dalam udara dingin. Untuk menentukan kelembaban relatif (RH) dapat dilihat menggunakan tabel berikut :

Tabel 2. Tabel Kelembaban Relatif

Relative Humidity (%)		Difference Between Wet-Bulb and Dry-Bulb Temperatures (C°)															
Dry-Bulb Temperature (C°)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-20	100	28															
-18	100	40															
-16	100	48															
-14	100	55	11														
-12	100	61	23														
-10	100	66	33														
-8	100	71	41	13													
-6	100	73	48	20													
-4	100	77	54	32	11												
-2	100	79	58	37	20	1											
0	100	81	63	45	28	11											
2	100	83	67	51	36	20	6										
4	100	85	70	56	42	27	14										
6	100	86	72	59	46	35	22	10									
8	100	87	74	62	51	39	28	17	6								
10	100	88	76	65	54	43	33	24	13	4							
12	100	88	78	67	57	48	38	28	19	10	2						
14	100	89	79	69	60	50	41	33	25	16	8	1					
16	100	90	80	71	62	54	45	37	29	21	14	7	1				
18	100	91	81	72	64	56	48	40	33	26	19	12	6				
20	100	91	82	74	66	58	51	44	36	30	23	17	11	5			
22	100	92	83	75	68	60	53	46	40	33	27	21	15	10	4		
24	100	92	84	76	69	62	55	49	42	36	30	25	20	14	9	4	
26	100	92	85	77	70	64	57	51	45	39	34	28	23	18	13	9	
28	100	93	86	78	71	65	59	53	47	42	36	31	26	21	17	12	
30	100	93	86	79	72	66	61	55	49	44	39	34	29	25	20	16	

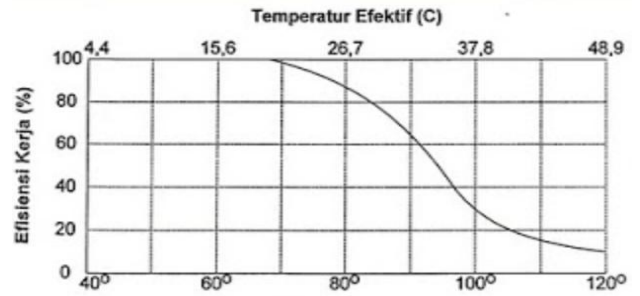
3.1.3 Temperatur Effektif

Perbedaan antara temperatur cembung kering dan cembung basah menyatakan faktor kenyamanan di dalam udara lembab. Agar seseorang dapat bekerja dengan nyaman di lingkungan udara dengan kelembaban relatif 80 % diperlukan perbedaan $t_d - t_w$ sebesar 5°F (2,8°C). Dalam menduga temperatur efektif dari suatu kondisi $t_d - t_w$ serta kecepatan aliran udara tertentu dapat menggunakan gambar 2 berikut:



Gambar 2. Grafik Temperatur Effektif

Effisiensi kerja seseorang bergantung langsung kepada temperatur ambient dan akan berkurang / menurun bila temperaturnya berada diluar rentan 21 – 32 ° C. Hubungan antara efisiensi kerja dengan temperatur efektif dapat dilihat pada gambar 3 berikut^[4]:



Gambar 3. Hubungan Antara Efisiensi Kerja dan Temperatur Effektif

3.1.4 Standar Kualitas Udara Tambang Bawah Tanah

Komposisi Udara segar normal yang dialirkan pada ventilasi tambang terdiri dari Nitrogen, Oksigen, Karbondioksida, Argon dan Gas-gas lain seperti terlihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Komposisi Udara Segar^[5]

Unsur	Persen Volume (%)	Persen Berat (%)
Nitrogen (N ₂)	78,09	75,53
Oksigen (O ₂)	20,95	23,14
Karbondioksida (CO ₂)	0,03	0,046
Argon (Ar) dll	0,93	1,284

3.1.5 Pengendalian Gas Gas Tambang

Beberapa cara pengendalian yang dapat dilakukan terhadap pengotor gas pada tambang bawah tanah, yaitu :

- a. Pencegahan (Prevention)
- b. Pemandahan (removal)
- c. Absorpsi (Absorption)
- d. Isolasi (Isolation)
- e. Pelarutan (Dilution)

Jumlah udara segar yang diperlukan untuk mengencerkan suatu masukan gas sampai nilai MAC dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q = (Q_g / (MAC) - B) - Q_g \quad (1)$$

Dimana : Q_g = masukan gas pengotor

B = Konsentrasi gas dalam udara normal

3.2. Pengukuran Udara Tambang

Pada sistem ventilasi tambang peralatan ventilasi merupakan suatu hal yang sangat penting. Dengan semua jenis dari mesin penggerak yang merupakan suatu rangkaian komponen alat yang berfungsi untuk menekan secara memompa udara yang segar dan baik supaya mengalir pada lubang bawah tanah. Pada dasarnya peralatan ventilasi tambang meliputi fan, kompresor, anemometer, duct, manometer, pitot tube, sling psychrometer, regulator dan yang lainnya yang mendukung pada sistem ventilasi.

3.2.1. Kecepatan Angin

Untuk mengukur kecepatan angin di dalam tambang bawah tanah biasanya menggunakan anemometer. Ini adalah kincir angin yang sangat ringan dan gesekannya kecil, dimana baling-balingnya terbuat dari pelat aluminium dan membentuk sudut 42-44° terhadap arah poros. Untuk mengukur kecepatan angin, alat ini diletakkan di dalam aliran udara untuk memutar baling-baling, dimana kecepatan angin atau jarak tempuh aliran udara per satuan waktu dapat diperoleh dari jumlah putaran dalam waktu tertentu. Daerah kemampuan ukurnya adalah 0,5-10 m/s. Standard kecepatan angin yang direkomendasikan oleh Kementerian Kesehatan RI yaitu 0,15 sampai 0,25 m/s [6].

3.2.2. Jumlah Angin

Jumlah angin adalah perkalian kecepatan angin rata-rata dan luas penampang. Pada umumnya, kecepatan angin terbesar terjadi di sekitar pusat penampang terowongan. Oleh karena itu, apabila mengukur kecepatan angin dengan anemometer, maka anemometer digerakkan sepanjang penampang dengan kecepatan konstan untuk mengukur kecepatan angin rata-rata. Kemudian nilai tersebut dikalikan dengan luas penampang terowongan yang diukur untuk menghitung jumlah angin.

3.2.3. Penurunan Tekanan

Melakukan pengukuran penurunan tekanan yang terjadi karena mengalirnya udara di dalam lorong angin adalah hal yang sangat penting. Apabila pada 2 titik pengukuran di dalam lorong angin diletakkan tabung tekanan statis Pitot dan di tengah-tengahnya diletakkan tabung U, kemudian dihubungkan dengan pipa (misalnya pipa karet), maka perbedaan tekanan yang tampak pada tabung U adalah penurunan tekanan. Apabila 2 titik yang hendak diukur penurunan tekanannya berjarak jauh, selang jarak tersebut dibagi menjadi beberapa bagian, kemudian penurunan tekanannya diukur dan nilai penjumlahan untuk selang 2 titik tersebut boleh dianggap sebagai penurunan tekanan. Pada waktu melakukan pengukuran mulai dari mulut pit udara masuk kemudian.

3.3. Pengendalian Kuantitas Udara Tambang

3.3.1 Penentuan Kuantitas Udara Tambang

Berdasarkan kandungan oksigen yang diizinkan di udara tambang. Kuantitas udara ditentukan dengan persamaan :

$$a.Q - b = c.Q \quad (2)$$

Keterangan:

- a = Persentasi oksigen pada udara bebas (20-21 %)
- b = Jumlah udara yang dibutuhkan oleh setiap orang untuk bernafas
- c = Kadar oksigen minimum yang diizinkan pada udara tambang (19,5 %).
- Q = Jumlah udara yang dialirkan untuk 1 orang pekerja (cfm)

Berdasarkan kandungan karbondioksida maksimum yang diizinkan. Kuantitas udara ditentukan dengan persamaan :

$$d.Q - e = f.Q \quad (3)$$

Keterangan:

- d = Persentasi CO₂ pada udara normal
- e = Jumlah CO₂ hasil pernafasan, merupakan jumlah O₂ yang dibutuhkan dikali dengan angka pernafasan.
- f = Persentasi kandungan CO₂ maksimum yang diizinkan pada udara tambang.
- Q = Jumlah udara yang harus dialirkan untuk 1 orang pekerja (cfm).

Berdasarkan fungsinya untuk mengencerkan gas yang berbahaya di dalam tambang. Kuantitas udara dapat dihitung dari persamaan :

$$Q = \frac{Qg}{NAB - B} - Qg \quad (4)$$

Keterangan:

- Qg = Kuantitas gas yang diencerkan, m³/detik
- NAB = Nilai ambang batas gas tambang.
- B = Konsentrasi gas tersebut dalam udara bebas.

Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk tambang yang mengandung gas, kuantitas udara minimum yang diperlukan untuk pernafasan manusia sebesar 0,1 m³/dtk.

Berdasarkan peraturan K3 Pertambangan, untuk setiap tenaga kuda apabila mesin dihidupkan, kuantitas udara yang diperlukan yaitu sebesar 3 m³/menit^[7].

3.3.2 Evaluasi Kuantitas Udara Pada Sistem Ventilasi

3.3.2.1 Perhitungan Kuantitas Udara Pada Jalur Udara

Langkah langkah yang dilakukan dalam perhitungan kuantitas udara ini antara lain:

- a) Pengukuran kecepatan aliran udara^[8]
Dalam mengukur kecepatan angin di jalur udara atau terowongan dan pipa udara digunakan alat anemometer manual, anemometer digital dan stopwatch sebagai alat pengukur waktu. Alat anemometer digital ini menggunakan satuan m/detik.
- b) Pengukuran luas jalur udara
Luas jalur udara ditentukan dari pengurangan luas terowongan dengan luas penghalang yang ada seperti belt conveyor dan pipa udara.
- c) Perhitungan kuantitas udara^[9]
Kuantitas dihitung berdasarkan hasil kali antara kecepatan aliran udara dengan luas penampang yang dilewatinya.

$$Q = V \times A \quad (5)$$

Keterangan :

- Q = Kuantitas udara (m²/detik)

V = Kecepatan aliran udara tambang (m/detik)
 A = Luas penampang jalan udara tambang (m^2)
 Perhitungan kuantitas udara di permukaan kerja yaitu berdasarkan kepada :

Berdasarkan kebutuhan udara minimal untuk pernafasan pekerja di front kerja.

Jika kebutuhan minimum untuk pernafasan sebesar $0,01 m^3/detik/orang$ maka :
 $Q = \text{jumlah gilir orang/gilir} \times m^3/detik/orang$ (6)
 $Q = m^3/detik/gilir$.

Berdasarkan kebutuhan minimum untuk mengencer gas.

Langkah langkah yang dilakukan dalam perhitungan ini yaitu :

Berdasarkan jumlah produksi pergilir, yaitu :

$$P = m^2 \times m/gilir \times ton/m^3 = ton/gilir \quad (7)$$

Keterangan :
 P = Hasil kali antara luas penampang jalur udara, kemajuan produksi rata rata pergilir, dan berat jenis batubara ($1,30 ton/m^3$).

Berdasarkan emisi gas methan, yaitu :

$$Q_g = ton/gilir \times m^3/ton \times 1/waktu \text{ efektif jam kerja pergilir.} \quad (8)$$

$$Q_g = m^3/detik$$

Maka kuantitas udara untuk mendilusi gas methan adalah:

$$Q_{udara} = \frac{Q_{gas}}{NAB - B_{gas}} - Q_{gas} \quad (9)$$

Keterangan :
 Q_{udara} = Kuantitas udara yang dibutuhkan, $m^3/detik$.
 Q_{gas} = Kuantitas emisi gas yang diperkirakan, $m^3/detik$.
 NAB = Nilai ambang batas (gas methan 1%)
 B_{gas} = Kandungan gas pada intake air (%)

3.3.3 Tahanan Ventilasi

Koefisien Gesek

Koefisien gesek berbeda menurut metode penyanggaan terowongan. Berikut adalah koefisien gesek (*Friction Factor*) untuk tiap jenis saluran.

Tabel 4. Koefisien Gesek Tiap Jenis Saluran (Ns^2/m^4)

Airway	K
Ventilation Piping	0,003
Concrete line empty shaft	0,004
Straight rock tunnel	0,01
Concrete lined shaft with streamline buntions	0,025
Concrete lined shaft with R.S.J buntions	0,05
Heavily timbered rectangular shaft	0,08

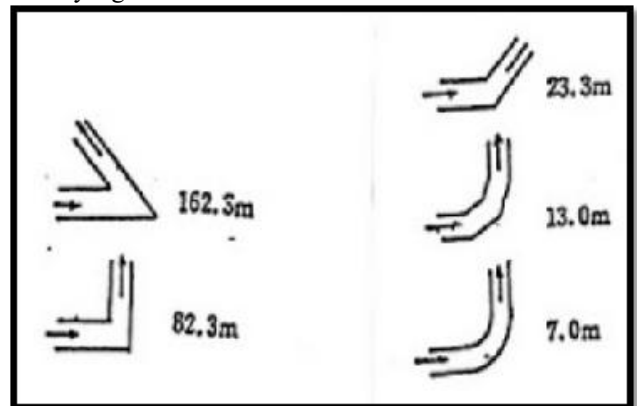
Sedangkan nilai *friction factor* (K) untuk beberapa jenis *duct* saluran udara ventilasi menurut McPherson 1993 yaitu sebagai berikut:

Tabel 5. Nilai *friction factor* (K) untuk beberapa jenis *duct* (Ns^2/m^8)

Airway	K
Ventilation Piping	0,003
Concrete line empty shaft	0,004
Straight rock tunnel	0,01
Concrete lined shaft with streamline buntions	0,025
Concrete lined shaft with R.S.J buntions	0,05
Heavily timbered rectangular shaft	0,08

Tahanan Belokan

Tahanan ventilasi meningkat drastis di belokan terowongan, di tempat yang menyempit, serta di tempat terjadinya tabrakan aliran udara. Tahanan yang timbul di belokan disebabkan oleh kerugian energi akibat aliran udara yang berlebihan.



Gambar 4. Gesekan Pada Bagian Belokan Terowongan.

Rumus Perhitungan Tahanan Ventilasi

$$R = \frac{k(L + Le)per}{A^3} \quad (10)$$

Keterangan:
 R = Resistensi
 k = koefisien gesek terowongan
 L = panjang terowongan (m)
 Le = Panjang Equivalen (m)
 A = luas penampang terowongan (m^2)
 per = keliling terowongan (m)

Rumus Umum Atkinson

$$P = \frac{K.C.L.Q^2}{A^3} \times \frac{w}{1,2} \quad (11)$$

Jika density udara pada kondisi normal maka :

$$P = \frac{K.C.L.Q^2}{A^3} \quad (12)$$

Keterangan:

P = Penurunan tekanan akibat gesekan (mm air)

L = Panjang terowongan (m) $L = L + L_e$

c = Panjang keliling penampang terowongan (m)

Q = Jumlah udara ($m^3/detik$)

a = Luas penampang terowongan (m^2)

w = Density udara (kg/m^3)

K = Koefisien tahanan gesek terowongan

4. Metode Penelitian

4.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metodologi penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif, adalah penelitian dengan memperoleh data yang berbentuk angka atau data kualitatif yang diangkakan^[10].

4.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang penulis lakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

4.2.1. Studi Literatur

Mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan materi yang akan dibahas di lapangan melalui buku-buku, jurnal dan sumber-sumber lainnya.

4.2.2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah mempelajari literatur dan orientasi lapangan. Data yang diambil berupa data primer dan data sekunder. Untuk data primer diambil langsung di lapangan, sedangkan untuk data sekunder didapat dari literatur perusahaan atau laporan perusahaan. Data Primer berupa, Ukuran penampang terowongan, Jumlah pekerja yang berada di lokasi tambang bawah tanah., Kadar gas metan dan gas-gas lain di dalam terowongan (jalur udara), Temperatur udara di lokasi tambang bawah tanah, Kecepatan angin ventilasi pada jalur utama ventilasi (*intake airway* dan *outlet*) dan percabangan, Kuantitas udara pada jalur utama ventilasi (*intake airway* dan *outlet*)^[11].

Sedangkan Data Sekundernya yaitu Peta Ijin Usaha Pertambangan (IUP), Data jam kerja, jumlah pekerja dan jumlah alat, Spesifikasi kipas angin, Data jam kerja dan karyawan, *Lay out* tambang bawah tanah

4.2.3. Pengolahan Data

Setelah data didapatkan maka selanjutnya adalah pengelompokan dan pengolahan data. Adapun yang dilakukan pada tahapan ini yaitu Perhitungan kualitas dan kuantitas udara pada setiap jalur udara dan Perhitungan kebutuhan udara untuk kegiatan lubang pendidikan.

Setelah semua data yang ada diolah selanjutnya dilakukan analisis data yang sudah diolah. Dari perhitungan kebutuhan udara serta kuantitas dan kualitas udara di lokasi tambang kemudian dianalisis apakah kuantitas dan kualitas udara yang tersedia layak dan mencukupi untuk kegiatan operasional penambangan atau tidak.

Jika kuantitas udara yang tersedia mencukupi untuk kegiatan operasional penambangan maka selanjutnya dapat diambil kesimpulan mengenai hasil penelitian. Namun, jika kuantitas udara tidak mencukupi maka akan diberikan solusi untuk penyelesaiannya.

4.2.4. Populasi dan Sampel Penelitian

4.2.4.1 Populasi

Yang menjadi populasi dari penelitian ini adalah seluruh udara dan semua lokasi yang pada tambang bawah tanah Sawahluwung.

4.2.4.2 Sampel

Adapun yang menjadi sampel pada penelitian adalah kondisi udara pada beberapa lokasi pengamatan saja yang meliputi Adit Sawahluwung +214, Adit Sawahluwung +223 jalur J2, jalur J3, jalur J6, jalur J8, jalur J52, jalur J53, jalur J2C, jalur J3C, jalur J1C, jalur J46, jalur J7, jalur J1, dan Lurah Sapan II.

4.3. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data adalah teknik yang dibutuhkan untuk mengolah data yang telah dikumpulkan untuk kebutuhan penelitian agar mendapatkan suatu kesimpulan. Adapun tahapan untuk analisis dan pengolahan data yang penulis lakukan yaitu :

4.3.1 Perhitungan kebutuhan udara untuk operasional penambangan

Analisis pertama yang penulis lakukan yaitu melakukan perhitungan berapa kebutuhan udara untuk kegiatan penambangan yang meliputi kebutuhan udara untuk pernafasan, kebutuhan udara untuk mendilusi gas metan, dan untuk setiap tenaga kuda yang sedang produksi di lokasi tambang bawah tanah.

4.3.2 Perhitungan kuantitas udara pada tambang bawah tanah

Analisis selanjutnya yang penulis lakukan adalah menganalisis kuantitas udara yang ada pada lokasi lokasi tambang bawah tanah dengan diperolehnya data kecepatan angin dan penampang terowongan maupun saluran udara.

4.3.3 Analisis kualitas udara pada tambang bawah tanah

Dengan diketahuinya suhu dan kecepatan angin, maka dapat ditentukan temperatur efektif, kelembaban relatif dan efisiensi kerja. Serta dengan adanya data data mengenai udara apa saja yang ditemui di lokasi tambang bawah tanah maka dapat diketahui kualitas udara tambang dalam kondisi baik atau tidak.

4.3.4 Analisis kelayakan antara kebutuhan udara dengan kuantitas udara yang tersedia, setelah kebutuhan udara untuk operasional penambangan diketahui dan kuantitas udara yang tersedia juga diketahui, selanjutnya dianalisis apakah kuantitas udara yang tersedia sudah mencukupi kebutuhan udara untuk operasional penambangan.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. 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:

5.1.1. Ukuran penampang/geometri terowongan dan duct

Geometri penampang terowongan yang diukur yaitu pada lubang utama dan percabangan dan *front* kerja pada lubang tambang bawah tanah Sawahluwung menggunakan alat meteran. Penampang terowongan pada lubang tambang Sawahluwung rata-rata berbentuk *archis*, sedangkan pada percabangan dan *front* kerja berbentuk trapesium. Untuk penampang duct berbentuk lingkaran. Dimana L = Panjang terowongan, l = lebar terowongan, h = tinggi terowongan, d = diameter duct, r = jari-jari duct, dan p = panjang duct.

Tabel 6. Data Dimensi Terowongan dan Duct

Lokasi	Dimensi Terowongan			Dimensi Pipa Udara (Duct)			Keterangan
	L(m)	l(m)	h(m)	d(m)	r(m)	p(m)	
Adit Sawahluwung +214	113	4	3				Tapal Kuda
Adit Sawahluwung +223	125	3,3	2,6				Tapal Kuda
Lurah Sapan II	13	3	2,5				Tapal Kuda
Terusan Adit SL - J4	241	4,4	2,8				Tapal Kuda
J37 - J14	253	4,2	2,6				Tapal Kuda
J4 - J3	55	4,4	2,4				Tapal Kuda
J3 - J2	155	4,2	2,8				Tapal Kuda
J2 - J6	180	4,2	2,5				Tapal Kuda
J6 - J52	50	4	2,4				Tapal Kuda
J52 - J53	193	4	2,3				Tapal Kuda
J53 - J2C	195	4,5	2,6				Persegi
J1C - J56	198	4,4	2,6				Tapal Kuda
J56 - J65	266	4	2,3				Tapal Kuda
J65 - J7	93	4	2,2				Tapal Kuda
J7 - J1	216	4	2,8				Tapal Kuda
J1 - Bak Pompa LS II	324	4,2	2,6				Tapal Kuda
Bak Pompa LS II	218	3,3	2,2				Tapal Kuda
Main Fan				1,8	0,9	1,5	Lingkaran

5.1.2. Pengukuran Kecepatan Udara

Kecepatan udara diukur menggunakan alat *anemometer* yang dilakukan pada lokasi Adit Sawahluwung +214, Adit Sawahluwung +223, terusan Adit SL- J4, J4-J3, J3-J2, J2-J6, J6-J52, J52- J53, J53-J2C, Sedangkan aliran udara keluar dari J1C-J56, J56-J65, J65- J7, J7-J1, J1-Bak pompa LS II, Bak Pompa LS II, pintu Lurah Sapan II, dan *Main Fan*.

Data pengukuran kecepatan udara dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Pengukuran Kecepatan Angin

No	Lokasi	Kecepatan udara (V) (m/det)				Elevasi (m)
		V1	V2	V3	Vr	
1	Adit Sawahluwung +214	2,23	2,25	2,24	2,24	214
2	Adit Sawahluwung +223	0,87	0,86	0,90	0,88	223
3	Lurah Sapan II	0,78	0,76	0,77	0,77	214,5
4	Terusan Adit SL - J4	2,54	2,55	2,53	2,54	223
5	J37 - J14	0,38	0,39	0,40	0,39	164
6	J4 - J3	3,07	3,06	3,08	3,07	226
7	J3 - J2	2,64	2,65	2,63	2,64	183
8	J2 - J6	2,95	2,96	2,97	2,96	164
9	J6 - J52	2,80	2,78	2,79	2,79	139
10	J52 - J53	2,87	2,88	2,86	2,87	130
11	J53 - J2C	1,42	1,41	1,40	1,41	145
12	J1C - J56	1,75	1,77	1,76	1,76	125
13	J56 - J65	2,86	2,87	2,88	2,87	144
14	J65 - J7	3,05	3,03	3,04	3,04	165
15	J7 - J1	3,06	3,08	3,04	3,06	183
16	J1 - Bak Pompa LS II	3,27	3,26	3,28	3,27	172
17	Bak Pompa LS II	4,94	4,93	4,92	4,93	172
18	Main Fan	13,82	13,81	13,83	13,82	216

5.1.3. Pengukuran Emisi Gas Metan dan Gas Lainnya

Pengukuran gas metan dan gas lainnya menggunakan alat *multigas detector*, yang dilakukan oleh petugas kembangin awal gilir sebelum pekerja memasuki lubang tambang dan pada saat pekerja melaksanakan pekerjaan. Gas-gas yang dapat terdeteksi oleh alat *multigas detector* antara lain gas O₂ (%), CH₄ (%), CO (ppm), dan H₂S (ppm). Hasil pengukuran emisi gas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Pengukuran Emisi Gas Metan dan Gas Lainnya

No	Lokasi	Gas - gas Tambang			
		O ₂ (%)	CO(ppm)	H ₂ S(%)	CH ₄ (%)
1	Adit Sawahluwung +214	20,9	0	0	0
2	Adit Sawahluwung +223	20,9	0	0	0
3	Lurah Sapan II	20,9	0	0	0
4	Terusan Adit SL - J4	20,9	0	0	0
5	J37 - J14	20,9	0	0	0
6	J4 - J3	20,9	0	0	0
7	J3 - J2	20,9	0	0	0
8	J2 - J6	20,9	0	0	0
9	J6 - J52	20,9	0	0	0
10	J52 - J53	20,9	0	0	0
11	J53 - J2C	20,9	0	0	0
12	J1C - J56	20,9	0	0	0
13	J56 - J65	20,9	0	0	0
14	J65 - J7	20,9	0	0	0
15	J7 - J1	20,9	0	0	0
16	J1 - Bak Pompa LS II	20,9	0	0	0
17	Bak Pompa LS II	20,9	0	0	0
18	Main Fan	20,9	0	0	0

5.1.4. Pengukuran Temperatur Udara

Temperatur udara diukur menggunakan alat *sling psychrometer* meliputi temperatur kering dan temperatur basah, pengukuran temperatur udara ini dilakukan lubang bukaan utama, percabangan, dan *front kerja*. Temperatur udara dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Data Pengukuran Temperatur Udara

No	Lokasi	Temperatur °C	
		Wet	Dry
1	Adit Sawahluwung +214	26	29
2	Adit Sawahluwung +223	26	29
3	Lurah Sapan II	26	29
4	Terusan Adit SL - J4	25	27
5	J37 - J14	25	27
6	J4 - J3	25	27
7	J3 - J2	25	27
8	J2 - J6	25	27
9	J6 - J52	25	27
10	J52 - J53	25	27
11	J53 - J2C	25	27
12	J1C - J56	26	28
13	J56 - J65	26	28
14	J65 - J7	26	28
15	J7 - J1	26	28
16	J1 - Bak Pompa LS II	26	28
17	Bak Pompa LS II	26	28
18	Main Fan	27	30

5.1.5. Jumlah Pekerja dan Jam Kerja

Data jam kerja di PT Bukit Asam Tbk UPO Sawahluwung diberlakukan 1 *shift* untuk para pekerja layanan , operasional, sintrik (mesin dan listrik), kestamngin (keselamatan tambang dan peranginan). Untuk operasional pompa diberlakukan 3 *shift*, hal ini dilakukan untuk mengontrol dan pemompaan genangan air di terowongan sehingga mencegah adanya banjir di terowongan Sawahluwung.

Tabel 10. Jumlah Pekerja dan Jam Kerja

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah Pekerja	Jam Kerja	Jumlah Shift
1	Layanan	6	07.00-14.00wib	1
2	Operasional	8	07.00-14.00wib	1
3	Sintrik	10	07.00-14.00wib	1
4	Kestamngin	2	07.00-14.00wib	1
5	Pompa	9	07.00-14.00wib	3
			15.00-23.00wib	
			24.00-07.00wib	

5.1.6. Spesifikasi fan/ blower

Mesin angin yang digunakan tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk UPO Sawahluwung 150 HP, 50 HP dan 25 HP. Sistem ventilasi yang diterapkan oleh tambang bawah tanah Sawahluwung adalah *exhaust system*.

5.1.7. Peralatan Penunjang Tambang

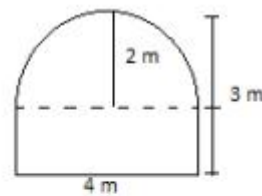
Alat penunjang Tambang merupakan alat yang digunakan sebagai penunjang kegiatan. Alat yang digunakan untuk penunjang proses pengambilan batubara PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 11. Peralatan Penunjang Tambang

No	Nama Alat	Daya Alat (HP)
1	Pompa <i>Orion</i>	73,7
2	<i>Belt conveyer</i>	50
3	Pompa <i>APE</i>	74
4	Haspel <i>Picrose</i>	40,2
5	Pompa <i>grundfos</i>	25
6	Pompa <i>Flygt</i>	10
Jumlah	6	272,9

5.1.8. Perhitungan Luas Terowongan

Penampang terowongan pada lubang tambang PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin umumnya berbentuk *archis*, persegi dan trapesium. *Archis* merupakan gabungan dari setengah lingkaran dan persegi panjang. Berikut adalah cara mencari luas terowongan: Luas Penampang Archis (Adit Sawahluwung +214)



$$\begin{aligned}
 A &= \left[\left(\frac{1}{8} \times (\pi \times l^2) \right) + \left(\left(H - \frac{1}{2} l \right) \times l \right) \right] \\
 &= \left[\left(\frac{1}{8} \times (3,14 \times 4^2) \right) + \left(\left(3 - \frac{1}{2} \times 4 \right) \times 4 \right) \right] \\
 &= 10,28 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 12. Perhitungan Luas Terowongan

No	Lokasi	Luas Terowongan (m ²)
1	Adit Sawahluwung +214	10,28
2	Adit Sawahluwung +223	7,41
3	Lurah Sapan II	6,53
4	Terusan Adit SL - J4	10,24
5	J37 - J14	9,02
6	J4 - J3	8,48
7	J3 - J2	9,86
8	J2 - J6	8,60
9	J6 - J52	7,88
10	J52 - J53	7,48
11	J53 - J2C	11,70
12	J1C - J56	9,36
13	J56 - J65	7,48
14	J65 - J7	7,08
15	J7 - J1	9,48
16	J1 - Bak Pompa LS II	9,02
17	Bak Pompa LS II	6,09
18	Main Fan	2,54

5.1.9 Menghitung kuantitas udara

Kuantitas dari hasil pemantauan terhadap sistem ventilasi tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin Sawahluwung, perlu dilakukan perhitungan berdasarkan kecepatan udara dan luas penampang terowongan, sebagai contoh satu perhitungan untuk mewakili setiap lokasi yaitu Adit Sawahluwung +214, dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 Q &= V \times A \\
 &= 2.24 \text{ m/detik} \times 10,28 \text{ m}^2 \\
 &= 23 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan sampai dengan 18 perhitungan dari jumlah lokasi pengukuran, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 13. Kuantitas Udara Tersedia

No	Lokasi	Kecepatan udara (m/detik)	Luas Terowongan (m ²)	Luas Duct (m ²)	Debit udara (m ³ /detik)
A. Udara Masuk					
1	Adit Sawahluwung +214	2,24	10,28		23,00
2	Adit Sawahluwung +223	0,88	7,41		6,50
3	Lurah Sapan II	0,60	8,28		5,00
B. Udara Keluar					
4	Main Fan	13,82		2,54	35,10
C. Udara di dalam Tambang					
5	Terusan Adit SL - J4	2,54	10,24		26,00
6	J37 - J14	0,39	9,02		3,50
7	J4 - J3	3,07	8,48		26,00
8	J3 - J2	2,64	9,86		26,00
9	J2 - J6	2,96	8,60		25,50
10	J6 - J52	2,79	7,88		22,00
11	J52 - J53	2,87	7,48		21,50
12	J53 - J2C	1,41	11,70		16,50
13	J1C - J56	1,76	9,36		16,50
14	J56 - J65	2,87	7,48		21,50
15	J65 - J7	3,04	7,08		21,50
16	J7 - J1	3,06	9,48		29,00
17	J1 - Bak Pompa LS II	3,27	9,02		29,50
18	Bak Pompa LS II	4,93	6,09		30,00

Dari hasil perhitungan kuantitas udara (tabel 15), diperoleh jumlah udara masuk sebesar 34,5 m³/detik (23 m³/detik + 6,5 m³/detik + 5 m³/detik). Sedangkan udara keluar dari mesin angin induk (*mine fan*) sebesar 35,1 m³/detik, sehingga terdapat selisih antara udara masuk dengan udara keluar sebesar 0,6 m³/detik (35,1 m³/detik - 34,5 m³/detik).

5.1.10 Kebutuhan Udara Untuk Pernapasan Pada tambang bawah tanah PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin Sawahluwung.

Berdasarkan kebutuhan udara untuk pernafasan 30 orang para pekerja tambang bawah tanah Sawahluwung kerja pada saat shift pagi yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah udara per orang} &= 2 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 \text{Jumlah pekerja} &= 30 \text{ orang} \\
 &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{kebutuhan} \\
 &\quad \text{udara per orang} \times 2 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 &= 30 \text{ orang} \times 2 \text{ m}^3/\text{menit} = 60 \\
 &\quad \text{m}^3/\text{menit}
 \end{aligned}$$

Jadi, kebutuhan udara untuk pekerja adalah 60 m³/menit (1 m³/detik).

Berdasarkan kebutuhan udara untuk alat/mesin

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk 1 unit pompa air Orion 73,7 HP} \\
 &= 73,7 \text{ HP} \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} = 221,1 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 &= 3,69 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Untuk 1 unit pompa air APE 74 HP
 = $74 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} = 222 \text{ m}^3/\text{menit}$
 = $3,7 \text{ m}^3/\text{detik}$

Untuk 1 unit pompa air grundfos 25 HP
 = $25 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} = 75 \text{ m}^3/\text{menit}$
 = $1,25 \text{ m}^3/\text{detik}$

Untuk 1 unit pompa air Flygt 10 HP
 = $10 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} = 30 \text{ m}^3/\text{menit}$
 = $0,5 \text{ m}^3/\text{detik}$

Untuk 1 unit belt conveyor 50 HP
 = $50 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} = 150 \text{ m}^3/\text{menit}$
 = $2,5 \text{ m}^3/\text{detik}$

Untuk 1 unit Picrose 40,2 HP
 = $40,2 \times 3 \text{ m}^3/\text{menit} = 126 \text{ m}^3/\text{menit}$
 = $2,1 \text{ m}^3/\text{detik}$

5.1.11. Perhitungan Kelembaban Relatif

Berikut nilai kelembaban udara relatif pada tambang bawah tanah di Adit Sawahluwung tabel 14. Penentuan kelembaban udara selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama berdasarkan jumlah lokasi pengukuran.

Tabel 14. Kelembaban Udara Relatif

No	Lokasi	Temperatur (°C)		Kelembaban
		Wet	Dry	%
1	Adit Sawahluwung +214	26	29	79
2	Adit Sawahluwung +223	26	29	79
3	Lurah Sapan II	26	29	79
4	Terusan Adit SL - J4	25	27	85
5	J37 - J14	25	27	85
6	J4 - J3	25	27	85
7	J3 - J2	25	27	85
8	J2 - J6	25	27	85
9	J6 - J52	25	27	85
10	J52 - J53	25	27	85
11	J53 - J2C	25	27	85
12	J1C - J56	26	28	85
13	J56 - J65	26	28	85
14	J65 - J7	26	28	85
15	J7 - J1	26	28	85
16	J1 - Bak Pompa LS II	26	28	85
17	Bak Pompa LS II	26	28	85
18	Main Fan	27	30	79

5.1.12 Temperatur Efektif dan Efisiensi Kerja Tambang Bawah Tanah

Efisiensi kerja perlu diketahui untuk mengoreksi para kinerja pekerja tambang. Hal ini juga bisa digunakan sebagai bahan untuk evaluasi para pekerja tambang. Data efisiensi kerja para pekerja tambang dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 15. Temperatur Efektif dan Efisiensi Kerja

No	Lokasi	Temperatur Efektif	Efisiensi Kerja
		°C	%
1	Adit Sawahluwung +214	22,6	96
2	Adit Sawahluwung +223	24,8	94
3	Lurah Sapan II	25,2	90
4	Terusan Adit SL - J4	19,6	98
5	J37 - J14	24,3	96
6	J4 - J3	18,6	98
7	J3 - J2	19,5	97
8	J2 - J6	18,7	98
9	J6 - J52	19,2	98
10	J52 - J53	19	98
11	J53 - J2C	21,8	97
12	J1C - J56	22,5	97
13	J56 - J65	20,6	98
14	J65 - J7	20,2	98
15	J7 - J1	20,2	98
16	J1 - Bak Pompa LS II	19,8	98
17	Bak Pompa LS II	-	-
18	Main Fan	-	-

5.1.13 Resistansi Terowongan

Resistansi Terowongan

- Adit Sawahluwung +214

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,00069(113 + 6)12,28}{10,28^3} = 0,00093 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- Adit Sawahluwung +223

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(125 + 6)10,38}{7,41^3} = 0,00468 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- Lurah Sapan II

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(13 + 6)11,28}{8,28^3} = 0,00053 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- Terusan Adit SL

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(241 + 6)12,51}{10,24^3} = 0,00403 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J37 – J14

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(253 + 10)11,79}{9,02^3} = 0,00592 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J4 – J3

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(55 + 1)11,71}{8,48^3} = 0,00151 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J3 – J2

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(155 + 1)12,19}{9,86^3} = 0,00278 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J2 – J6

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(180 + 1)11,59}{8,6^3} = 0,00462 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J6 – J52

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(50 + 60)11,08}{7,88^3} = 0,00349 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J52 – J53

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(193 + 1)10,88}{7,48^3} = 0,00706 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J53 – J2C

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(195 + 60)14,20}{11,70^3} = 0,00192 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J1C – J56

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(198 + 20)12,11}{9,36^3} = 0,00244 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J56 – J65

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(266 + 20)10,88}{7,48^3} = 0,01041 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J65 – J7

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(93 + 1)10,68}{7,08^3} = 0,00396 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J7 – J1

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(216 + 20)11,88}{9,48^3} = 0,00461 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- J1 – Bak Pompa LS II

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(324 + 5)11,79}{9,02^3} = 0,00740 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- Bak Pompa LS II

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0014(218 + 6)9,58}{6,09^3} = 0,01330 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

- Main Fan

$$R = \frac{k(L + Le)_{per}}{A^3} = \frac{0,0037(15 + 3)5,65}{2,54^3} = 0,02296 \text{Ns}^2 / \text{m}^2$$

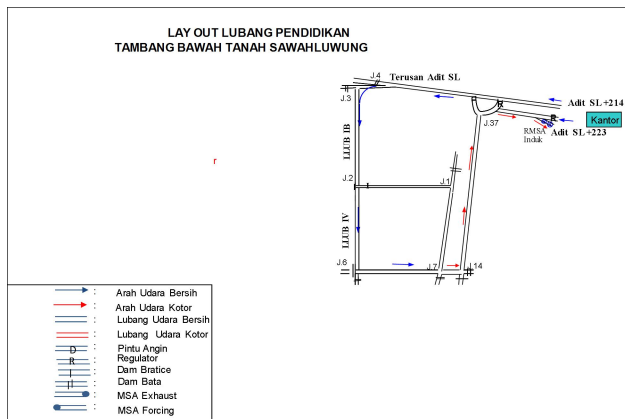
Tabel 16. Resistansi Terowongan

No	Lokasi	Le (m)	Per (m)	L (m)	K (kg/m ²)	A ² (m ²)	R (Ns ² /m ²)
1	Adit Sawahluwung +214	6	12,28	113	0,00069	1086,37	0,00093
2	Adit Sawahluwung +223	6	10,38	125	0,0014	406,76	0,00468
3	Lurah Sapan II	6	11,28	13	0,0014	567,66	0,00053
4	Terusan Adit SL - J4	6	12,51	241	0,0014	1073,36	0,00403
5	J37 - J14	10	11,79	253	0,0014	734,77	0,00592
6	J4 - J3	1	11,71	55	0,0014	609,54	0,00151
7	J3 - J2	1	12,19	155	0,0014	959,66	0,00278
8	J2 - J6	1	11,59	180	0,0014	636,88	0,00462
9	J6 - J52	60	11,08	50	0,0014	489,30	0,00349
10	J52 - J53	1	10,88	193	0,0014	418,51	0,00706
11	J53 - J2C	60	14,20	195	0,0014	1601,61	0,00192
12	J1C - J56	20	12,11	198	0,0014	819,71	0,00244
13	J56 - J65	20	10,88	266	0,0014	418,51	0,01041
14	J65 - J7	1	10,68	93	0,0014	354,89	0,00396
15	J7 - J1	20	11,88	216	0,0014	851,97	0,00461
16	J1 - Bak Pompa LS II	5	11,79	324	0,0014	734,77	0,00740
17	Bak Pompa LS II	6	9,58	218	0,0014	225,79	0,01330
18	Main Fan	3	5,65	15	0,0037	16,45	0,02296

Kebutuhan Udara untuk Lubang Pendidikan

Lokasi lubang pendidikan yang direncanakan oleh PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin terdiri dari 2 jalur udara masuk yaitu Adit Sawahluwung +214 dan Adit Sawahluwung +223.

Pola aliran udara masuk dimulai dari Adit Sawahluwung +214, terusan Adit SL- J4, J4-J3, J3-J2, J2-J6, J6-J7, sedangkan aliran udara keluar dari J7-J14, J14-J38, J38- Main fan. Dengan memperpendek jalur lubang tambang, maka dilakukan penutupan dan pendedaman pada daerah J6-J8, J7-J9 dan J1.



Gambar 5. Lay Out Lubang Pendidikan Sawahluwung

Tabel 17. Dimensi Lubang Pendidikan Sawahluwung

Lokasi	Dimensi Terowongan			Dimensi Pipa Udara (Duct)			Keterangan
	L(m)	l(m)	t(m)	d(m)	r(m)	p(m)	
Adit Sawahluwung +214	113	4	3				Tapal Kuda
Adit Sawahluwung +223	125	3,3	2,6				Tapal Kuda
Terusan Adit SL - J4	241	4,4	2,8				Tapal Kuda
J4 - J3	55	4,4	2,4				Tapal Kuda
J3 - J2	155	4,2	2,8				Tapal Kuda
J2 - J6	180	4,2	2,5				Tapal Kuda
J6 - J14	150	4,2	2,4				Tapal Kuda
J14 - J38	253	4,2	2,6				Tapal Kuda
J38 - MSAI	100	3,3	2,2				Tapal Kuda
Main Fan				0,75	0,375	5	Lingkaran

Tabel 18. Resistensi Lubang Pendidikan

No	Lokasi	Le (m)	Per (m)	L (m)	K (kg/m ²)	A' (m ²)	R (Ns ² /m ⁸)
1	Adit Sawahluwung +214	6	12,28	113	0,00069	1086,37	0,00093
2	Adit Sawahluwung +223	6	10,38	125	0,0014	406,76	0,00075
3	Terusan Adit SL - J4	6	12,51	241	0,0014	1073,36	0,00403
4	J4 - J3	1	11,71	55	0,0014	609,54	0,00151
5	J3 - J2	1	12,19	155	0,0014	959,66	0,00151
6	J2 - J6	1	11,59	180	0,0014	636,88	0,00462
7	J6 - J14	1	11,39	150	0,0014	547,34	0,00440
8	J14 - J38	10	11,79	253	0,0014	734,77	0,00592
9	J38 - Main Fan	1	10,38	110	0,0014	406,76	0,00396
10	Main Fan						

Jadi, total resistensi lubang pendidikan adalah
 $0,00093 + 0,00075 + 0,00403 + 0,00151 + 0,00151 + 0,00462 + 0,00440 + 0,00592 + 0,00396$
 $= 0,03449 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$

Perhitungan *head loos* pada sistem ventilasi yang akan diterapkan pada lubang pendidikan yaitu menggunakan persamaan Atkinson yaitu:

$$HL = Rt \times Q^2$$

Keterangan : HL = Head Loss (Pa)

Rt = Tahanan total (Ns²/m⁸)

Q = Kuantitas udara (m³/detik)

Dari spesifikasi mesin angin 37,5 KW, kuantitas (Q) yang dihasilkan adalah 12,5 m³/detik, karena mesin angin yang akan dipasang paralel maka dikalikan 2 sehingga

$$Q = 12,5 \text{ m}^3/\text{detik} \times 2 = 25 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Maka : } HL = 0,03449 \text{ Ns}^2/\text{m}^8 \times (25 \text{ m}^3/\text{detik})^2 = 21,556 \text{ Pa}$$

5.2 Pembahasan

5.2.1 Debit Udara Sawahluwung

Jaringan ventilasi Sawahluwung PT Bukit Asam Tbk UPO memberlakukan sistem ventilasi *exhaust* dimana udara dihisap melalui Adit Sawahluwung +214 sebesar 23 m³/detik, Adit Sawahluwung +223 sebesar 6,5 m³/detik, Lurah Sapan II sebesar 5 m³/detik. Udara yang dihisap dan dikeluarkan melalui *main fan* atau mesin angin induk sebesar 35,1 m³/detik, ada selisih debit udara yang masuk dan keluar yaitu sebesar 0,6 m³/detik. Udara yang keluar lebih besar dari pada udara yang masuk hal ini terjadi karena ada udara yang masuk melalui rekahan dan terowongan lama dari arah Lurah Sapan I.

5.2.2 Temperatur Efektif dan Efisiensi Kerja

Nilai temperatur efektif di daerah Adit Sawahluwung +214 dan Adit Sawahluwung +223 dan seluruh terowongan yang diukur memenuhi Kepmen Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan ayat ke 14. untuk efisiensi kerja tambang bawah tanah Sawahluwung sudah terbilang efisien (94 – 98 %)

5.2.3 Kelembaban Udara

Berdasarkan Kepmen Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan butir ke 1 bahwa kelembaban udara pada tambang bawah tanah maksimum 85 %. untuk memenuhi kelembaban udara dengan menggunakan grafik *psychrometry* dengan perbandingan data temperatur basah dan kering. Kelembaban udara tambang bawah tanah Sawahluwung sudah memenuhi Kepmen Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan butir ke 1.

5.2.3 Kualitas Udara

Berdasarkan Kepmen Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan butir ke 2 untuk rata-rata 8 jam, karbon monoksida (CO) volumenya tidak lebih dari 0,0005 % (50 ppm), hidrogen sulfida (H₂S) volumenya tidak lebih dari 0,0001 % (10 ppm), dan metan volumenya tidak boleh dari 0,25% dalam tenggang waktu 15 menit, CO tidak boleh dari 0,04% (400 ppm). Kualitas udara terowongan Sawahluwung memenuhi Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan ayat ke 2.

5.2.4 Kebutuhan Udara Pekerja dan Alat Aktual

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan ayat ke 3. perlu diketahui kebutuhan udara para pekerja diperhitungkan berdasarkan jumlah pekerja terbanyak pada suatu lokasi kerja dengan ketentuan untuk setiap orang tidak kurang dari 2 meter kubik per menit (0,03 m³/detik) selama pekerjaan berlangsung dan ditambah sebanyak 3 meter kubik per menit (0,05m³/detik) untuk setiap tenaga kuda, apabila mesin diesel dioperasikan.

Berikut kebutuhan udara para pekerja pada saat beroperasi. Kebutuhan udara minimal berdasarkan jumlah udara untuk pekerja sebesar 1,00 m³/detik sedangkan untuk kebutuhan udara minimal untuk alat sebesar 13,65 m³/detik . Dari jumlah kebutuhan udara minimal para pekerja dan alat memenuhi Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan ayat ke 3 karena, debit udara yang masuk sebesar 29,50 m³/detik.

5.2.5 Debit Udara Lubang Pendidikan

Dari hasil analisis perhitungan untuk kebutuhan udara lubang pendidikan menggunakan mesin angin induk exhaust 50 HP paralel, kuantitas dari spesifikasi mesin angin adalah $12,5 \times 2 = 25$ m³/s. debit udara yang masuk berdasarkan perhitungan adalah 10,4 m³/s. Debit udara yang dihasilkan untuk mesin angin forcing 25 HP untuk satu lubang pendidikan sebesar 5,4 m³/s.

5.2.6 Kebutuhan Udara Kegiatan Pendidikan

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan ayat ke 3. perlu diketahui kebutuhan udara para pekerja diperhitungkan berdasarkan jumlah pekerja terbanyak pada suatu lokasi kerja dengan ketentuan untuk setiap orang tidak kurang dari 2 meter kubik per menit (0,03 m³/detik) selama pekerjaan berlangsung dan ditambah sebanyak 3 meter kubik per menit (0,05 m³/detik) untuk setiap tenaga kuda, apabila mesin diesel dioperasikan

Kebutuhan udara minimal berdasarkan jumlah udara untuk kegiatan pendidikan sebesar 1,2 m³/s dengan jumlah 40 orang. Sedangkan untuk kebutuhan udara minimal untuk alat penunjang sebesar 3,75 m³/s, sehingga

kebutuhan udara total adalah $1,2 \text{ m}^3/\text{s} + 3,75 \text{ m}^3/\text{s} = 4,94 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari jumlah kebutuhan udara minimal para pekerja dan alat sudah memenuhi Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 pasal 370 bagian kedelapan ayat ke 3 karena, debit udara yang masuk sebesar sebesar 5,4 m³/s.

5.2.7 Perbandingan biaya yang diperoleh dari mesin angin 150 HP dan mesin angin 2 x 50 HP adalah Rp. 41.441.904/bulan, jika dihitung satu tahun maka Rp. 41.441.904 x 12 = Rp 497.302.848/tahun

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

1. Sistem ventilasi pada tambang bawah tanah Sawahluwung menggunakan sistem hisap (*exhaust system*). Kuantitas udara yang dikeluarkan *main Fan* sebesar 35,10 m³/detik sedangkan kuantitas udara masuk yaitu sebesar 34,50 m³/detik melalui tiga lubang masuk yaitu Adit Sawah Luwung +214 sebesar 23,00 m³/detik, Adit Sawah Luwung +223 sebesar 6,50 m³/detik dan Lurah Sapan II sebesar 5,00 m³/detik. Jumlah udara masuk dengan udara keluar ada perbedaan sebesar 0,60 m³/detik yang disebabkan adanya kebocoran udara pada saluran dinding *Mine fan*.
2. Seiring menuju pasca tambang, PTBA UPO berencana membuat dan mempersiapkan lubang pendidikan sebagai sarana edukasi bagi dunia pendidikan dan masyarakat. Untuk kebutuhan udara minimal pada kegiatan lubang pendidikan yang meliputi pekerjaan yaitu 1,2 m³/detik dan kebutuhan udara untuk alat yaitu 3,75 m³/detik.
3. Sistem ventilasi yang digunakan untuk lubang pendidikan yaitu sistem *exhaust* dengan mesin angin *exhaust* 50 HP paralel dan untuk lubang pendidikan menggunakan *forcing* 25 HP.
4. Terjadinya penghematan biaya pemakaian 1 istriki antara mesin angin 150 HP (110 KW) dengan 50 HP paralel (75 KW) sebesar Rp. 41.441.904/bulan, dengan penggunaan mesin angin 59 HP PT BA UPO tidak perlu investasi mesin angin yang baru.

6.2. Saran

1. Untuk menjaga kuantitas dan kualitas udara tambang bawah tanah, maka harus tetap dilakukan pengontrolan secara rutin baik itu pengontrolan harian, mingguan ataupun bulanan.
2. Untuk memperpendek jalur ventilasi perlu dilakukan penutupan dan pendedaman pada daerah J6-J8, J7-J9, J1-Bak Pompa LS II, sekaligus percepatan pembuatan lubang mesin angin *exhaust*.
3. Pada saat lubang pendidikan sawahluwung sudah dipergunakan untuk pelatihan / edukasi maka pendampingan dari pihak PT BA UPO harus selalu ada, kecuali bila sudah dikelola oleh pihak atau lembaga lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] A. F. Bafnis. *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah Ombilin 1 (Sawahluwung) PT. Bukit Asam – UPO*. Jurnal Bina Tambang Vol 1 no 2. (2014).
- [2] Keputusan Meteri Pertambangan dan Energi NOMOR : 555.K / 26 / M.PE / 1995 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum
- [3] B. Heriyadi. *Rancangan dan Pembuatan Alat Simulasi Sistem Ventilasi Tambang Pada Laboratorium untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang*. Jurnal Sains dan Teknologi Vol 17 no 2. (2017).
- [4] H.L Hartman, R.V. Ramani, J.Y. Mutmansky. *Mine Ventilation and Air Conditioning / Third Edition*. Canada : John Wiley & Son, Inc. Vol.3, P.7 (1997)
- [5] H.L Hartman, R.V. Ramani, J.Y. Mutmansky. *Mine Ventilation and Air Conditioning / Second Edition*. Canada : John Wiley & Son, Inc. Vol.3, P.7 (1982)
- [6] K. C. Pandiangan, L. N. Huda, A. J. M. Rambe. *Analisis Perancangan Sistem Ventilasi dalam Meningkatkan Penyamanan Termal Kerja di Ruang Formulasi PT.XYZ*. Jurnal Teknik Industri FT USU Vol. 1, No. 1 (2013).
- [7] Endri O, dkk. *Penelitian K3 Penyanggaan pada Penambangan Long Wall Seni Mekanis Batubara Bawah Tanah dalam Rangka Mendukung Penyusunan Kebijakan K3 Tambang di Minerbapabum*. Jurnal Penelitian 5.6. Tekmira. (2010)
- [8] A. Asmunandar. *Evaluasi dan Rancangan Sistem Ventilasi Pada Lubang Tambang BMK-35 CV. Bara Mitra Kencana, Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kota Sawahlunto*. Jurnal Bina Tambang Vol.3, No.3 (2018).
- [9] Wiyono dan Sudarsono. 2001. "Diktat Kuliah Ventilasi Tambang". Jurusan Teknik Pertambangan, UPN "Veteran". Yogyakarta.
- [10] Sugiono. *Metode Penelitian Pendidikan* Alfabeta. Bandung. (2009).
- [11] A. Febrianda. *Analisis Sistem Ventilasi Tambang Untuk Kebutuhan Operasional Penambangan Pada Tambang Bawah Tanah*. Jurnal Penelitian Vol.3, No.7. (2016)