

Analisis Simulasi Panas di Tambang Bawah Tanah

Ririn Yulianti^{1}, Pantjanita Novi Hartami¹, Suliestyah¹, Reza Aryanto¹,
Edy Jamal Tuheteru¹, Restrida Natalia Dame¹, M Dian Syahputra Siahaan²*

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

²*Mine Valuation & Development Senior Engineer PT Aneka Tambang*

**Email: ririnyulianti@trisakti.ac.id*

SARI

Lokasi tambang bawah tanah ramp down 450 di Kubang Cicau, UBPE Antam Pongkor, mengalami keluhan dari pekerja akibat kondisi lingkungan kerja yang panas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sumber-sumber panas yang berkontribusi terhadap peningkatan suhu di lokasi tersebut dan mengevaluasi strategi pengendalian yang dapat diterapkan. Sumber panas diidentifikasi menjadi dua kategori, yaitu sumber panas permanen dan tidak permanen. Sumber panas permanen meliputi autokompresi dan penerangan, sedangkan sumber panas tidak permanen berasal dari peralatan elektrik, peralatan diesel, peledakan, metabolisme manusia, dan kompresibilitas kipas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor resirkulasi udara di jaringan ventilasi menjadi penyebab utama peningkatan suhu. Implementasi strategi pengendalian panas yang efektif diperlukan untuk memastikan lingkungan kerja yang lebih nyaman dan aman, sehingga produktivitas tetap terjaga dan kesehatan pekerja tidak terganggu.

Kata kunci: ventilasi tambang, sumber panas, pengendalian panas

ABSTRACT

The underground mining site at ramp down 450, Kubang Cicau, UBPE Antam Pongkor, has been the subject of complaints from workers due to the hot working conditions. This study aims to analyze the heat sources contributing to the temperature increase at the location and evaluate the heat control strategies that can be applied. The heat sources are categorized into permanent and non-permanent sources. Permanent heat sources include autocompression and lighting, while non-permanent sources are generated from electrical equipment, diesel equipment, blasting, human metabolism, and fan compressibility. The findings indicate that air recirculation within the ventilation network is the main cause of the temperature rise. Effective

How to Cite: Yulianti, R., Hartami, P.N., Suliesty., Aryanto, R., Tuheteru, E.J., Dame, R.N., Siahaan, M.D.S. 2024. Analisis Simulasi Panas di Tambang Bawah Tanah. Jurnal Geomine, 12 (2): 138 – 151.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Phone:

+6285299961257

+628124190813

Article History:

Submit May 30, 2024

Received in from July 14, 2024

Accepted August 15, 2024

Available online

Lisensec By:

Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



heat control strategies are needed to ensure a more comfortable and safe working environment, thus maintaining productivity and safeguarding workers' health.

Keyword: *mine ventilation, heat sources, heat control*

PENDAHULUAN

Sistem ventilasi memegang peran penting dalam menunjang operasi penambangan bawah tanah. Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja menjadi syarat utama untuk meningkatkan produktivitas pekerjaan di dalam tambang (Hartman et al., 1982). Harapannya, sistem ventilasi dapat mengontrol bahaya panas di dalam tambang bawah tanah sehingga para pekerja dapat bekerja dengan aman dan nyaman (McPherson, 1993).

Saat ini, penelitian mengenai pemodelan kondisi lingkungan panas untuk mengoptimalkan sistem ventilasi di dalam tambang bawah tanah masih terutama difokuskan pada tambang-tambang di negara seperti Inggris, Amerika, China, Jepang, Australia, Afrika Selatan (Sasmito et al., 2015) (Lowndes et al., 2004) (George et al., 2011) (Danko et al., 2020). Di Inggris, ekstraksi mineral saat ini dilakukan pada kedalaman lebih dari 1000 m, dengan suhu batuan mencapai 41,9°C (Lowndes et al., 2004). Di Afrika Selatan, pada kedalaman 3300 m, suhu di dalam tambang dapat mencapai 50°C. Sementara itu, di tambang Seng-Pb Fengyu di Jepang, pada kedalaman 500 m, suhu di dalam tambang bawah tanah dapat mencapai 80°C. Beberapa tambang di Tiongkok menunjukkan suhu kerja di dalam tambang bawah tanah melebihi 30°C (Xiaojie et al., 2011). Karena ventilasi udara sendiri tidak cukup untuk menghilangkan panas yang dihasilkan, penerapan teknologi sistem pendinginan di dalam tambang bawah tanah menjadi solusi yang diadopsi oleh sejumlah tambang tersebut.

Di Indonesia, tantangan muncul bagi tambang bawah tanah ketika mengekstraksi mineral dengan metode tambang bawah tanah pada kedalaman yang semakin dalam, terutama dengan iklim Indonesia yang memiliki kelembaban di atas 85%. Standar ventilasi di tambang bawah tanah diatur secara tegas oleh Kepdirjen No 185.K/37.04/DJB/2019. Aturan ini menetapkan bahwa temperatur udara di dalam tambang harus dipertahankan dalam kondisi nyaman untuk bekerja, yakni antara 18 - 27°C dengan kelembaban relatif maksimum 85%.

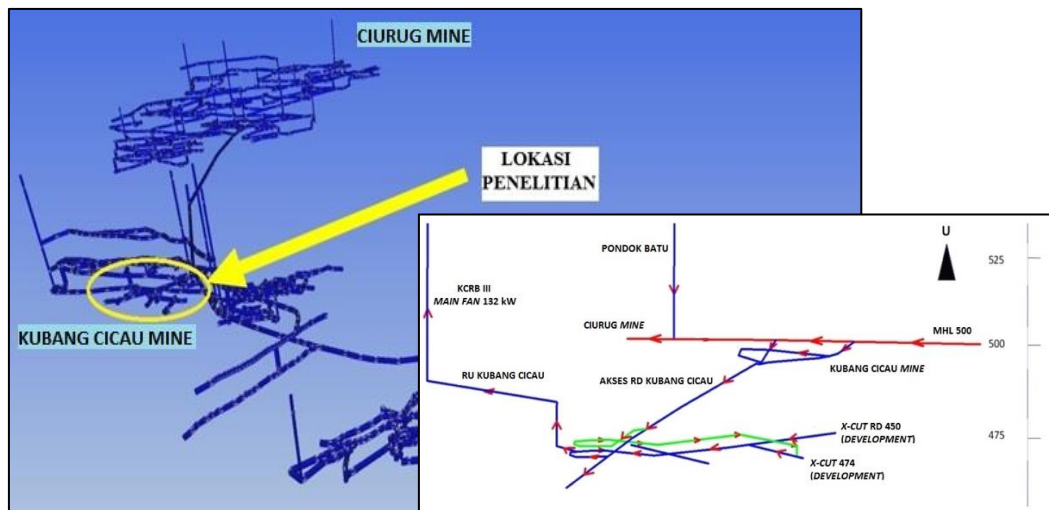
Oleh karena itu, studi ini akan melakukan simulasi sistem ventilasi pengendalian panas dengan merujuk pada praktik pengendalian panas yang telah dilakukan di berbagai negara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis distribusi panas pada tambang bawah tanah ramp down 450 di Kubang Cicau, UBPE Antam Pongkor. Metode yang digunakan meliputi beberapa tahap penting, yang meliputi:

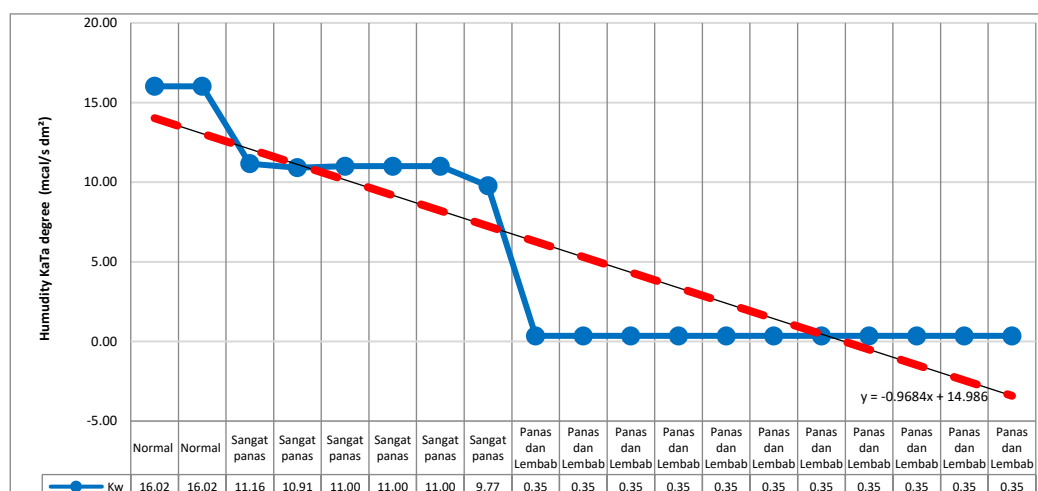
1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di tambang bawah tanah ramp down 450 di Kubang Cicau (Gambar 1). Lokasi ini dipilih karena adanya keluhan dari pekerja terkait suhu kerja yang tinggi, serta kondisi lingkungan kerja yang tidak nyaman.



Gambar 1. Lokasi penelitian

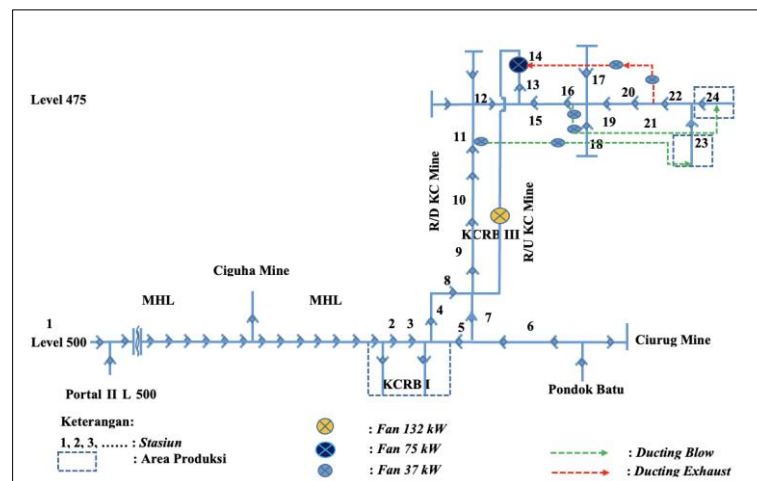
Pemilihan kondisi area studi untuk studi pengendalian panas ini dilakukan karena lokasi studi sepanjang terowongan memiliki kondisi yang panas dan lembab (Gambar 3). Hal ini dibuktikan dengan menggunakan persamaan *KaTa degree* kelembaban udara. *KaTa degree* kelembaban udara mencerminkan bagaimana suhu, kecepatan dan kelembaban udara memengaruhi iklim(Xie, 2012).



Gambar 2. Kondisi udara di lokasi studi

1. Area Studi dan Pengumpulan Data

Dalam melakukan identifikasi sumber panas dan pengamatan jaringan ventilasi di lokasi studi, ditentukan titik pengukuran untuk dilakukan analisis. Terdapat 24 titik pengukuran yang mewakili jalan utama masuk (*access*) dan area kerja *development*. Pengukuran dilakukan mulai dari MHL 500 hingga lokasi kerja *ramp down* 450 Kubang Cicau (Gambar 3).



Gambar 3. Titik pengamatan

2. Mengidentifikasi Sumber Panas

Dalam mengidentifikasi sumber panas di lokasi studi, data yang diambil terdiri dari pengukuran langsung yang meliputi dimensi lubang bukaan terowongan, kecepatan udara, temperatur udara, dan kelembaban relatif. Alat ukur yang digunakan antara lain distometer, hot wire anemometer, thermal environment monitor, infrared thermometer, dan digital thermometer-thermocouple.

3. Pengukuran Jaringan ventilasi

Jaringan ventilasi di lokasi penelitian diamati melalui pengukuran dimensi lubang bukaan terowongan, kecepatan udara, debit udara, serta temperatur dan kelembaban relatif udara.

- **Dimensi Lubang Bukaan:** Luas lubang bukaan terowongan bervariasi antara 851 – 2450 m², dengan pipa udara ventilasi berdiameter 0,8 meter.
- **Kecepatan Udara:** Kecepatan udara yang diukur berkisar antara 0,20 – 1,77 m/s, dengan area development memiliki kecepatan udara antara 0,20 – 3,70 m/s.
- **Debit Udara:** Debit udara yang diukur bervariasi antara 320 – 5000 m³/s, dengan debit udara pada area development berkisar antara 1101 – 1880 m³/s.

4. Identifikasi Sumber Panas

Sumber panas di lokasi penelitian diidentifikasi menjadi dua jenis, yaitu:

- **Sumber Panas Permanen:** Meliputi gradien geotermal, autokompresi, penerangan, dan air bawah tanah. Sumber ini menghasilkan panas secara terus menerus, tanpa terpengaruh waktu. Pengukuran Virgin Rock Temperature (VRT) dilakukan di beberapa elevasi tambang untuk mengetahui suhu batuan.
- **Sumber Panas Tidak Permanen:** Meliputi peralatan elektrik, peralatan diesel, hasil peledakan, metabolisme manusia, dan kompresibilitas fan. Sumber ini menghasilkan panas dalam durasi waktu tertentu selama operasi alat atau kegiatan berlangsung.

5. Perhitungan Beban Panas

Beban panas dari masing-masing sumber diukur dan dihitung berdasarkan persamaan termodinamika, yang meliputi:

- **Autokompresi:** Dihitung berdasarkan perbedaan elevasi dan peningkatan suhu akibat autokompresi pada saluran udara miring.
- **Penerangan:** Panas dari penerangan dihitung menggunakan persamaan yang mempertimbangkan daya penerangan (Watt).
- **Peralatan Elektrik dan Diesel:** Panas yang dihasilkan oleh peralatan elektrik dan diesel dihitung berdasarkan daya mesin dan efisiensi peralatan.
- **Metabolisme Manusia:** Panas yang dihasilkan oleh tubuh manusia dihitung berdasarkan aktivitas pekerja dan tingkat kerja mereka.
- **Kompresibilitas Fan:** Panas akibat kompresibilitas udara yang dihasilkan oleh fan ventilasi dihitung berdasarkan persamaan yang mempertimbangkan kehilangan energi akibat gesekan dan perubahan penampang pipa udara.

7. Analisis Hasil

Data yang telah diolah dari pengukuran jaringan ventilasi dan beban panas dikombinasikan untuk memberikan gambaran distribusi panas di lokasi penelitian. Setiap sumber panas dianalisis kontribusinya terhadap peningkatan suhu di lokasi tambang. Distribusi panas per segmen ventilasi ditentukan berdasarkan kondisi lapangan.

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini menghasilkan beberapa temuan terkait distribusi panas di tambang bawah tanah ramp down 450 di Kubang Cicau. Hasil ini mencakup analisis dari sumber-sumber panas, serta distribusi panas berdasarkan data yang telah diukur dan diolah.

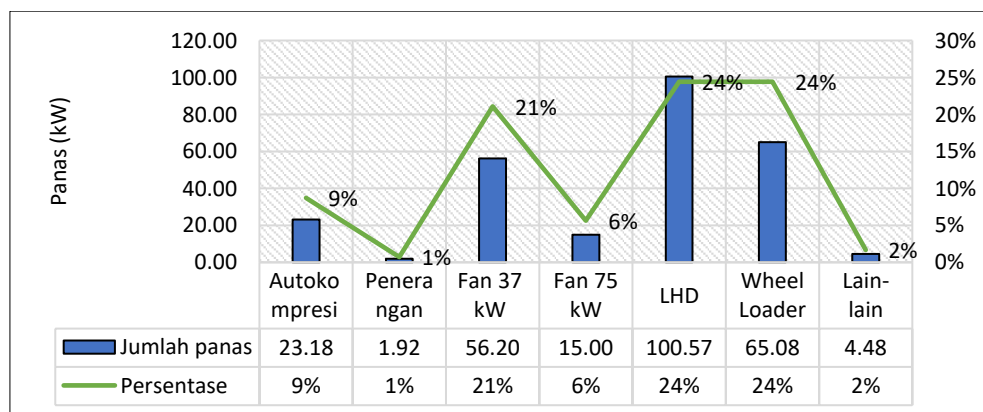
1. Presentase Sumber Panas

Berdasarkan hasil identifikasi masing-masing sumber panas, seperti autokompresi, peralatan elektrik, peralatan *diesel*, dan penerangan, diperoleh persentase untuk masing-masing sumber panas yang menyumbangkan panas ke lokasi studi (Gambar 4). Dari Gambar 4, terlihat bahwa presentase terbesar yang menyumbangkan panas di lokasi studi berasal dari

peralatan *diesel*. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan peralatan ini dipengaruhi oleh waktu dan bukan merupakan sumber panas permanen.

2. Pemantauan Panas

Dalam melakukan pemantauan panas, dilakukan pengamatan terhadap jaringan ventilasi di lokasi studi. Pengamatan ini meliputi kecepatan udara, debit udara, temperatur cembung basah, temperatur cembung kering, dan kelembaban relatif. Dalam melakukan pemantauan panas, dilakukan pengamatan kondisi udara pada berbagai kondisi jaringan ventilasi. Pengamatan tersebut melibatkan kondisi udara tanpa menggunakan ventilasi lokal, kondisi udara dengan menggunakan ventilasi lokal, dan kondisi udara dengan penambahan sumber panas. Dengan demikian, perbedaan kondisi udara pada berbagai situasi dapat terlihat dengan lebih jelas.



Gambar 4. Presentase masing-masing sumber panas

a. Kondisi lokasi studi dengan sumber panas temperatur batuan

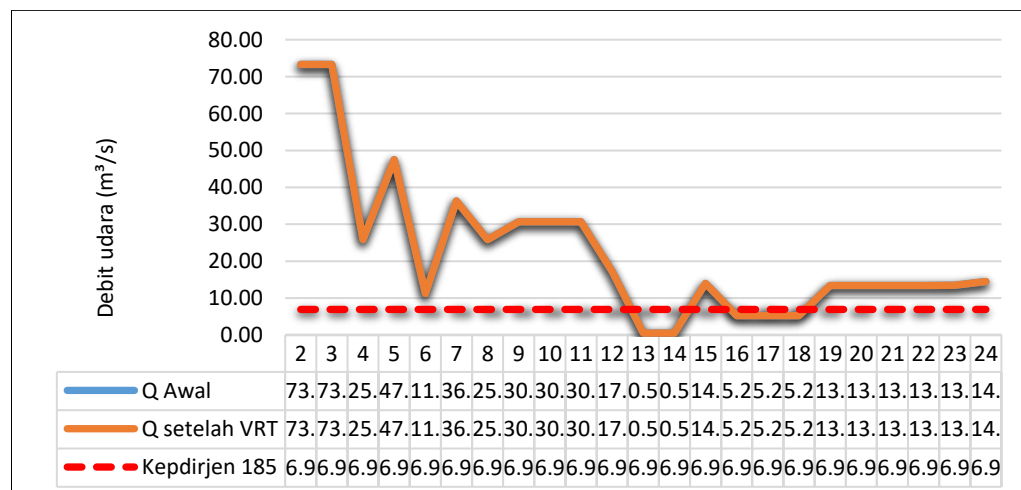
Hasil simulasi kondisi udara dengan penerapan ventilasi lokal, yang juga mempertimbangkan parameter input panas batuan berdasarkan hasil pengukuran dalam pemodelan perangkat lunak *Ventsim*, tergambar dengan jelas pada Gambar 5.



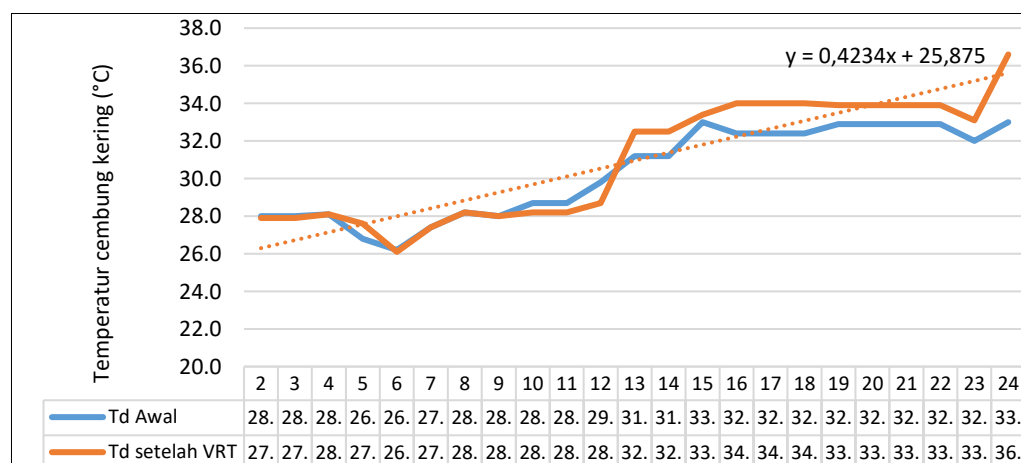
Gambar 5. Kondisi lokasi studi tanpa ventilasi lokal

Kecepatan udara dan debit udara tidak dipengaruhi oleh sumber panas. Meskipun terdapat sumber panas, kecepatan udara dan debit udara sebelum dan setelah sumber panas dimasukkan memiliki nilai yang konstan. Sumber panas tidak memengaruhi kecepatan dan debit udara. Dengan menggunakan ventilasi lokal, secara kuantitas, debit udara masih memenuhi aturan yang diatur oleh Kepdirjen No 185.K/37.04/DJB/2019. Hal ini terlihat jelas dari 6.

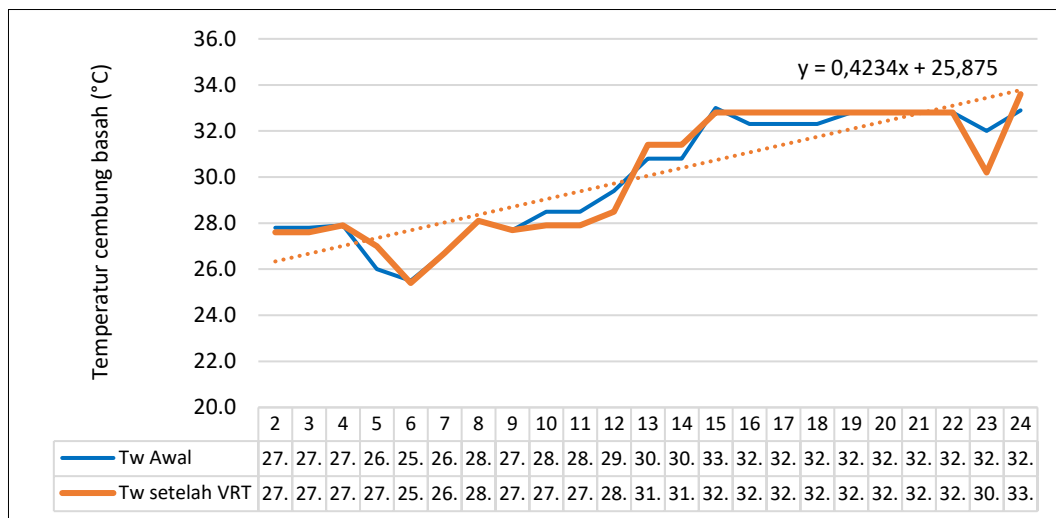
Namun, jika dilihat dari temperatur, adanya sumber panas dari temperatur batuan menyebabkan peningkatan temperatur. Peningkatan temperatur ini dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8, baik pada temperatur cembung kering maupun temperatur cembung basah. Adanya sumber panas dapat meningkatkan temperatur meskipun ventilasi lokal sudah digunakan.



Gambar 6. Debit udara sebelum dan setelah adanya sumber panas dari batuan

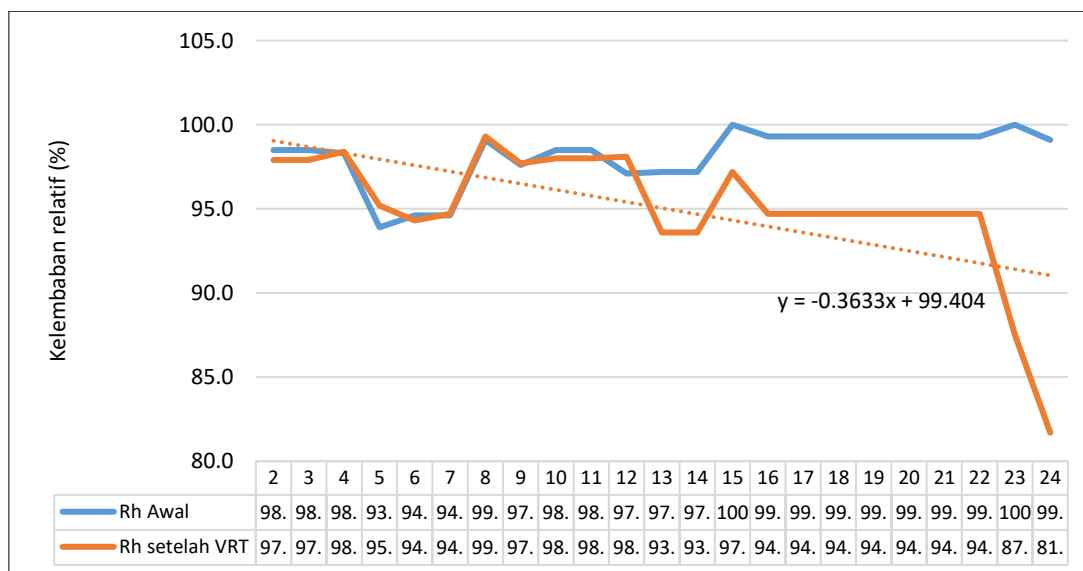


Gambar 7. Temperatur cembung kering sebelum dan setelah adanya sumber panas dari batuan



Gambar 8. Temperatur cembung basah sebelum dan setelah adanya sumber panas dari batuan

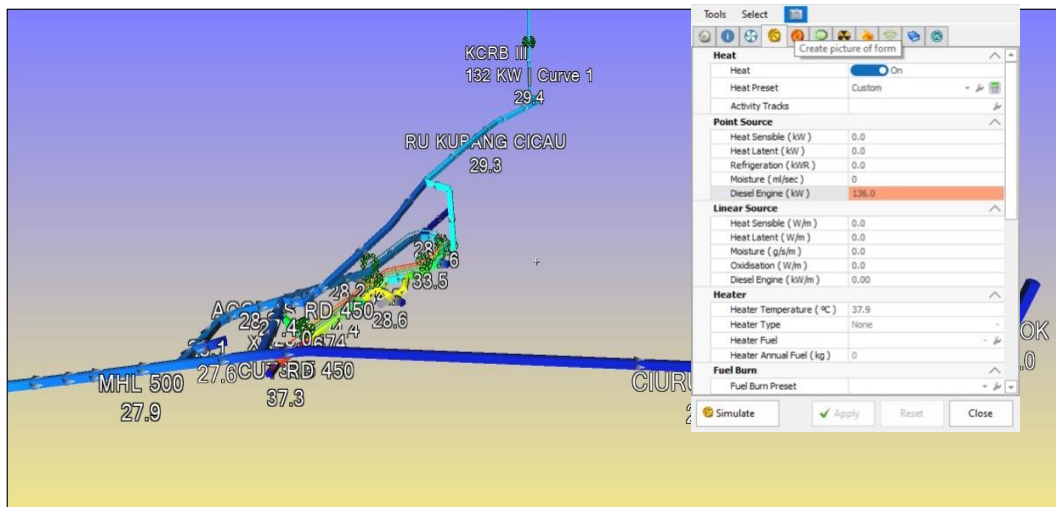
Berbeda dengan kelembaban relatif, ketika adanya sumber panas dari batuan, kelembaban udara cenderung menurun (Gambar 9). Artinya, karakteristik batuan dari lokasi studi memiliki kandungan air yang cukup tinggi dan lembab (Asupyani et al., 2020) sehingga pemanasan batuan dapat menyebabkan penguapan air dari batuan tersebut, yang pada gilirannya mengurangi kelembaban relatif udara di sekitarnya.



Gambar 9. Kelembaban relatif sebelum dan setelah adanya sumber panas dari batuan

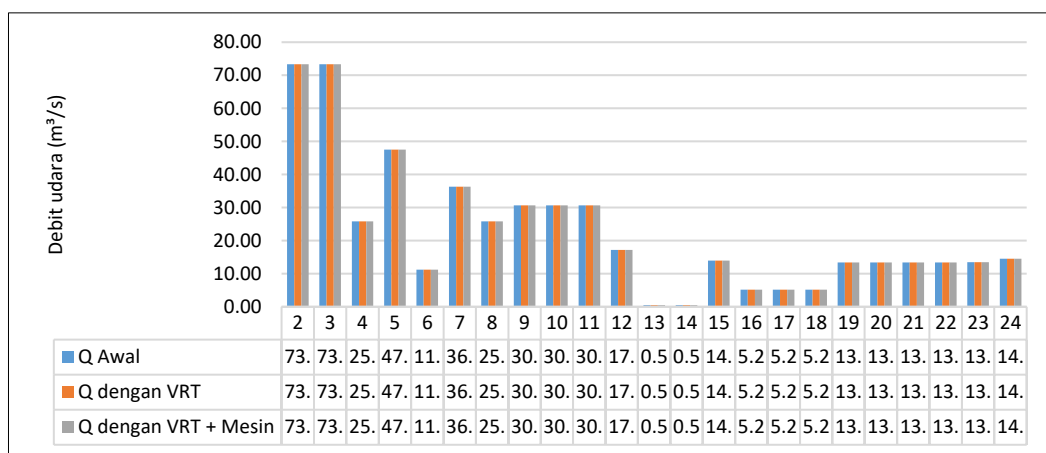
b. Kondisi lokasi studi dengan sumber panas temperatur batuan dan mesin

Simulasi kondisi udara dengan menerapkan ventilasi lokal dan memasukkan parameter panas batuan hasil pengukuran serta sumber panas *diesel* terbesar dalam pemodelan perangkat lunak *Ventsim* tergambar dengan jelas pada Gambar 10.



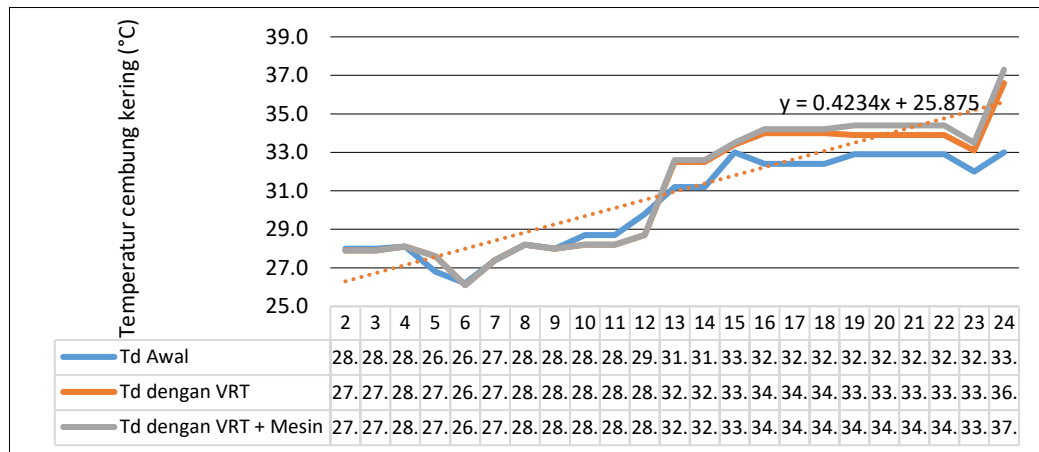
Gambar 10. Pemodelan kondisi udara dengan sumber panas temperatur batuan

Dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Ventsim*, karakteristik kondisi udara setelah memasukkan sumber panas dari batuan dan mesin dapat diamati. Adanya sumber panas tidak mempengaruhi kecepatan dan debit udara. Hal ini terlihat pada Gambar 11, yang menunjukkan bahwa kecepatan dan debit udara sebelum adanya sumber panas dan setelah dimasukkan sumber panas menunjukkan bahwa tidak ada perubahan, mengindikasikan bahwa kuantitas udara tetap sama.

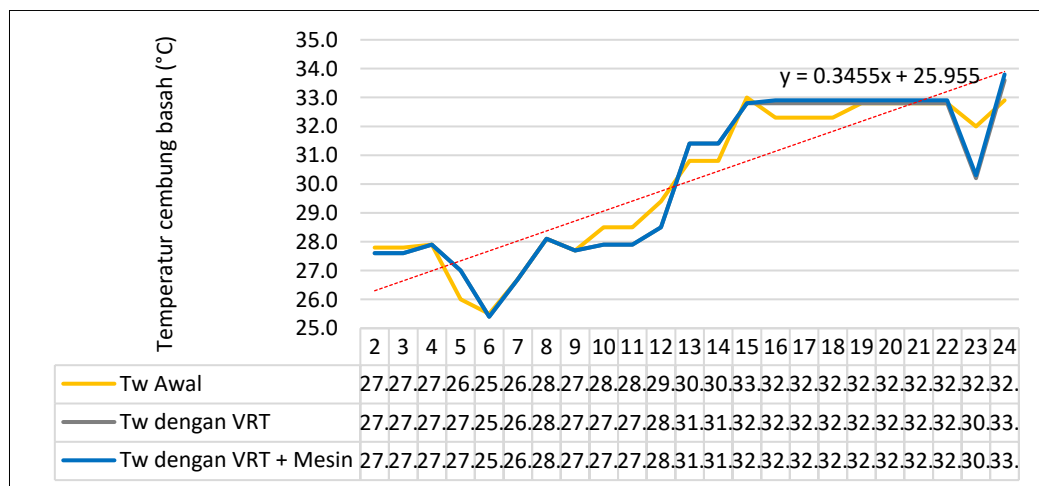


Gambar 11. Debit udara sebelum dan setelah adanya sumber panas

Berbeda dengan itu, kondisi temperatur menunjukkan perbedaan. Adanya sumber panas dari temperatur batuan dan mesin menyebabkan peningkatan temperatur, sebagaimana terlihat pada Gambar 12 dan Gambar 13, baik pada temperatur cembung kering maupun temperatur cembung basah. Sumber panas tersebut dapat meningkatkan temperatur, meskipun ventilasi lokal telah digunakan.

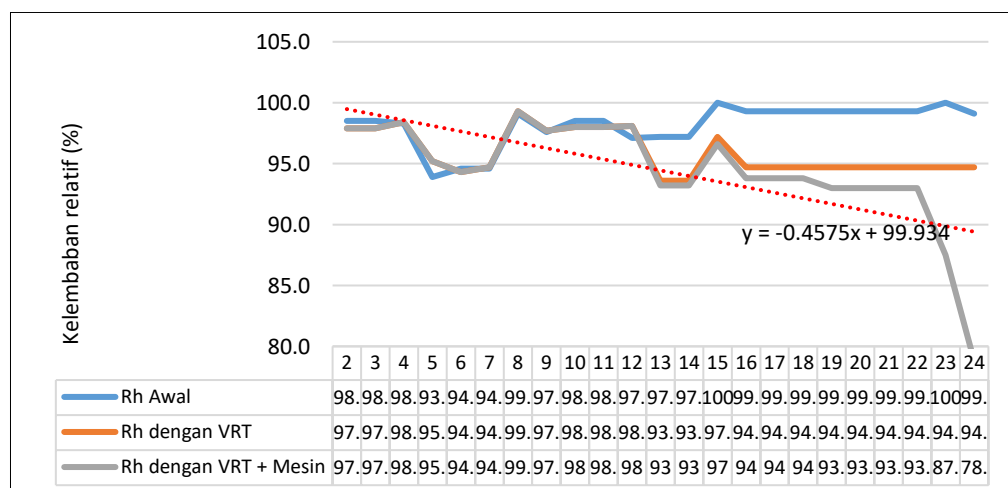


Gambar 12. Temperatur cembung kering sebelum dan setelah adanya sumber panas



Gambar 13. Temperatur cembung basah sebelum dan setelah adanya sumber panas

Kelembaban relatif mengalami penurunan karena adanya sumber panas dari batuan dan mesin yang beroperasi, sebagaimana terlihat pada Gambar 14. Penurunan ini terjadi karena kapasitas udara dalam menampung uap air meningkat seiring dengan kenaikan suhu.



Gambar 14. Temperatur cembung basah sebelum dan setelah adanya sumber panas

3. Pengendalian Panas

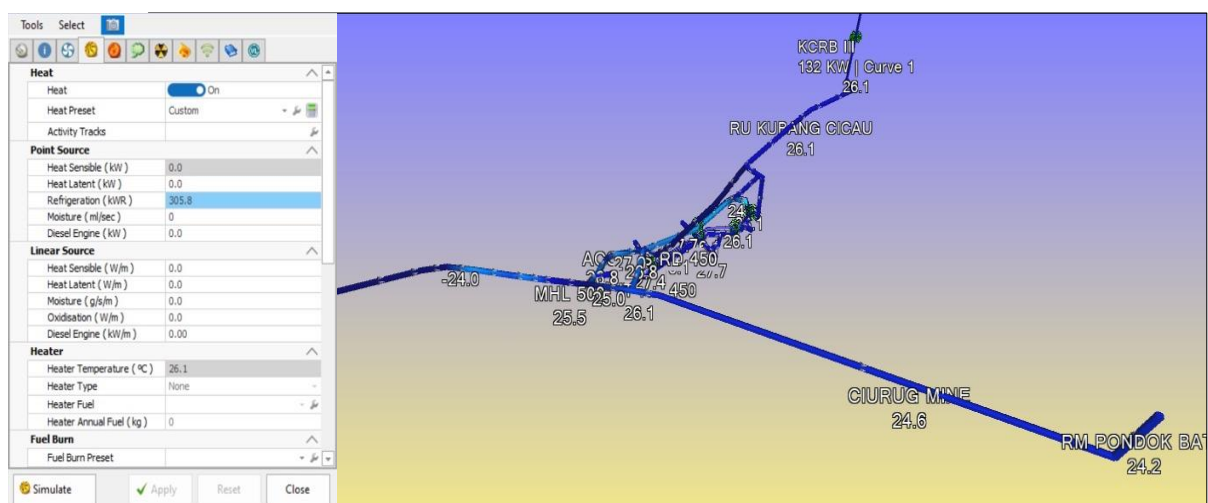
Karena hanya menggunakan ventilasi lokal tidak dapat memenuhi ketentuan suhu yang diizinkan, sesuai Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral No. 185.K/37.04/DJB/2019, diperlukan bantuan alat pendingin untuk menurunkan suhu. Besaran energi yang dibutuhkan oleh mesin pendingin dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Energi mesin pendingin} = \frac{\text{Kebutuhan kapasitas pendingin}}{\text{Coefficient Of Performance (COP)}}$$

Dimana nilai COP (*Coefficient of Performance*) mesin pendingin umumnya adalah 4,2 (Ryan and Euler, 2017). Dengan menggunakan rumus tersebut, dapat dihitung kebutuhan mesin pendingin agar kondisi udara sesuai dengan ketentuan Kepdirjen No. 185.K/37.04/DJB/2019, yaitu:

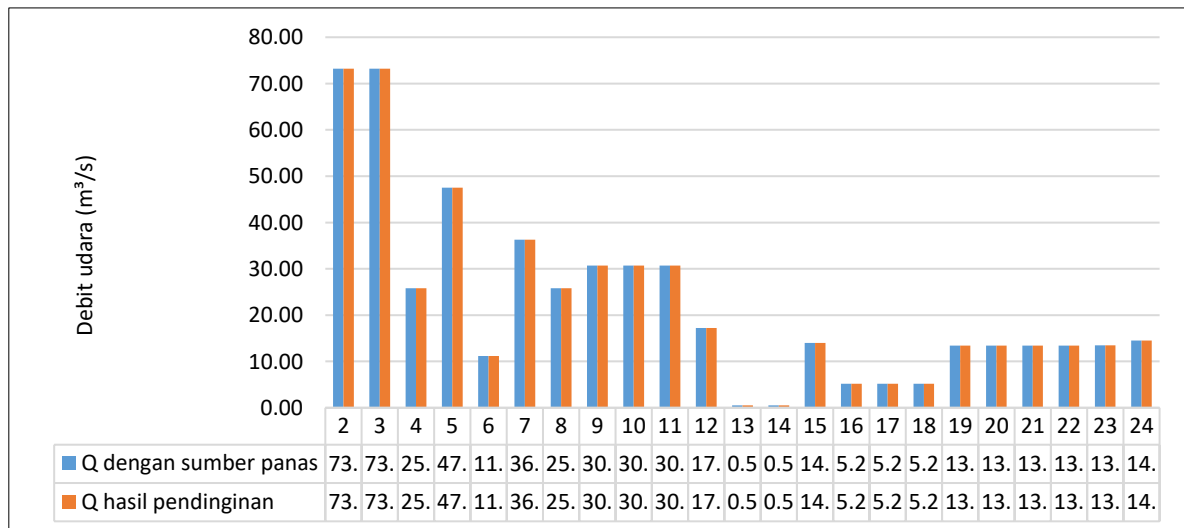
$$\text{Energi mesin pendingin} = \frac{1284,33 \text{ kW}}{4,2} = 305,79 \text{ kW}$$

Berdasarkan kebutuhan mesin pendingin untuk mencapai suhu yang diizinkan, sesuai dengan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 185.K/37.04/DJB/2019, besaran energi mesin pendingin disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *Ventsim*. Gambar 15. memperlihatkan dengan jelas hasil simulasi tersebut.



Gambar 15. Simulasi kondisi udara dengan pendinginan di perangkat lunak Ventsim

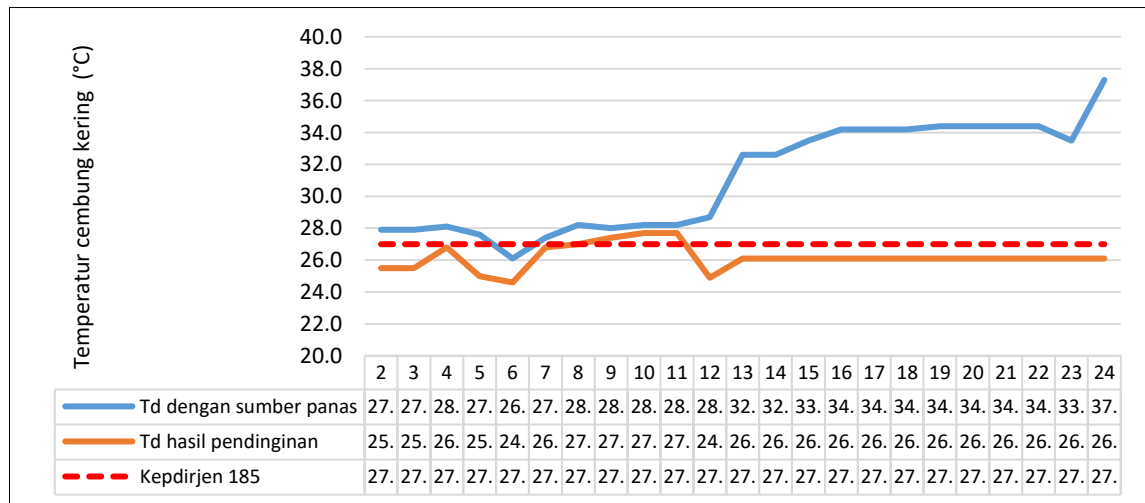
Dengan penggunaan mesin pendingin, kecepatan udara dan debit udara tetap pada nilai yang sama, yang berarti penggunaan mesin pendingin tidak memberikan perubahan pada kuantitas udara. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 16.



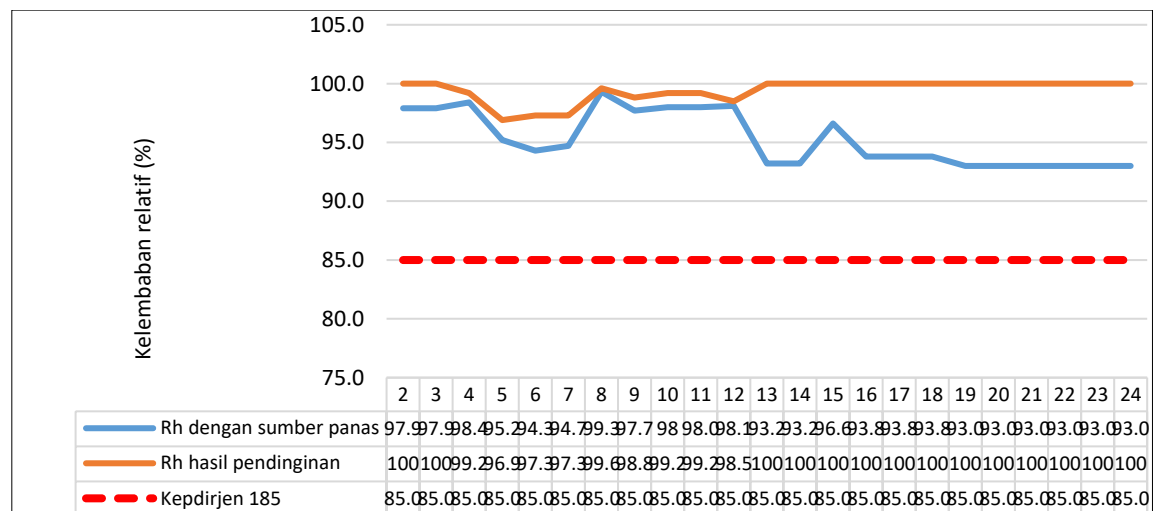
Gambar 16. Debit udara hasil simulasi penggunaan mesin pendingin

Hal ini berbeda dengan kondisi suhu udara. Dengan menggunakan mesin pendingin sesuai dengan kebutuhan, suhu yang diinginkan dapat dicapai. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan besaran mesin pendingin, kondisi yang diinginkan dapat tercapai sesuai dengan aturan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 185.K/37.04/DJB/2019. Rata-rata suhu dapat turun di bawah ambang batas yang diizinkan (Gambar 17).

Penggunaan mesin pendingin di lokasi studi, kelembaban relatif hasil simulasi menunjukkan masih berada di atas batas aturan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 185.K/37.04/DJB/2019, yaitu 85%. Bahkan, kelembaban relatif ini menunjukkan peningkatan setelah menggunakan mesin pendingin (Gambar 18). Hal ini disebabkan oleh penurunan suhu, sementara kandungan air tetap konstan, yang menyebabkan kelembaban relatif naik karena kapasitas udara untuk menampung uap air berkurang, sehingga kelembaban relatif meningkat.



Gambar 17. Temperatur udara hasil simulasi pendinginan



Gambar 18. Kelembaban relatif hasil simulasi pendinginan

KESIMPULAN

Berdasarkan studi kasus pengendalian panas, ditemukan bahwa:

1. Besaran sumber panas terbesar yang disumbangkan ke terowongan berasal dari penggunaan peralatan mekanik.
2. Jumlah aliran udara yang memasuki terowongan dipengaruhi oleh kedalaman, panjang terowongan dan adanya ventilasi lokal.
3. Suhu dan kelembaban dipengaruhi oleh kondisi suhu dan kelembaban di permukaan, panjang serta kedalaman terowongan, sumber-sumber panas di dalam terowongan dan penggunaan mesin pendingin.
4. Penurunan suhu yang diinginkan dapat dicapai dengan menggunakan mesin pendingin, namun belum menunjukkan penurunan kelembaban udara.

REFERENSI

- Asupyani, H., Zakaria, Z., Sophian, R. I., and Pratama, R. (2020): *Analisis Kekuatan Massa Batuan pada Tunnel Gudang Handak Berdasarkan Metode Rock Mass Rating (RMR) Bieniawski 1989 PT Aneka Tambang UBPE Pongkor*.
- Danko, G., Bahrami, D., and Stewart, C. (2020): Applications and verification of a computational energy dynamics model for mine climate simulations, *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(4), 483–493. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.03.019>
- George, D., Davood, B., and Pierre, M. J. (2011): Ventilation and climate simulation with the Multiflux code, *Journal of Coal Science and Engineering*, 17(3), 243–250. <https://doi.org/10.1007/s12404-011-0304-0>
- Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., and Wang, Y. J. (1982): Mine ventilation and air conditioning. Second Edn.
- Lowndes, I. S., Crossley, A. J., and Yang, Z. Y. (2004): The ventilation and climate modelling of rapid development tunnel drivages, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 19(2), 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2003.09.003>
- McPherson, M. J. (1993): *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1550-6>
- Ryan, A., and 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>
- Sasmito, A. P., Kurnia, J. C., Birgersson, E., and Mujumdar, A. S. (2015): Computational evaluation of thermal management strategies in an underground mine, *Applied Thermal Engineering*, 90, 1144–1150. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.062>
- Xiaojie, Y., Qiaoyun, H., Jiewen, P., Xiaowei, S., Dinggui, H., and Chao, L. (2011): Mining Science and Technology (China) Progress of heat-hazard treatment in deep mines, *Mining Science and Technology (China)*, 21(2), 295–299. <https://doi.org/10.1016/j.mstc.2011.02.015>
- Xie, Z. (2012): Distribution law of high temperature mine's thermal environment parameters and study of heat damage's causes, *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 43, 588–593. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.104>