

Evaluasi dan Penyesuaian Sistem Ventilasi Pada Tambang Batubara Bawah Tanah Lubang 02 PT.Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

Rizki Putri Bungo* and Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

* rizkiputribungo@gmail.com

**bambang_heriyadi@yahoo.co.id

Abstract. PT.Cahaya Bumi Perdana is one of the underground coal mining companies in Sawahlunto City that applies the room and pillar mining method. The ventilation system used is a forcing system by arranging the blower in a relay. The blower system installation is not followed by the suction blower installation, so that dirty air is not immediately circulated out. Dirty air resulting from mining activities from one front is pumped back to the next front and increases the increase in dust density and temperature. From the results of temperature measurements in the main 02 hole (L02U) 28.6°C and in the accompaniment 02 hole (L02P) 26.9°C. The average humidity in L02U is 91.4% and in L02P 90.3%. This is contrary to government regulations in Kepmen 1827 K / 30 / MEM / 2018 which states "Air temperatures in underground mines must be maintained between 18°C to 24°C with a maximum relative humidity of 85%" so evaluation must be carried out. The total air requirement for mining activities in L02U is 12.6032 m³ / sec and in the L02P hole is 11.3205 m³ / sec. To meet these needs, the main hole requires 9 blowers and the accompanying hole needs 6 blowers, so that each hole must be added by 1 blow blower. In order to make the hole condition more comfortable, it needs to be added with a suction fan unit to accelerate the transportation of dirty air to the outside of the hole. Ventilation system modeling produces 3D ventilation system models before and after the addition of a blower.

Keywords: Blower, Temperature, Humidity, Speed, Evaluation, Ventilation System Modeling

1. Pendahuluan

Sistem penambangan terdiri dari tambang terbuka, tambang bawah tanah dan tambang bawah air. Tambang terbuka adalah segala kegiatan atau aktivitas penambangan yang dilakukan dekat permukaan, tempat kerjanya berhubungan langsung dengan udara luar dan dipengaruhi oleh cuaca. Tambang bawah tanah adalah segala kegiatan atau aktivitas penambangan yang dilakukan di bawah permukaan bumi dan tempat kerjanya tidak langsung berhubungan dengan udara luar. Tambang bawah air adalah segala kegiatan penggaliannya dilakukan dibawah permukaan air atau endapan mineral berharganya terletak di bawah permukaan air.

PT.Cahaya Bumi Perdana adalah salah satu perusahaan penambangan batubara yang melakukan kegiatannya dengan menggunakan sistem tambang

bawah tanah. Kegiatan penambangannya dilakukan dengan menggunakan metode *room and pillar*. Alat yang digunakan untuk penggaliannya menggunakan alat semi mekanis yaitu *jack hammer*.

Sebagai pemegang izin usaha pertambangan operasi produksi pada PT.Cahaya Bumi Perdana wajib menerapkan kaidah pertambangan yang baik dan benar (*good mining practice*) salah satunya mengenai keselamatan dan kesehatan kerja khususnya pada kegiatan penambangan bawah tanah. Hal tersebut sejalan dengan upaya pemerintah Republik Indonesia dalam mencegah kecelakaan kerja yang diatur dalam Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.1827 K/30/MEM/2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum yang mengkaji tentang ventilasi mengalirkan udara segar ke dalam tambang bagi pernafasan pekerja dan proses lain yang memerlukan udara. Kegiatan tambang bawah tanah

pada PT.Cahaya Bumi Perdana memiliki 6 lubang bukaan tambang dengan memiliki kondisi ventilasi yang berbeda-beda yaitu L01, L02, L03, L0, L05, dan L06.

Ventilasi tambang harus benar-benar diperhatikan karena dengan semakin dalamnya penggalian maka jarak antara mesin angin bantu akan semakin jauh, sehingga faktor ini dapat mengurangi kuantitas udara pada *front* penambangan, mengganggu produktivitas dan kenyamanan pekerja di dalam tambang. Apabila tidak ada ventilasi dalam tambang bawah tanah maka kemungkinan besar para pekerja akan susah bernafas dan yang terburuk bisa menyebabkan kematian

Pada kegiatan tambang bawah tanah dibutuhkan ventilasi tambang, gunanya untuk memasukkan udara segar yang dibutuhkan oleh pekerja tambang. Berdasarkan pemeriksaan awal sistem ventilasi yang digunakan di lubang L02 hanya menggunakan sistem ventilasi hembus, selain itu peneliti juga menemukan bocornya *duct*. yang mengakibatkan kehilangan sirkulasi udara. Sehingga menyebabkan kuantitas dan kualitas udara berkurang, serta temperatur efektif dan kelembaban relatif meningkat melebihi ambang batas.

Pada Lubang 02 PT. Cahaya Bumi Perdana terdapat beberapa cabang yang telah selesai ditambang. Cabang tersebut tidak ditutup dan tidak dialiri udara, sehingga kemunculan gas berbahaya masih bisa terjadi. Ketentuan untuk menutup lubang yang telah ditinggalkan tertera di Kepmen 1827 K/30/MEM/2018, yang berbunyi “Jalan-jalan udara ke bagian tempat kerja yang telah ditinggalkan harus ditutup dengan cara yang disetujui Kepala Pelaksana Inspeksi Tambang dan dilengkapi dengan sarana pengambilan percontohan udara”.

Berberapa kebocoran masih terdeteksi pada jalur ventilasi. Kebocoran tersebut disebabkan karena tekanan dari blower yang terlalu besar dan belokan serta percabangan *duct* yang memberikan tekanan yang tidak merata dan berpusat di beberapa titik saja. Kebocoran ini menyebabkan kehilangan udara yang dapat merugikan, karena jumlah udara yang harusnya *disupply* ke *front* menjadi berkurang.

Dari hasil pengukuran peneliti di beberapa titik pengukuran di L02U didapatkan nilai temperatur efektif di Lubang 02 Utama adalah 28,6 °c, dengan kelembaban udara rata-rata 91,4%. Sedangkan pada L02P nilai temperatur efektifnya adalah 26,9 °c dengan kelembapan udara rata-rata 90,3%. Kondisi ini melebihi aturan yang seharusnya didalam Kepmen 1827 K/30/MEM/2018 temperatur udara didalam tambang bawah tanah harus dipertahankan antara 18 derajat celcius sampai dengan 24 derajat celcius dengan kelembapan relatif maksimum 85 persen”. Kondisi ini juga diperjelas dengan keadaan para pekerja didalam lubang dimana para pekerja sering merasa kegerahan dan juga tidak memakai baju. Hal ini dijelaskan dalam Kepmen 1827 K/30/MEM/2018 Tentang pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik sebagai acuan nya dioperasikan dengan optimal disesuaikan dengan kebutuhan untuk para pekerja agar bekerja menjadi aman dan nyaman

Untuk dapat memenuhi kebutuhan udara para pekerja

pada tambang batubara bawah tanah perlu dilakukan pengkajian terhadap beberapa parameter yang meliputi jumlah pekerja, emisi gas metan dan gas yang lainnya yang dinetralisir, peralatan yang beroperasi di area penambangan serta kondisi temperatur dan kelembaban udara. Dengan dilakukan pengkajian pada parameter ini dapat ditentukan temperatur efektif dan kelembaban relatif *front* kerja untuk memenuhi kebutuhan udara segar baik untuk pekerja dan alat-alat mekanis.

Berdasarkan masalah diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Evaluasi dan Penyesuaian Sistem Ventilasi Pada Tambang Batubara Bawah Tanah Lubang 02 PT.Cahaya Bumi Perdana,Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat".



Gambar 1.kebocoran duct di lubang 02 PT. Cahaya Bumi Perdana

2. Tinjauan Pustaka

Lokasi Penelitian

Kegiatan Operasi Produksi Batubara PT. Cahaya Bumi Perdana, berada di Kumanis Desa Tumpuk Tengah, Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto. Lokasi kegiatan penambangan dapat ditempuh dari pusat Kota Sawahlunto – Kumanis (+ 15 Km jalan Kota beraspal)- Lokasi (+ 2,5 Km jalan tanah diperkeras).



Gambar 2.Peta Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT. Cahaya Bumi Perdana

Kegiatan penambangan batubara telah dilaksanakan sejak tahun 2006 setelah memperoleh Kuasa Pertambangan Eksploitasi berdasarkan keputusan Walikota Sawahlunto Nomor 05-41,

Perindagkop tanggal 15 Februari 2006 (KW/ 1373/ CBP/ 6607) dengan jangka waktu 5 tahun. Secara administrasi lokasi Kuasa Pertambangan (KP) Eksploitasi tersebut berada di Kumanji, Desa Tumpuk Tengah, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat dengan luas 103,10 Ha.

Izin tersebut kemudian dilakukan penyesuaian dari Kuasa Pertambangan (KP) menjadi Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi. Sesuai dengan yang telah diamankan Undang-undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Perubahan istilah perizinan tersebut dituangkan dalam keputusan Walikota Sawahlunto Nomor 05- 83, Perindagkop tahun 2010 tentang persetujuan perubahan Kuasa Pertambangan Eksploitasi menjadi Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi.

Ventilasi tambang dapat dibagi menjadi dua macam yaitu ventilasi alami dan ventilasi buatan, dalam pembahasan kali ini juga membahas tentang ventilasi alami dengan udara yang mengalir dalam terowongan di bawah tanah sangat penting untuk mengatur tingkat kenyamanan para pekerja yang ada dilokasi tersebut. Berdasarkan beberapa literatur, kenyamanan manusia saat berada pada lubang terowongan bawah tanah pada saat ventilasi berfungsi sesuai dengan yang diinginkan.

Bahwasanya jika temperatur udara di area produksi berada diatas ambang rata-rata yang diperoleh oleh KEPMEN-1827 K/30/MEM/2018 yaitu berkisar antara 18°C-24°C maka kondisi kerja para penambang akan mengalami penurunan efisiensi. Dapat diasumsikan terjadi berbagai jenis sumber panas yang dapat meningkatkan suhu udara di area tambang bawah tanah. Diantaranya panas dari batuan, panas dari peralatan yang kita gunakan, dan panas dari badan para pekerja yang bekerja.

Desain ventilasi yang baik dapat memberikan udara segar untuk meningkatkan lingkungan kerja yang nyaman dan penyaluran udara yang baik, oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk optimalisasi terhadap sistem ventilasi tambang.

Volume udara (Q), dapat ditentukan dari hasil perkalian antara kecepatan rata-rata udara (V) dengan luas penampang melintang saluran udara (A), berikut merupakan persamaan volume udara ($Q=V \times A$) dengan satuan Q adalah m^3/s , V adalah m/s , dan A adalah m^2

Udara bersih sangat dibutuhkan dalam tambang bawah tanah untuk menunjang kegiatan penambangan. Salah satunya dengan memperhatikan pasokan aliran udara bersih yang masuk ke *decline* sangat kecil dibandingkan pasokan aliran udara bersih yang masuk ke *x-cut*.

Masalah umum di seluruh dunia yang saat ini dialami oleh tambang batubara bawah tanah adalah bahaya yang disebabkan oleh lingkungan panas bawah tanah, yang juga mendorong kebutuhan akan langkah-langkah mengurangi resiko yang dapat menjamin untuk membantu operator tambang mengendalikan tekanan panas bagi para penambang sekaligus mempertahankan operasi normal dari tambang. Gagasan keseimbangan panas digunakan untuk menetapkan persamaan perhitungan temperatur. Berbagai sumber panas bawah tanah (tekanan udara, oksidasi dinding, panas bawah tanah, Mesin, dan lain-lain).

3. Metode Penelitian

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu (Sgiono, 2013:2). Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian yang bersifat Terapan, dimana hasil penelitian yang dilakukan dapat segera diaplikasikan di perusahaan.

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang peneliti lakukan adalah penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah menerapkan, menguji, mengevaluasi kemampuan suatu teori yang diterapkan dalam memecahkan masalah-masalah praktis. Penelitian terapan ini digolongkan menurut tujuan, penelitian yang bertujuan untuk menemukan pengetahuan yang secara praktis dapat diaplikasikan. Walaupun ada kalanya penelitian terapan juga untuk mengembangkan produk penelitian dan pengembangan bertujuan untuk menemukan, mengembangkan dan memvalidasi suatu produk

Teknik Pengumpulan Data

Dalam teknik pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu:

Studi Lapangan

Yaitu cara mendapatkan data yang dibutuhkan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan atau tempat penelitian, stasiun pemantauannya adalah jalur utama masuk udara (*intake air way*) dan jalur utama keluar udara (*outlet air way*), percabangan, dan *front* kerja. Hal yang diukur antara lain adalah kandungan gas, temperatur udara, kelembaban, kecepatan udara, penampang terowongan dan penampang *air duct*.¹ Disini akan dijelaskan teknik pengumpulan data mengenai pengukuran yang secara langsung di lapangan sebagai berikut:

1. Pengukuran kandungan gas

Untuk mengukur kandungan gas pada terowongan atau lubang tambang digunakan alat *multigas detector*, dimana alat ini diarahkan ke sekeliling penampang stasiun pengamatan di lubang tambang dengan cara konstan untuk mengukur kandungan gas rata-rata.

2. Pengukuran temperatur dan kelembaban udara

Untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara pada terowongan atau lubang tambang maka digunakan alat *digital sling psychrometer*, di mana alat ini diarahkan ke sekeliling penampang sepanjang lubang tambang dengan cara konstan untuk mengukur temperatur kering dan temperatur basah. Kemudian untuk menentukan kelembaban udara digunakan tabel *relative humidity*.

3. Pengukuran kecepatan udara

Untuk mengukur kecepatan udara maka digunakan alat *anemometer*. Alat ini diletakkan di dalam aliran udara untuk

memutar baling-baling, dimana kecepatan udara atau jarak tempuh aliran udara per satuan waktu dapat diperoleh dari jumlah putaran dalam waktu tertentu.

4. Pengukuran penampang terowongan dan penampang *air duct*

Untuk mengukur luas penampang atau jarak kemajuan penambangan dan penampang *air duct*, maka digunakan alat *laser distance meter*. Kemudian hasil pengukurannya untuk menghitung selisih antara penampang terowongan dengan penampang *air duct*.

Studi Pustaka

Yaitu mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan membaca buku-buku literatur yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas dan data-data serta arsip perusahaan sehingga dapat digunakan sebagai landasan dalam pemecahan masalah.

Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data bertujuan untuk mengetahui bagaimana cara dan proses untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi sesuai dengan tujuan yang sudah ditetapkan. Pada pengolahan data ini ada beberapa hal yang akan dibahas yaitu:

1. Mengikuti, mengamati, dan menganalisa secara langsung kegiatan di lapangan.
2. Analisis sistem ventilasi tambang untuk menentukan kualitas dan kuantitas udara pada jalur utama (*intake air way* dan *outlet air way*), percabangan, dan *front* kerja tambang bawah tanah PT. CBP dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Kualitas

1. Analisis kualitas udara berdasarkan data pengukuran dengan *multi gas detector*
2. Menentukan temperatur efektif menggunakan grafik temperatur efektif
3. Menentukan kelembaban relatif menggunakan tabel *relative humidity*

Mencari luas penampang

1. Terowongan

$$A = \left\{ \frac{a+b}{2} \right\} \times h$$

2. Duct

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

Perhitungan kuantitas udara

$$Q = V \times A$$

Dalam perancangan ventilasi lubang tambang L02 akan menggunakan sistem ventilasi *exhaust fan*. Dalam perancangan sistem ventilasi tersebut akan disesuaikan dengan aturan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi nomor: 1827 K/30/MEM/2018. Berikut merupakan acuan dalam perancangan sistem ventilasi yang akan digunakan:

1. Mempertahankan temperatur efektif udara dikisaran 18°-24° C dan kelembaban relatif maksimum 85 %
2. Mempertahankan kualitas udara oksigen tidak kurang dari 19,5%.
3. Mempertahankan kuantitas udara untuk kebutuhan pernafasan pekerja 2 m³/menit dan alat 3 m³/menit.
4. Menetralisir adanya gas metan agar volumenya tidak melebihi 0,25%.

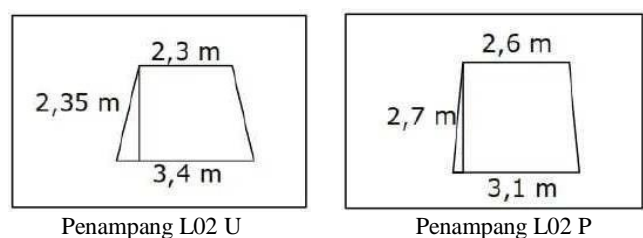
4. Hasil dan Pembahasan

Pengumpulan Data

Jenis data ini merupakan data yang diperoleh berdasarkan penelitian langsung dilapangan terutama sistem ventilasi tambang bawah tanah. Data tersebut berupa pengamatan aplikasi di lokasi penambangan dan pengukuran secara langsung. Layout ventilasi L 02 dapat dilihat pada gambar 4. Berikut merupakan data yang penulis peroleh dari lapangan:

Ukuran penampang/geometri terowongan

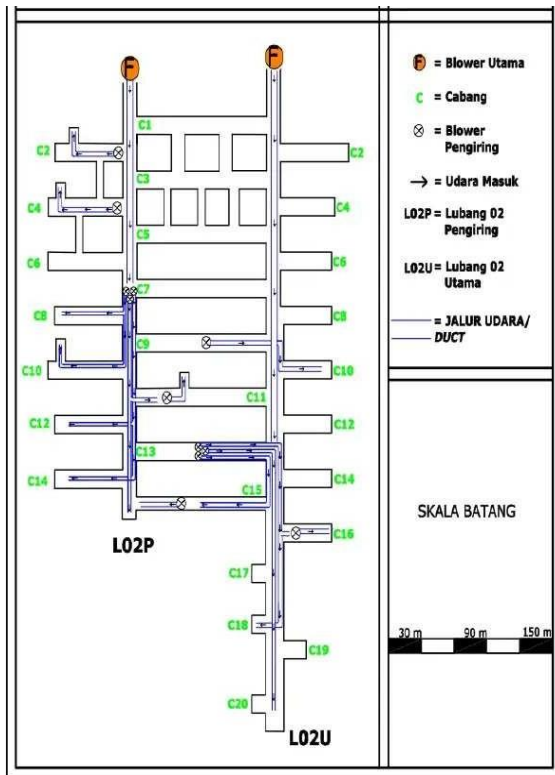
Geometri penampang terowongan yang diukur yaitu pada lubang utama, percabangan dan *front* kerja pada lubang tambang L 02 menggunakan alat meteran. Penampang terowongan pada lubang utama *front* kerja berbentuk trapesium. Hasil pengukuran dimensi lubang bukaan terlihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Hasil Pengukuran dimensi lubang bukaan

Dimana $L = \frac{a+b}{2} \times h$

Layout ventilasi L 02 dapat dilihat pada gambar 4 berikut :



Gambar 4. Layout Evaluasi Sistem Ventilasi L02

Pengukuran Dimensi Lubang

Metode penggalian lubang pada tambang bawah tanah PT.CBP dilakukan dengan cara manual, penggalian saat ini masih menggunakan *Jack Hammer*, dan untuk pengangkutan menggunakan sekop, gerobak, dan lori. Tabel 1 berikut merupakan hasil pengukuran dimensi lubang

Tabel 1. Pengukuran dimensi lubang

| NO | LOKASI | LA (m) | LB (m) | T(m) |
|----------------------------|-------------|--------|--------|------|
| LUBANG 02 UTAMA | | | | |
| 1 | LUBANG 02 U | 3 | 3,8 | 2,5 |
| 2 | CABANG 10 | 2,3 | 3,4 | 2,3 |
| 3 | CABANG 12 | 2,4 | 3,5 | 2,4 |
| 4 | CABANG 13 | 2,4 | 3,3 | 2,6 |
| 5 | CABANG 14 | 2,4 | 3,6 | 2,3 |
| 6 | CABANG 15 | 2,4 | 3,5 | 2,3 |
| | RATA-RATA | 2,3 | 3,4 | 2,35 |
| LUBANG 02 PENGERING | | | | |
| 7 | LUBANG 02 P | 3 | 3,5 | 3 |
| 8 | CABANG 6 | 2,4 | 3,2 | 2,2 |
| 9 | CROSSCUT 02 | 2,3 | 2,4 | 2,1 |
| 10 | CABANG 08 | 2,3 | 3,1 | 2,6 |
| 11 | CABANG 10 | 2,5 | 3,2 | 2,7 |
| 12 | CABANG 12 | 2,6 | 3,1 | 2,7 |
| | RATA-RATA | 2,6 | 3,1 | 2,7 |

Pengukuran Kecepatan Udara, Temperatur, dan Kelembapan Relatif di L02U dan L02P

Kecepatan udara diukur menggunakan alat *anemometer* dan Untuk mengukur temperatur dan kelembapan relatif pada lubang 02 PT. CBP menggunakan alat *Slink physycometri*.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara, Temperatur, Temperatur, dan Kelembapan Relatif

| NO | LOKASI | DT (°C) | DW (°C) | V (m/dtk) | Rh (%) | A (m ²) | Q (m ³ /dtk) |
|----------------------------|--------------------|---------|---------|-----------|--------|---------------------|-------------------------|
| LUBANG 02 UTAMA | | | | | | | |
| 1 | C10 | 27,6 | 28,1 | 7,16 | 88 | 0,072 | 0,5155 |
| 2 | C11 | 26,2 | 27 | 9,96 | 87 | 0,072 | 0,7171 |
| 3 | Ujung blower utama | 28,1 | 28,6 | 5,25 | 88 | 0,785 | 0,4121 |
| 4 | C14 | 28,8 | 29,1 | 3,66 | 90 | 0,072 | 0,2635 |
| 5 | C15 | 29,6 | 29,7 | 8,1 | 95 | 0,072 | 0,5832 |
| 6 | Jalan masuk C16 | 29,6 | 29,8 | 7,5 | 92 | 0,072 | 0,5400 |
| 7 | C16 | 29,6 | 29,7 | 9,6 | 96 | 0,072 | 0,6912 |
| 8 | C16 | 30,3 | 30,5 | 3,34 | 96 | 0,072 | 0,2404 |
| 9 | C18 | 29 | 29,3 | 6,79 | 91 | 0,072 | 0,4888 |
| | Rata-rata | 2,87 | 29,1 | 6,81 | 91,4 | | 4,4518 |
| LUBANG 02 PENGERING | | | | | | | |
| 1 | C4 | 29,1 | 29,1 | 6,44 | 99 | 0,129 | 0,83076 |
| 2 | C2 | 29,3 | 29,3 | 9,87 | 99,9 | 0,129 | 1,27323 |
| 3 | C16 | 26,7 | 27,1 | 10,08 | 90,3 | 0,129 | 1,30032 |
| 4 | Ujung blower utama | 27,2 | 28 | 11,16 | 90 | 0,164 | 1,83024 |
| 5 | C8 | 26,3 | 26,7 | 6,29 | 89,8 | 0,129 | 0,81141 |
| 6 | C10 | 26,7 | 27 | 6,38 | 92,4 | 0,129 | 0,82302 |
| 7 | C12 | 25,8 | 26,7 | 6 | 88 | 0,129 | 0,774 |
| 8 | C14 | 27,5 | 27,8 | 2,42 | 91,6 | 0,129 | 0,31218 |
| 9 | C15 | 26,3 | 26,9 | 3,48 | 85,6 | 0,129 | 0,44892 |
| 10 | Front maju | 26,1 | 26,8 | 5,3 | 85,8 | 0,129 | 0,6837 |
| | Rata-rata | 26,7 | 27,1 | 6,78 | 90,3 | | 9,088 |

Hasil Pengukuran Kandungan Gas Pengotor

Ada beberapa macam gas pengotor dan berbahaya yang terdapat dalam tambang batubara, diantaranya gas metan, karbon monoksida, dan karbon dioksida. untuk mengukur kandungan gas di *front* digunakan alat *gas detector*.

Tabel 3 berikut merupakan hasil pengukuran kandungan gas pengotor di lubang 02.

Tabel 3. Hasil pengukuran kandungan gas pengotor di lubang 02

| LOKASI | CO (%) | H ₂ S (%) | O ₂ (%) | CH ₄ (%) |
|-------------------------------------|--------|----------------------|--------------------|---------------------|
| NAB Sesui Kepmen 1827 K/30/MEM/2018 | | | >19,5 | |
| 30 m surface L02U | 0 | 0 | 20,9 | 0,1 |
| CABANG 10 L02U | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 16 L02U | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 18 L02U | 0 | 0 | 20,9 | 0,1 |
| 30 m surface L02P | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 2 L02 | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 4 L02 | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 8 L02 | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 10 L02 | 0 | 0 | 20,9 | 0 |
| CABANG 12 L02 | 0 | 0 | 20,9 | 0 |

Kebutuhan Udara Total

a. Kebutuhan Udara bagi Pernafasan Para Pekerja

Untuk kebutuhan pernafasan setiap pekerja, telah diatur di dalam Kepmen, yaitu sebesar 2 m³/menit perorang, atau 0,03 m³/detik perorang. Dengan jumlah pekerja sebanyak 31 orang/lubang, kebutuhan udara pernafasan dirancang untuk 31 orang dengan rincian:

- Pekerja tambang = 28 orang
- Instalasi listrik = 1 orang
- Helper = 1 orang
- Pengawas = 1 orang

Maka jumlah udara pernafasan perlubang adalah:

$$Q \text{ Pernafasan} = 31 \text{ orang} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{dtk} \\ = 0,93 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

b. Kebutuhan udara untuk mendilusi gas metan

$$Y = 4,1 + 0,023 X \\ = 4,1 + 0,023 (170 \text{ m}) \\ = 8,93 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton batubara}$$

Keterangan :

Y=Jumlah keluaran gas metan (m³/ton)

X=Kedalaman penambangan(m) (kedalaman dari permukaan sampai lubang penggalian maju) Sehingga jumlah emisi gas metan yaitu:

$$Qg = \text{rata-rata produksi/gilir} \times \text{jumlah pancaran gas metan} \times 1/\text{waktu efektif jam kerja pergilir (8jam)} \\ = 55,77 \text{ ton batubara /gilir} \times 8,93 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton batubara} \times 1/28.800 \text{ dtk} \\ = 0,017 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Keterangan:rata-rata produksi pergilir merupakan rata-rata hasil produksi di kedua lubang dalam periode 2 bulan penelitian.

Maka kuantitas udara untuk mendilusi gas metan diperoleh dengan perhitungan seperti persamaan di bawah ini.

$$Q = [Qg / (MAC - B)] - Qg \\ = [0,017 \text{ (m}^3/\text{dtk)} / (0,25 - 0,1)] - 0,017 \\ Q = 0,096 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Keterangan :

Qg = Jumlah emisi gas metan (m³/dtk)

Q = Jumlah Udara untuk menetralkan gas(m³/dtk)

MAC = *Maximum Allowable Concentration* (0,25%)

B = Konsentrasi gas metan dalam udara normal (0,1%)

c. Kebutuhan Udara untuk Mengontrol Panas dan Kelembaban

Pergeseran batuan yang diakibatkan karena adanya gangguan geologi (*fault, amblegan/subsidence*, atau atap runtuh) akan menimbulkan panas.

Untuk mengantisipasi panas yang berlebihan maka diatur bahwa kuantitas udara untuk mengontrol panas dan kelembaban adalah 0,5-2,5 m/dtk dikalikan dengan luas terowongan/lubang (Departemen ESDM BDTBT,2009:27). Sebagai antisipasi maka kecepatan udara untuk mengontrol panas dan kelembaban diambil pada angka 1 m/dtk

• L02U

$$Q = V \times A \\ = 1 \text{ m/dtk} \times 7,695 \text{ m}^2 \\ = 7,695 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

• L02P

$$Q = V \times A \\ = 1 \text{ m/dtk} \times 6,697 \text{ m}^2 \\ = 6,697 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

4. Kebutuhan udara untuk penggalian lubang maju

Dalam kegiatan penambangan bawah tanah, penggalian dilakukan di setiap cabang dan di *front* penggalian lubang maju. Oleh karena itu berdasarkan Buku Diklat Kepala Tambang dan Kepala Lubang Tambang Batubara Bawah Tanah Tahun 2009 menjelaskan perlunya penyediaan udara di *front* penggalian lubang maju dengan kecepatan 0,3 m/dtk dengan jumlah udara:

• Q L02U

$$Q = V \times A \\ = 0,3 \text{ m/dtk} \times 7,695 \text{ m}^2 \\ = 2,3085 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

• Q L02P

$$Q = V \times A \\ = 0,3 \text{ m/dtk} \times 6,697 \text{ m}^2 \\ = 2,0091 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka, kebutuhan udara total di lubang 02 dapat dilihat pada tabel 4 berikut

Tabel 4. kebutuhan udara total di lubang 02 PT.CBP

| KEBUTUHAN (m ³ /dtk) | LUBANG | |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| | LUBANG 02 U | LUBANG 02 P |
| PERNAFASAN | 0,93 | 0,93 |
| DILUSI GAS METAN | 0,096 | 0,096 |
| PANAS DAN KELEMBAPAN | 7,695 | 6,697 |
| UNTUK ALAT | 0,5 | 0,5 |
| PENGGALIAN LUBANG MAJU | 2,3085 | 2,0091 |
| TOTAL (m ³ /dtk) | 12,5295 | 11,2321 |

Kehilangan udara akibat kebocoran

Kehilangan udara yang terjadi di dalam lubang diakibatkan karena terjadinya kebocoran di beberapa titik.

a. Pada L02U

- Kebocoran di *duct* pada jalur utama setelah C 10 menuju C 11

$$Q = V \times A$$

$$= 5 \text{ m/dtk} \times 0,0045 \text{ m}^2$$

$$= 0,0225 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

- Kebocoran di *duct* pada jalur utama setelah C 10 menuju C 11

$$Q = 2,05 \text{ m/dtk} \times 0,025 \text{ m}^2$$

$$= 0,05125 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Kehilangan jumlah udara karena kebocoran sebesar $0,07375 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Sehingga jumlah udara yang harus di suply blower di L02U menjadi: $12,5295 \text{ m}^3/\text{dtk} + 0,0737 \text{ m}^3/\text{dtk} = 12,6032 \text{ m}^3/\text{dtk}$

b. Pada L02P

Tabel 5. Jumlah kehilangan udara akibat kebocoran di L02P

| NO | LOKASI KEBOCORAN | V (m/dtk) | A (m ²) | Q (m ³ /dtk) |
|-------|------------------|-----------|---------------------|-------------------------|
| 1 | CABANG 6 | 11,9 | 0,0025 | 0,0297 |
| 2 | CABANG 6 | 4,86 | 0,0002 | 0,0009 |
| 3 | CABANG 8 | 10,92 | 0,0035 | 0,0382 |
| 4 | CABANG 11 | 5,62 | 0,003 | 0,0168 |
| 5 | CABANG 14 | 1,93 | 0,001 | 0,0019 |
| 6 | CABANG 15 | 1,5 | 0,0005 | 0,0075 |
| TOTAL | | | | 0,0884 |

Kehilangan jumlah udara karena kebocoran sebesar $0,088482 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Sehingga jumlah udara yang harus di suply blower di L02P menjadi: $11,2321 \text{ m}^3/\text{dtk} + 0,0884 \text{ m}^3/\text{dtk} = 11,3205 \text{ m}^3/\text{dtk}$.

Menghitung kebutuhan blower setiap lubang

a. Kebutuhan Blower L02U

Pada L02U digunakan blower utama bertekanan 1000 Pa dengan kapasitas $4,15 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan blower pengiring bertekanan 300 Pa dengan kapasitas $1 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Dengan kebutuhan udara sebesar $12,6032 \text{ m}^3/\text{dtk}$, maka blower yang dibutuhkan adalah:

$$\text{JUMLAH BLOWER} = \frac{\text{KEBUTUHAN UDARA} - \text{KAPASITAS BLOWER UTAMA}}{\text{KAPASITAS BLOWER PENGIRING}}$$

$$\text{JUMLAH BLOWER} = \frac{12,6032 \text{ M}^3/\text{dtk} - 4,15 \text{ m}^3/\text{dtk}}{1 \text{ m}^3/\text{dtk}}$$

$$\text{JUMLAH BLOWER} = \frac{8,4532 \text{ m}^3/\text{dtk}}{1 \text{ m}^3/\text{dtk}}$$

$$\text{JUMLAH BLOWER} = 8,4 \text{ unit} = 9 \text{ unit}$$

Jadi, blower yang dibutuhkan di L02U adalah 1 blower utama dan 9 blower pengiring. Dengan jumlah blower yang tersedia saat ini ada 8 unit,

maka dibutuhkan 1 unit tambahan untuk mencukupi kebutuhan udara.

b. Kebutuhan blower L02P

Pada L02P digunakan blower utama bertekanan 600 Pa dengan kapasitas $1,83 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan blower pengiring bertekanan 400 Pa dengan kapasitas $1,6 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Dengan kebutuhan udara sebesar $11,3205 \text{ m}^3/\text{dtk}$, maka blower yang dibutuhkan adalah:

$$\text{JUMLAH BLOWER} = \frac{\text{KEBUTUHAN UDARA} - \text{KAPASITAS BLOWER UTAMA}}{\text{KAPASITAS BLOWER PENGIRING}}$$

$$\text{JUMLAH BLOWER} = \frac{11,3205 \text{ m}^3/\text{dtk} - 1,83 \text{ m}^3/\text{dtk}}{1,6 \text{ m}^3/\text{dtk}}$$

$$\text{JUMLAH BLOWER} = \frac{9,4905 \text{ m}^3/\text{dtk}}{1,6 \text{ m}^3/\text{dtk}}$$

$$\text{JUMLAH BLOWER} = 5,93 \text{ unit} = 6 \text{ unit}$$

Jadi, blower yang dibutuhkan di L02P adalah 1 blower utama dan 6 blower pengiring. Dengan jumlah blower yang tersedia saat ini ada 5 unit, maka dibutuhkan 1 unit tambahan untuk mencukupi kebutuhan udara.

Menghitung Elevasi Titik Percabangan di dalam Lubang

Perhitungan elevasi di setiap titik percabangan di dalam lubang penting dilakukan untuk menggambarkan pemodelan secara 3D. Metode ini dilakukan secara manual menggunakan persamaan pitagoras. Sudut kemiringan didapatkan dengan pengukuran menggunakan kompas.

Tabel 6. Pengukuran elevasi Lubang 02 PT.CBP

| NO | LOKASI | JARAK DARI TITIK SEBELUMNYA (m) | KEMIRINGAN (X°) | ELEVASI (mdpl) |
|----------------------------|-------------|---------------------------------|-----------------|----------------|
| LUBANG 02 UTAMA | | | | |
| 1 | SURFACEL02U | - | - | 232 m |
| 2 | CABANG 1 | 53 m | 45° | 194 m |
| 3 | CABANG 2 | 10 m | 47° | 186 m |
| 4 | CABANG 3 | 10 m | 40° | 180 m |
| 5 | CABANG 4 | 10 m | 35° | 174 m |
| 6 | CABANG 5 | 10 m | 34° | 169 m |
| 7 | CABANG 6 | 10 m | 30° | 164 m |
| 8 | CABANG 7 | 10 m | 30° | 159 m |
| 9 | CABANG 8 | 10 m | 33° | 153 m |
| 10 | CABANG 9 | 10 m | 38° | 147 m |
| 11 | CABANG 10 | 10 m | 40° | 141 m |
| 12 | CABANG 11 | 10 m | 42° | 134 m |
| 13 | CABANG 12 | 10 m | 38° | 128 m |
| 14 | CABANG 13 | 10 m | 40° | 121 m |
| 15 | CABANG 14 | 10 m | 45° | 114 m |
| 16 | CABANG 15 | 10 m | 45° | 107 m |
| 17 | CABANG 16 | 10 m | 47° | 100 m |
| 18 | CABANG 17 | 10 m | 39° | 94 m |
| 19 | CABANG 18 | 13 m | 40° | 82 m |
| 20 | CABANG 19 | 17 m | 42° | 71 m |
| 21 | CABANG 20 | 17 m | 32° | 62 m |
| LUBANG 02 PENGIRING | | | | |
| 1 | SURFACEL02P | - | - | 233 m |
| 2 | CABANG 1 | 37 m | 40° | 200 m |
| 3 | CABANG 2 | 10 m | 45° | 190 m |
| 4 | CABANG 3 | 10 m | 50° | 180 m |
| 5 | CABANG 4 | 10 m | 45° | 174 m |
| 6 | CABANG 5 | 10 m | 45° | 171 m |
| 7 | CABANG 6 | 11 m | 40° | 165 m |
| 8 | CABANG 7 | 11 m | 37° | 160 m |
| 9 | CABANG 8 | 12 m | 37° | 157 m |
| 10 | CABANG 9 | 12 m | 30° | 145 m |
| 11 | CABANG 10 | 10 m | 30° | 140 m |
| 12 | CABANG 11 | 10 m | 30° | 134 m |
| 13 | CABANG 12 | 11 m | 35° | 129 m |
| 14 | CABANG 13 | 11 m | 32° | 120 m |
| 15 | CABANG 14 | 11 m | 30° | 116 m |
| 16 | CABANG 15 | 11 m | 36° | 106 m |

1. Menghitung Panjang Jalur Udara yang dapat Di supply Blower

Setelah mengetahui jumlah blower yang dibutuhkan, maka analisis selanjutnya adalah menghitung panjang *duct* yang dapat di *supply* atau dialiri *duct*. Dengan mengetahui hal tersebut, maka posisi *duct* dapat ditentukan dengan baik.

a. Panjang *duct* yang dapat dicapai blower utama di L02U

Blower utama L02U bertekanan 1000 Pa dengan kapasitas 4,15m³/dtk dan berdiameter 1 m atau 40 inci.

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

Keterangan :

P = Tekanan (Pascal/Pa)

K = Koefisien *duct* (Ns²/m⁴) (Tabel 14)

C = Keliling *duct* (m)

L = Panjang *duct* (m)

Le = Panjang ekuivalen (m) (Tabel 16)

Q = Kuantitas udara (m³/dtk)

W = Berat jenis udara (kg/m³)

A = Luas *duct* (m²)

Sehingga panjang *duct* dapat dicari dengan

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

$$L + Le = \frac{1000 \times 0,785^3}{0,003 \times 3,14 \times 4,15^2 \times \frac{1,178}{1,2}}$$

$$L + Le = \frac{403,73}{1,24}$$

$$L + Le = 325 \text{ m}$$

$$L = 325 - 10 \text{ m} = 315 \text{ m}$$

Berdasarkan panjang ekuivalen *duct* adalah 10 meter, karena belokan di sistem ventilasi merupakan tipe *splitting, straight branch* (memecah / terpisah dengan lurus), dan panjang *duct* yang dapat *disupply* oleh blower utama yaitu 315 m

b. Panjang *duct* yang dapat dicapai blower pengiring di L02U

Blower pengiring L02U bertekanan 300 Pa dengan kapasitas 1 m³/dtk dan berdiameter 0,305 m atau 12 inci.

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

$$L + Le = \frac{300 \times 0,073^3}{0,003 \times 0,958 \times 1^2 \times \frac{1,178}{1,2}}$$

$$L + Le = \frac{0,1167}{1,20,0028}$$

$$L + Le = 41 \text{ m}$$

$$L = 41 - 10 \text{ m} = 31 \text{ m}$$

Jadi panjang *duct* yang dapat dicapai blower tersebut adalah 31 m

c. Panjang *duct* yang dapat dicapai blower utama di L02p

Blower utama L02P bertekanan 600 Pa dengan kapasitas 1,83 m³/dtk dan berdiameter 0,45 m atau 18 inci.

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

$$L + Le = \frac{600 \times 0,1589^3}{0,003 \times 1,413 \times 1,83^2 \times \frac{1,178}{1,2}}$$

$$L + Le = \frac{2,4072}{0,0168}$$

$$L + Le = 143 \text{ m}$$

$$L = 143 - 10 \text{ m} = 133 \text{ m}$$

Jadi panjang *duct* yang dapat dicapai blower

utama pada lubang pengiring adalah 133 meter

d. Panjang *duct* yang dapat dicapai blower pengiring di L02P

Blower pengiring L02P bertekanan 400 Pa dengan kapasitas 1,6 m³/dtk dan berdiameter 0,4 m atau 16 inci.

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

$$L + Le = \frac{400 \times 0,1299^3}{0,003 \times 1,276 \times 1,63^2 \times \frac{1,178}{1,2}}$$

$$L + Le = \frac{0,858}{0,0099}$$

$$L + Le = 86 \text{ m}$$

$$L = 86 - 10 \text{ m} = 76 \text{ m}$$

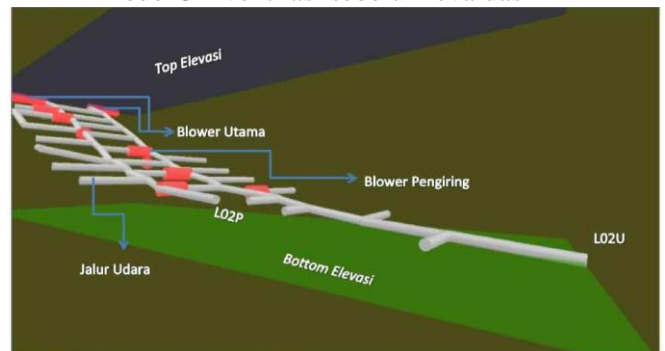
Jadi panjang *duct* yang dapat dicapai oleh blower tersebut adalah 76 m.

2. Sistem ventilasi sebelum dan setelah evaluasi

a. Sistem ventilasi sebelum evaluasi

Lubang yang lebih pendek merupakan Lubang 02 Pengiring dengan jarak dari mulut lubang sampai ke *front* penggalian maju sejauh 180 meter. Lubang pengiring ini mempunyai 15 cabang dengan panjang cabang rata-rata 50 meter. Di lubang pengiring ini terdapat 1 blower utama bertekanan 600 Pa dengan debit udara sebesar 110 m³/mnt, dan blower pengiring bertekanan 400 Pa dengan dengan debit udara 96 m³/mnt. Untuk lubang 02 Utama terdiri dari 20 cabang dengan panjang lubang 252 m. *Supply* udara untuk lubang utama ini disediakan oleh blower utama bertekanan 1000 Pa dengan debit udara 250 m³/mnt dan 8 unit blower pengiring bertekanan 300 Pa dengan debit udara 60 m³/mnt. Jarak antar kedua mulut lubang adalah 150 m .

Berdasarkan pengukuran dengan GPS, diketahui bahwa *top elevasi* pada Lubang 02 adalah 232 mdpl (meter di atas permukaan laut), dengan kemiringan lubang 30⁰ - 45⁰. *Bottom elevasi* yaitu di *front* penggalian maju lubang utama adalah 62 mdpl. Gambar 5 berikut merupakan model 3D ventilasi sebelum evaluasi

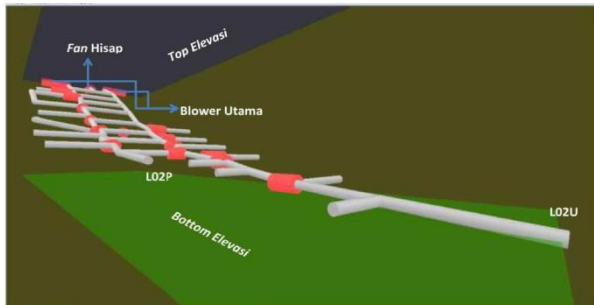


Gambar 5. Model 3D ventilasi sebelum evaluasi

b. Sistem ventilasi setelah evaluasi

Berdasarkan perhitungan secara manual, jumlah blower yang ada saat ini belum mencukupi

untuk memenuhi kebutuhan udara di Lubang 02 PT.Cahaya Bumi Perdana. Untuk di setiap lubang perlu dilakukan penambahan blower sebanyak 1 unit. Untuk *fan* hisap diletakkan di antara kedua mulut lubang.
Untuk model 3D sistem ventilasi setelah evaluasi dapat dilihat pada gambar 6 berikut



Gambar 6. Model 3D sistem ventilasi setelah evaluasi

Pada gambar dapat dilihat penambahan jalur udara sebagai jalur penghubung untuk *fan* hisap. *Fan* tersebut diletakkan sejajar blower utama dan berfungsi menghisap udara kotor dari dalam lubang agar tercipta kondisi lubang yang lebih nyaman. Beberapa perubahan yang terjadi pada sistem ventilasi setelah evaluasi adalah penempatan blower lebih merata, dan tidak adanya penumpukan blower pada 1 lokasi. Pada Lubang 02 Utama, jumlah blower menjadi 9 unit, sehingga debit udara yang masuk menjadi:

Debit yang masuk di L02U

$$\begin{aligned} &\text{Debit blower utama} + \text{Debit blower pengiring} \\ \text{Debit yang masuk} &= 4,15 \text{ m}^3/\text{dtk} + 9 (1 \text{ m}^3/\text{dtk}) \\ \text{Debit yang masuk di L02U} &= 13,5 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

Jadi, total debit atau kuantitas udara yang masuk di lubang 02 PT.Cahaya Bumi Perdana setelah dilakukan penambahan blower adalah 13,5. Dan untuk debit udara total yang masuk di lubang 02 pengiring setelah dilakukan penambahan blower adalah:

Debit yang masuk di L02P

$$\begin{aligned} &\text{Debit blower utama} + \text{Debit blower pengiring} \\ \text{Debit yang masuk} &= 1,83 \text{ m}^3/\text{dtk} + 6 (1,6 \text{ m}^3/\text{dtk}) \\ \text{Debit yang masuk di L02U} &= 11,43 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

Tabel 7 merupakan perbedaan sistem ventilasi sebelum dan sesudah evaluasi.

| NO | SEBELUM EVALUASI | SETELAH EVALUASI |
|----|---|---|
| 1 | Sistem ventilasi yang diterapkan belum menggunakan <i>fan</i> hisap | Sistem ventilasi telah menggunakan <i>fan</i> hisap yang diletakkan diantara kedua mulut lubang utama dan lubang pengiring |
| 2 | Pada lubang utama menggunakan 1 unit blower utama dan 8 unit blower pengiring, dan untuk lubang pengiring menggunakan 1 unit blower utama dan 5 unit blower pengiring | Pada lubang utama menggunakan 1 unit blower utama dan 9 unit blower pengiring, dan untuk lubang pengiring menggunakan 1 unit blower utama dan 6 unit blower pengiring |
| 3 | Debit udara yang masuk ke lubang utama sebesar 12,5 m ³ /dtk, dan yang masuk ke lubang pengiring sebesar 9,83 m ³ /dtk | Debit udara yang masuk ke lubang utama sebesar 13,15 m ³ /dtk, dan yang masuk ke lubang pengiring sebesar 11,53 m ³ /dtk |

Tabel 7. perbedaan sistem ventilasi sebelum dan sesudah evaluasi.

5. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Pemenuhan kualitas dan kuantitas udara pada Lubang 02 harus ditinjau dari beberapa segi. Dari segi kualitas yaitu gangguan gas pengotor, temperatur dan kelembaban. Dari segi kuantitas merupakan kecepatan aliran udara. Untuk kandungan gas di Lubang 02 masih di bawah NAB (Nilai Ambang Batas), namun temperatur dan kelembabannya telah di atas NAB. Untuk di L02U, temperatur efektifnya adalah 28,6 °C, dengan kelembaban rata-rata 91,4 %. Pada L02P, temperatur efektifnya yaitu 26,9 °C, dengan kelembaban rata-rata 90,3%.
2. Kebutuhan udara total di L02U adalah 12,6032 m³/dtk, dan di L02P adalah 11,3205 m³/dtk.
3. Jumlah blower yang dibutuhkan di L02U adalah 9 blower dan di L02P sebanyak 6 blower. Sehingga pada setiap lubang perlu dilakukan penambahan 1 unit blower lagi.
4. Panjang *duct* yang dapat dicapai blower utama L02U adalah 315 m, dan yang dapat dicapai blower pengiringnya sejauh 31 m. Pada L02P, blower utamanya mampu mengalirkan udara sejauh 133 m, dan blower pengiringnya sejauh 76 m.
5. Perbedaan model sistem ventilasi sebelum dan setelah evaluasi adalah adanya penambahan blower pengiring dan 1 unit *fan* hisap di antara mulut Lubang utama dan Lubang Pengiring.

b. Saran

Saran dari hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya pemasangan *duct* tidak dilakukan secara tumpang tindih agar tekanan *duct* tidak terlalu besar dan agar *duct* dapat diganti dengan bahan plastik yang lebih tebal agar tidak mudah bocor.
2. Ujung mulut *duct* diletakkan agak berjauhan

dengan *front* kerja, karena posisi mulut *duct* yang terlalu ke depan dapat menerbangkan debu batubara.

3. Adapun kekurangan dalam penelitian ini adalah peneliti tidak dapat melakukan simulasi langsung terhadap sistem ventilasi yang disarankan karena keterbatasan sarana dan prasarana. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap hasil penelitian dengan mempertimbangkan sarana dan prasarana serta kondisi lubang penambangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agricola, Georgius. 2005. *Basic Mine Ventilation*. Australia: AMC Consultan.
- [2] Akande, J.M dan Onifade Moshood. 2013. *Modelling of Okaba Underground Coal Mine Ventilation System. International Journal of Engineering and Technology*. Vol.3, No.7, hlm 766-772.
- [3] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah. 2010. *Diklat Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah*. Sawahlunto: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara Balai Diklat Tambang Bawah Tanah.
- [4] Biffi, M, dkk. 2007. *Ventilation Strategies to Meet Future Needs of The South African Platinum Industry, Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. Vol. 107, hlm 59-66.
- [5] Bridges, Hon Simon. 2014. *Ventilation in Underground Mines and Tunnels*. New Zealand: New Zealand Government.
- [6] Du Plessis, J.J.L, M.W. Marx dan C. Nell. 2014. *Efficient use of Energy in The Ventilation and Cooling Mines. The Journal of The Southern African of Mining and Metallurgy*. Vol. 114, hlm 1033-1037.
- [7] Heriyadi, Bambang. *Peranginan (Ventilasi Tambang). Program Alih Teknologi dan Pelatihan Tambang Batubara Bawah Tanah Tingkat Nasional*. Sawahlunto: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara Balai diklat Tambang Bawah Tanah.
- [8] Hidayat, Ajab Taofik. 2003. *Status Paparan Radiasi Alamiah di Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor PT. Aneka Tambang Tbk*. Jurnal Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan Pada industri Non-Nuklir. Hlm 172-189.
- [9] Inoue, Masahiro. 2002. *Mine Ventilation*. Jepang: Department of Mineral Resources Engineering.
- [10] Kamyar, Amin, dkk. 2016. *Current Developments and Challenge of Underground Mine Ventilation and cooling Methods. Jurnal of australian*. Hlm 287-297.
- [11] Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi NOMOR; 1827K/30/MEM/2018 Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum.
- [12] Laurance, David, dkk. 2009. *Pencemaran Udara, Kebisingan, dan Getaran*. Australia : *commonwealth*.
- [13] Pandiangan, Colbert Krisstrofel, dkk. 2013. *Analisis Rancangan Sistem Ventilasi dalam Meningkatkan Kenyamanan Termal Pekerja di Ruangan Formulasi PT.XYZ*. Jurnal Teknik Industri FT USU. Vol. 1, No. 1, hlm 1-6.
- [14] Ranjan, Mitev., Karan Kumar, Subrata Kr.Gosh. 2013. *Mine Ventilation in a Board and Pillar Mines Using CFD. International Journal of engineering Technology and Advanced Engineering*. Vol.3, hlm 389-393.
- [15] Roux. 1979. *Mine Ventilation Notes for Beginers. South Africa : The Mine Ventilation Society of South africa*.
- [16] Rowland, J.A.2011. *Ventilation Surveys and Modelling-Execution and Suggested Outputs*. Australia. *Journal of University of Wollongong and Australian Institute of Mining and Metallurgy*. Hlm 214-224.
- [17] Saskatchewan Labour. 2001. *Occupational Health and safety (Mine Emergency Response Program)*.
- [18] Unwin, I.D. 2007. *The Measurement of Air Flow In British Coal Mines: A Historical Review*.
- [19] Witrant, Emmanuel. 2013. *Mining Ventilation Control*. Colombia: *University Pedagogi Technology*.
- [20] Witrant, Emmanuel., K.H. Johansson, Hynx Team. 2008. *Air Flow Modelling in Deep Wells Application to Mining Ventilation*. Sweden Journal.

