

## Kondisi Resirkulasi Udara terhadap Penurunan Sumber Panas di Dalam Tambang Bawah Tanah

*Ririn Yulianti<sup>1\*</sup>, Nuhindro Priagung Widodo<sup>2</sup>, Rudy Sayoga Gautama<sup>2</sup>*

1. Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti, Indonesia

2. Departemen Magister Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

\*ririnyulianti@trisakti.ac.id

### SARI

Kondisi yang sering terjadi di dalam tambang adalah banyaknya penggunaan kipas lokal ventilasi yang menyebabkan perputaran balik udara (resirkulasi). Hal ini tentu saja dapat menjadikan kondisi lingkungan kerja panas (Vutukuri & Lama, 1986) dan mempengaruhi kenyamanan dan keamanan pekerja (Maurya et al., 2015a). Diperlukan suatu model yang dapat menggambarkan pergerakan udara, sehingga kita dengan mudah mengetahui kondisi kerja jaringan ventilasi di dalam tambang (Ryan & Euler, 2017). Penelitian dilakukan pada lokasi kerja yang penggunaan jumlah kipas lokal cukup banyak namun hasil pengukuran temperaturnya tinggi (Maurya et al., 2015b). Setelah dilakukan analisis simulasi permodelan jaringan ventilasi bahwa terjadi resirkulasi udara sebesar 50%. Hal ini menjadikan pengaruh terhadap penurunan lamanya sumber panas yang beroperasi (McPherson, 1993), terbukti dari hasil analisis yang dilakukan secara pendekatan numerik bahwa temperatur udara akan meningkat ketika sumber panas beroperasi sebesar  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $32,6^{\circ}\text{C}$  menjadi  $34,5^{\circ}\text{C}$ ) hanya dalam waktu 1,5 jam. Temperatur udara akan kembali turun ketika sumber panas berhenti beroperasi berkisar rata-rata  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ .

**Kata kunci:** resirkulasi; model jaringan ventilasi.

### ABSTRACT

*A condition that often occurs in a mine is the use of local ventilation fans which causes air circulation (recirculation). This of course can make the working environment conditions hot. A model is needed that can describe air movement, so that we can easily find out the working conditions of the ventilation network in the mine. The research was conducted at work sites that use quite a lot of local fans but the results of high temperature measurements. After analyzing the simulation of the ventilation network modeling, the air recirculation occurs by 50%. This has an effect on decreasing the length of time the heat source operates, it is evident from the results of the analysis carried out with a numerical approach that the air temperature will increase when the heat source operates by  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $32.6^{\circ}\text{C}$  to  $34.5^{\circ}\text{C}$ ) only in time 1.5 hours.*

**How to Cite:** Yulianti, R., Widodo, N.P., Gautama, S.R., 2020. Kondisi Resirkulasi Udara terhadap Penurunan Sumber Panas di Dalam Tambang Bawah Tanah. Jurnal Geomine, 8(3): 228-236.

#### Published By:

Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Muslim Indonesia

#### Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05  
Makassar, Sulawesi Selatan

#### Email:

[geomine@umi.ac.id](mailto:geomine@umi.ac.id)

#### Article History:

Submitte 27 Agustus 2020

Received in from 29 Agustus 2020

Accepted 10 Desember 2020

#### Lisensec By:

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



*The air temperature will drop again when the heat source stops operating with an average of 0.1°C/hour.*

**Keyword:** *recirculation; ventilation network model.*

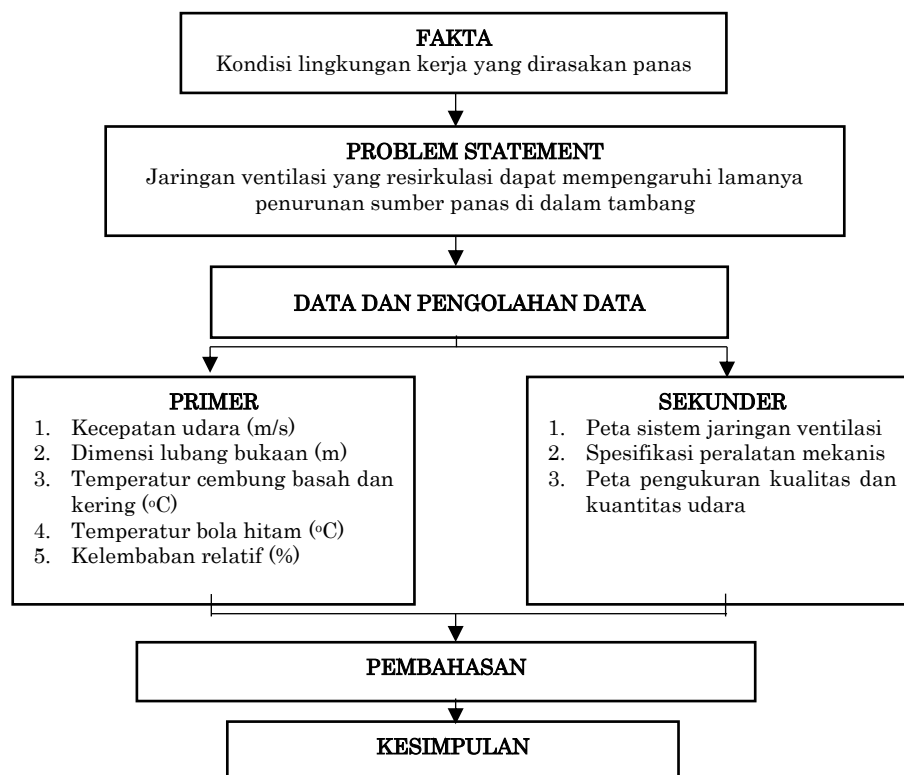
## PENDAHULUAN

Sistem ventilasi merupakan penunjang terpenting yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas di dalam tambang bawah tanah. Untuk itu, dibutuhkan suatu sistem ventilasi yang mampu memberikan suplai udara segar dari permukaan sehingga kebutuhan udara segar setiap unit alat dan pekerja di tambang bawah tanah dapat dipenuhi. Selain itu, dengan adanya sistem ventilasi diharapkan dapat mempertahankan temperatur udara di dalam tambang, mengatur panas dan kelembaban relatif sesuai dengan tingkat kenyamanan bagi para pekerja.

Berdasarkan informasi perusahaan, lokasi *ramp down* 450 tambang Kubang Cicau yang dikeluhkan oleh pekerja yaitu suasana kerja yang panas. Dari hasil pengamatan langsung di lapangan, lokasi tersebut menggunakan jumlah kipas lokal yang cukup banyak, namun dari hasil pengukuran temperatur menunjukkan hasil yang tinggi yaitu berkisar 32 - 33°C dan kelembaban relatif mencapai 100%. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan jaringan ventilasi yang dapat memperlihatkan pergerakan udara dan simulasi kinerja jaringan ventilasi dalam mereduksi sumber panas (Cordoba Quiceno dan Molirdna Escobar, 2011).

## METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dilakukan mulai dari ditemukannya masalah panas di lokasi penelitian., kemudian dilakukan analisis penyebab panas. Hasi analisis penyebab panas di lokasi penelitian dilakukan pemodelan udara dengan simulasi perangkat lunak Ventsim Visual 4 dan Ansys R16.2. Simulasi penurunan panas di lokasi penelitian dengan menggunakan pendekatan persamaan numerik (Widodo dan Ihsan, 2016).

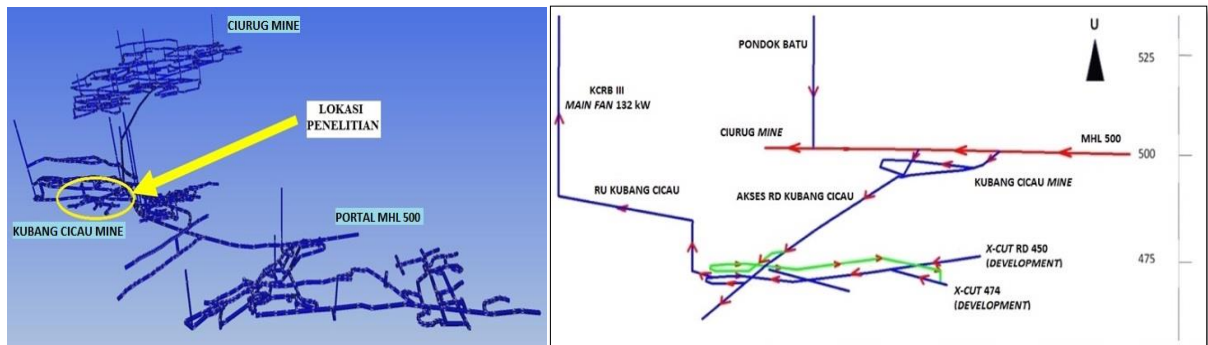


**Gambar 1.** Tahapan penelitian

## HASIL PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

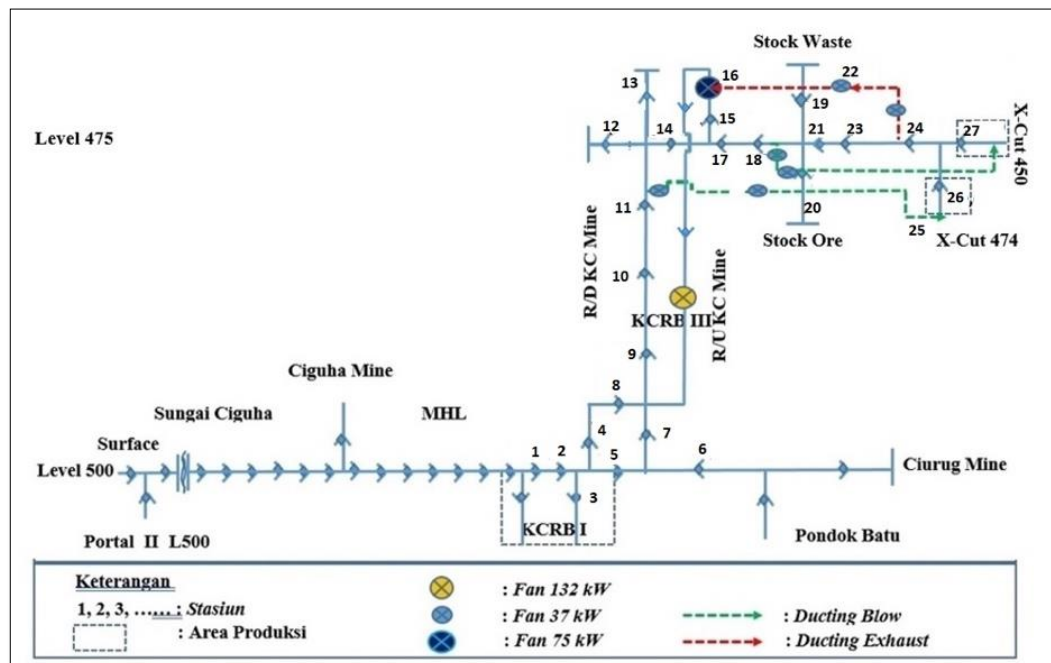
Lokasi penelitian dilakukan di *ramp down* 450 yang berada di tambang Kubang Cicau UBPE Pongkor (Gambar 2). Lokasi ini merupakan lokasi yang banyak menggunakan bantuan kipas lokal untuk mendistribusikan udara, baik udara bersih maupun udara kotor.



**Gambar 2.** Lokasi penelitian di *ramp down* 450 Tambang Kubang Cicau (UBPE Pongkor, 2018)

### Jaringan Ventilasi

Data jaringan ventilasi didapatkan dari hasil pengukuran langsung di lokasi penelitian. Pengambilan data setiap titik pengukuran jaringan ventilasi (Gambar 3) yang dilakukan diantaranya data kualitas dan kuantitas udara (Roghanchi dkk., 2016).



**Gambar 3.** Titik pengukuran di lokasi penelitian

Pengambilan data jaringan ventilasi yang dilakukan diantaranya dimensi, lubang bukaan terowongan, kecepatan udara, temperatur udara, temperatur bola dan kelembaban relatif (Tabel 1).

Tabel 1. Data jaringan ventilasi (Barenbrug, 1965)

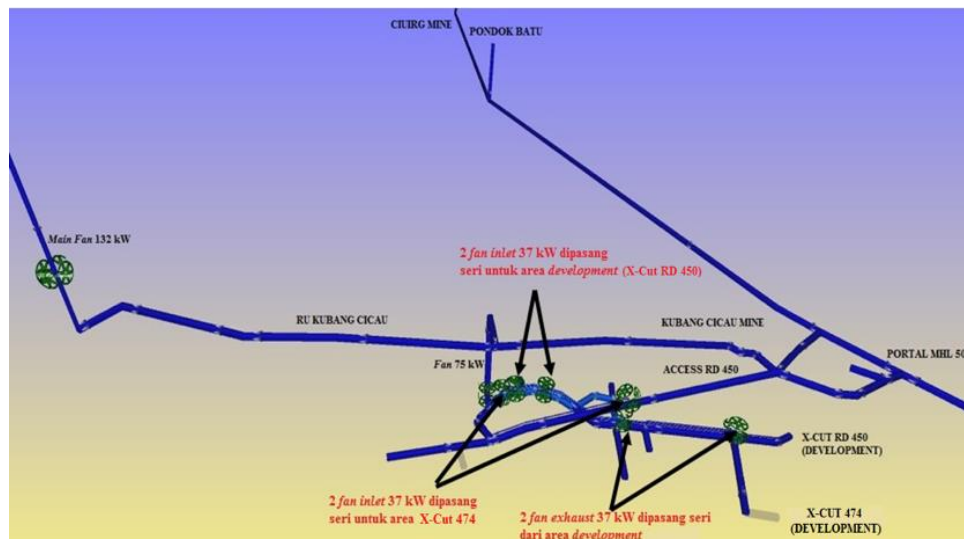
| Titik Pengukuran | Kecepatan udara (m/s) | Luas dimensi m <sup>2</sup> | Debit udara m <sup>3</sup> /s | Td °C | Tw °C | Globe °C | RH %  |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------|-------|----------|-------|
| 1                | 1,20                  | 11,35                       | 13,66                         | 27,8  | 27,7  | 28,0     | 99,2  |
| 2                | 0,73                  | 16,50                       | 11,98                         | 28,0  | 27,8  | 28,4     | 98,5  |
| 3                | 1,11                  | 18,90                       | 21,06                         | 28,0  | 27,7  | 28,2     | 97,7  |
| 4                | 1,27                  | 18,44                       | 23,42                         | 28,1  | 28,0  | 28,0     | 99,2  |
| 5                | 0,51                  | 16,87                       | 8,60                          | 26,8  | 26,0  | 27,3     | 93,9  |
| 6                | 1,17                  | 15,02                       | 17,57                         | 26,2  | 25,5  | 26,4     | 94,6  |
| 7                | 1,05                  | 12,80                       | 13,44                         | 27,4  | 26,7  | 28,5     | 94,7  |
| 8                | 0,77                  | 21,48                       | 16,46                         | 28,2  | 28,1  | 28,4     | 99,2  |
| 9                | 1,06                  | 24,20                       | 25,69                         | 28,0  | 27,7  | 28,1     | 97,7  |
| 10               | 0,61                  | 13,22                       | 8,05                          | 28,7  | 28,5  | 28,6     | 98,5  |
| 11               | 0,50                  | 10,85                       | 5,41                          | 28,3  | 28,2  | 28,9     | 99,3  |
| 12               | 0,61                  | 18,47                       | 11,32                         | 28,5  | 28,4  | 28,9     | 99,3  |
| 13               | 1,54                  | 15,50                       | 23,84                         | 28,7  | 28,6  | 28,9     | 99,3  |
| 14               | 0,65                  | 13,68                       | 8,93                          | 29,8  | 29,4  | 29,7     | 97,1  |
| 15               | 2,43                  | 12,56                       | 30,47                         | 30,4  | 30,2  | 30,6     | 98,6  |
| 16               | 6,44                  | 0,50                        | 3,23                          | 30,5  | 30,5  | 30,7     | 100,0 |
| 17               | 0,55                  | 23,95                       | 13,28                         | 31,2  | 30,8  | 31,2     | 97,2  |
| 18               | 0,27                  | 20,15                       | 5,39                          | 32,4  | 32,3  | 33,1     | 99,4  |
| 19               | 0,53                  | 18,37                       | 9,76                          | 32,6  | 32,6  | 32,9     | 100,0 |
| 20               | 0,24                  | 19,24                       | 4,65                          | 32,5  | 32,5  | 32,9     | 100,0 |
| 21               | 3,32                  | 15,02                       | 49,88                         | 32,4  | 32,31 | 32,5     | 99,4  |
| 22               | 13,46                 | 0,50                        | 6,76                          | 32,8  | 32,7  | 33,1     | 99,3  |
| 23               | 1,24                  | 17,09                       | 21,17                         | 32,9  | 32,8  | 33,3     | 99,3  |
| 24               | 1,24                  | 17,09                       | 21,17                         | 32,9  | 32,8  | 33,2     | 99,3  |
| 25               | 17,36                 | 0,50                        | 8,72                          | 30,5  | 30,3  | 32,5     | 98,6  |
| 26               | 0,58                  | 22,11                       | 12,77                         | 32,0  | 32,0  | 32,4     | 100,0 |
| 27               | 0,60                  | 22,11                       | 13,27                         | 33,0  | 33,0  | 33,0     | 100,0 |

### Analisis Jaringan Ventilasi

Jaringan ventilasi yang baik seharusnya dapat mengatur arah, jumlah udara di dalam tambang (Hartman dkk., 1982). Sehingga kualitas dan kuantitas udara di dalam tambang dapat terpenuhi untuk aktivitas penambangan.

Sistem ventilasi yang digunakan di lokasi penelitian adalah *overlap system* yang merupakan gabungan dari sistem hembus (*inlet fan*) dan hisap (*exhaust fan*). Aliran udara bersih lokasi penelitian bersumber dari permukaan MHL 500 yang mengalir secara alami masuk ke terowongan hingga ke lokasi penelitian. Masuknya udara bersih secara alami sampai ke lokasi penelitian karena adanya perbedaan tekanan (Mishra, 2015) yang ditarik oleh *fan* 132 kW di masing-masing lokasi tambang, salah satunya KCRB III.

Lokasi kerja penelitian saat ini memiliki dua lokasi aktif *development* yaitu *X-cut* 474 dan *X-cut* RD 450. Suplai udara bersih untuk lokasi tersebut menggunakan 2 unit *fan* 37 kW yang dipasang secara seri dengan menggunakan pipa saluran udara berdiameter 0,8 meter. Sedangkan aliran udara kotor menggunakan dua buah *exhaust fan* 37 kW yang dipasang seri untuk dialirkan ke *booster fan* 75 kW dengan menggunakan pipa saluran udara yang berdiameter 0,8 meter. Udara kotor yang dihisap oleh *booster fan* 75 kW kemudian dialirkan ke *ramp up* Kubang Cicau untuk di hembuskan ke permukaan dengan bantuan *main fan* 132 kW (Gambar 4).



**Gambar 4.** Jaringan sistem ventilasi saat ini (simulasi perangkat lunak ventsim)

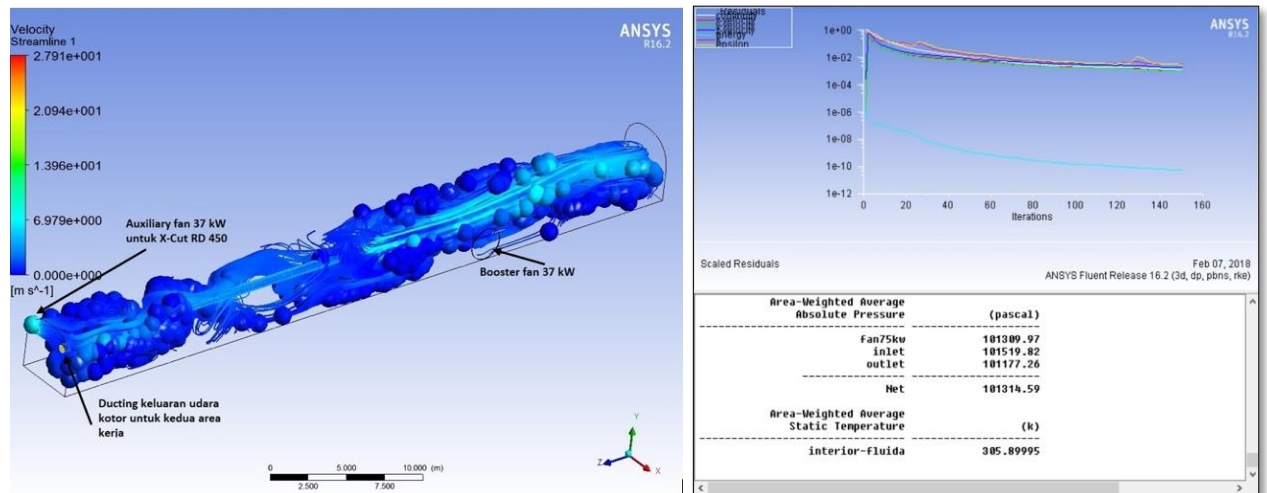
Berdasarkan jaringan yang ada pada saat ini dan hasil simulasi perangkat lunak Ventsim menunjukkan terjadi resirkulasi udara. Dimana udara kotor kembali terhisap oleh *inlet fan* *X-Cut* RD 450 sebesar 50% ke lokasi kerja (Gambar 5).



**Gambar 5.** Besarnya persentase resirkulasi udara (simulasi perangkat lunak Ventsim)

### Kondisi Resirkulasi Udara terhadap Laju Penurunan Panas

Kondisi jaringan ventilasi resirkulasi saat ini membuat panas di lokasi penelitian semakin panas (Cheng dkk., 2001). Distribusi udara pada jaringan ventilasi resirkulasi ketika ada sumber panas beroperasi di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi udara jaringan ventilasi resirkulasi (simulasi Ansys)

Sumber-sumber panas yang seharusnya dapat diminimalisir dengan adanya jaringan ventilasi tidak dapat direduksi secara sempurna. Hal ini terlihat dari laju penurunan panas ketika sumber panas berhenti beroperasi.

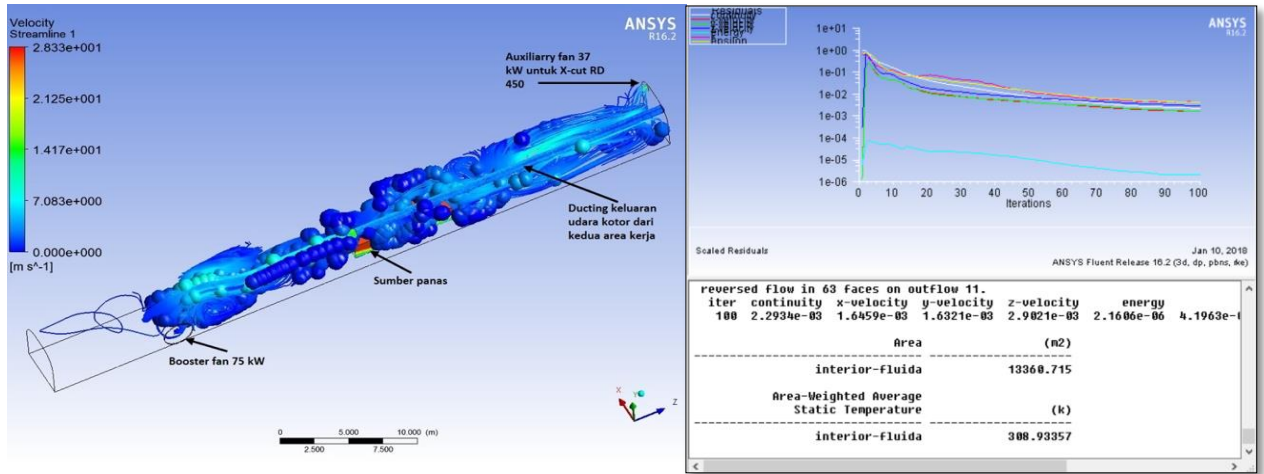
Secara teoritis ketika sumber panas (mesin *diesel*) beroperasi temperatur akan meningkat dalam waktu 4,5 jam (kerja normal) dalam satu *shift*. Peningkatan temperatur tersebut untuk masing-masing mesin *diesel* yang beroperasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Peningkatan temperatur untuk masing-masing mesin *diesel* yang beroperasi (Navarro Torres dan N., 2011)

| Deskripsi        | Daya<br>( $P_a$ )<br>kW | Efisiensi<br>mesin<br>( $f_m$ ) | Efisiensi<br>penggunaan<br>alat<br>( $f_t$ ) | Densitas<br>udara<br>( $\rho_a$ )<br>kg/m <sup>3</sup> | Panas<br>spesifik<br>udara<br>( $c_p$ )<br>kJ/kg<br>°C | Debit<br>udara<br>( $Q$ )<br>m <sup>3</sup> /s | Peningkatan<br>temperatur/alat<br>yang beroperasi<br>( $\Delta T$ )<br>°C/siklus    °C/0,5<br>jam |      |
|------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Wheel<br>Loader  | 66                      | 34%                             | 56,3% *                                      | 1,1770                                                 | 1,0057                                                 | 12,16                                          | 2,54                                                                                              | 0,57 |
| LHD              | 102                     | 34%                             | 56,3 % *                                     | 1,1770                                                 | 1,0057                                                 | 12,16                                          | 3,93                                                                                              | 0,87 |
| Light<br>vehicle | 51                      | 34%                             | 56,3% *                                      | 1,1770                                                 | 1,0057                                                 | 12,16                                          | 1,97                                                                                              | 0,44 |

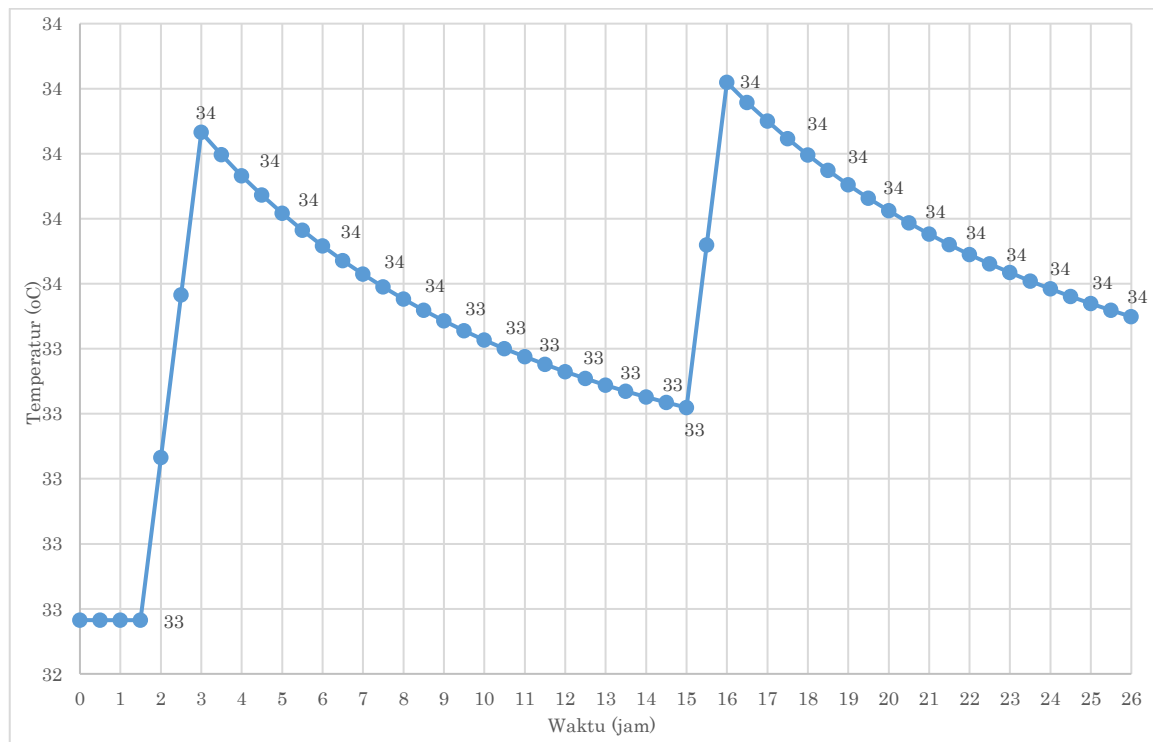
(\*) Normalnya penggunaan alat, mengacu pada perusahaan

Distribusi udara pada area resirkulasi ketika adanya peningkatan temperatur saat sumber panas beroperasi (Xie, 2012) dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Distribusi udara ketika sumber panas tidak permanen beroperasi (Porras-Amores dkk., 2019)

Tabel 2 terjadi peningkatan temperatur sebesar 0,57°C/setengah jam selama sumber panas beroperasi (*wheel loader*). Dengan kondisi ini, berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 70 (2016) pekerja dibatasi oleh kondisi temperatur udara dimana ketika temperatur udara telah mencapai  $\pm 34^{\circ}\text{C}$  maka pekerja direkomendasikan untuk berhenti dan diinstruksikan untuk istirahat.



**Gambar 8.** Penurunan laju temperatur (analisis numerik)

Hasil pendekatan numerik pekerja hanya dapat bekerja maksimum 1,5 jam dalam satu *shift*. Udara tersebut akan turun dengan laju penurunan temperatur berkisar rata-rata 0,1°C selama satu jam setelah alat *diesel* tidak beroperasi (Gambar 8). Hal ini tentu saja menggambarkan bagaimana jaringan ventilasi saat ini tidak cepat mereduksi panas, sehingga

panas dari mesin peralatan tambang yang beroperasi yang berada di lokasi penelitian terperangkap cukup lama (Navarro Torres dan N., 2011).

## KESIMPULAN

Temperatur udara akan meningkat ketika sumber panas beroperasi sebesar  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $32,6^{\circ}\text{C}$  menjadi  $34,5^{\circ}\text{C}$ ) hanya dalam waktu 1,5 jam. Temperatur udara akan kembali turun ketika sumber panas berhenti beroperasi berkisar rata-rata  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ . Lamanya laju penurunan tersebut dikarenakan kondisi jaringan ventilasi yang mengalami resirkulasi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada pihak perusahaan PT Antam Pongkor yang mengizinkan penulis untuk bisa mengambil data penelitian dan memberikan kesempatan untuk menerbitkan tulisan ini.

## REFERENSI

- 2016, P. M. K. R. I. (2016). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar Dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri*.
- Barenbrug, A. W. T. (1965). *Psychrometry and Psychrometric Charts*. Transvaal and Orange Free State Chamber of Mines of South Africa.
- Cheng, L. H., Ueng, T. H., & Liu, C. W. (2001). Simulation of ventilation and fire in the underground facilities. *Fire Safety Journal*. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(01\)00013-3](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(01)00013-3).
- Cordoba Quiceno, C. C., & Molirdna Escobar, J. M. (2011). CHARACTERIZATION OF VENTILATION SYSTEMS IN UNDERGROUND MINES. *Boletín de Ciencias de La Tierra*.
- Hartman, H. L., Mutmanský, J. M., & Wang, Y. J. (1982). *Mine ventilation and air conditioning. Second Edn*.
- Maurya, T., Karena, K., Vardhan, H., Aruna, M., & Raj, M. G. (2015a). Effect of Heat on Underground Mine Workers. *Procedia Earth and Planetary Science*. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.049>
- Maurya, T., Karena, K., Vardhan, H., Aruna, M., & Raj, M. G. (2015b). Potential Sources of Heat in Underground Mines – A Review. *Procedia Earth and Planetary Science*. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.046>
- McPherson, M. J. (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. In *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1550-6>
- Mishra, D. (2015). Effect of auto compression on ventilation system of deep shaft coal mines in Jharia colal field - A case study. *Innovative Surface and Underground Mining Technology for Performance Enhancement*.
- Navarro Torres, V. F., & N., R. (2011). Thermal State and Human Comfort in Underground Mining. In *Developments in Heat Transfer*. <https://doi.org/10.5772/19944>
- Porras-Amores, C., Mazarrón, F. R., Cañas, I., & Villoría Sáez, P. (2019). Natural ventilation analysis in an underground construction: CFD simulation and experimental validation. *Tunnelling and Underground Space Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.04.023>
- Roghanchi, P., Kocsis, K. C., & Sunkpal, M. (2016). Sensitivity analysis of the effect of airflow velocity on the thermal comfort in underground mines. *Journal of Sustainable Mining*. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2017.03.005>
- Ryan, A., & Euler, D. S. (2017). Heat stress management in underground mines. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.020>

- Vutukuri, V. S., & Lama, R. D. (1986). Environmental Engineering in Mines. In *Environ Eng in Mines*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6\\_51314](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_51314)
- Widodo, N. P., & Ihsan, A. (2016). *A Thermodynamic Study of Ventilation System in Underground Coal Mine A Thermodynamic Study of Ventilation System in Underground Coal Mine. December*.
- Xie, Z. (2012). Distribution law of high temperature mine's thermal environment parameters and study of heat damage's causes. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.104>