

Perilaku aliran udara dan temperatur berdasarkan variasi kemiringan terowongan tambang bawah tanah: simulasi laboratorium

Behavior of airflow and temperature based on slope variations in underground mining: laboratory simulation

Eka Sari Wulandari*, Romla Noor Hakim, Karina Shella Putri
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: [*ekawulan1904@gmail.com](mailto:ekawulan1904@gmail.com), romla@ulm.ac.id, karinashella@ulm.ac.id

ABSTRAK

Ventilasi tambang merupakan salah satu aspek penunjang bagi peningkatan produktivitas para pekerja tambang bawah tanah. Berbeda dengan tambang terbuka, pada tambang bawah tanah ketersediaan udara sangat terbatas, sehingga perlu upaya pengontrolan terhadap kualitas dan kuantitas udara.

Penelitian bersifat eksperimental melalui simulasi yang mengacu pada beberapa skenario kemiringan terowongan bawah tanah namun dilakukan dengan skala laboratorium. Pengambilan data dibagi menjadi tiga titik pengujian pada depan terowongan, meter kedua terowongan, dan meter ketiga (ujung) terowongan. Kemiringan terowongan menggunakan tujuh variasi kemiringan antara lain 0°, 4°, 7°, 11°, 14°, 18°, dan 22°. Sedangkan untuk kecepatan putaran fan yang digunakan antara lain 2745 rpm (Dm1), 3271,7 rpm (Dm2), 3406,5 rpm (Dm3), dan 3643,4 rpm (Dm4).

Data yang diambil dalam simulasi antara lain kecepatan, temperatur, dan kelembaban. Tren pada simulasi kecepatan yaitu semakin jauh jarak titik pengukuran maka semakin rendah kecepatan aliran udaranya, serta semakin besar kemiringan terowongan semakin tinggi kecepatan aliran udaranya. Tren pada simulasi temperatur yaitu terjadi peningkatan temperatur dari saat terowongan tanpa kemiringan (horisontal) dan memuncak sampai terowongan dengan kemiringan 14°, kemudian temperatur udara semakin turun pada kemiringan terowongan 18° dan 22°. Tren pada simulasi kelembaban udara memiliki kemiripan dengan tren kecepatan yaitu semakin besar kemiringan terowongan semakin tinggi kelembaban udaranya.

Kata-kata kunci: ventilasi, kelembaban, eksperimental

ABSTRACT

Mine ventilation is one of the supporting aspects for increasing the productivity of underground mining workers. In contrast to open-pit mining, in underground mining, the availability of air is very limited, so it is necessary to control the quality and quantity of air.

The research is experimental through simulation which refers to several scenarios of the slope of the underground tunnel but is carried out on a laboratory scale. Data collection was divided into three test points at the front of the tunnel, the second meter of the tunnel, and the third meter (end) of the tunnel. The tunnel slope uses seven variations of the slope, including 0°, 4°, 7°, 11°, 14°, 18°, and 22°. As for the rotational speed of the fan used, among others, 2745 rpm (Dm1), 3271.7 rpm (Dm2), 3406.5 rpm (Dm3), and 3643.4 rpm (Dm4).

The data taken in the simulation include speed, temperature, and humidity. The trend in velocity simulation are the farther away from the measurement point then the lower the airflow velocity and the larger slope of the tunnel then the higher the airflow velocity. The trend in the temperature simulation is that there is an increase in temperature from the tunnel without a slope (horizontal) to peak temperature occurs at a tunnel slope of 14o, then the air temperature decreases at the tunnel slope of 18o and 22o. The trend in the air humidity simulation is similar to the velocity trend, namely the larger the slope of the tunnel, the higher the humidity.

Keywords: ventilation, humidity, experimental

PENDAHULUAN

Ventilasi tambang merupakan salah satu aspek penunjang bagi peningkatan produktivitas para pekerja tambang bawah tanah. Berbeda dengan tambang terbuka, pada tambang bawah tanah ketersediaan udara sangat terbatas. Pada tambang bawah tanah udara yang ada sangat terbatas ditambah dengan aktivitas penambangan yang menimbulkan debu sehingga keberadaan ventilasi sangat dibutuhkan dalam sistem penambangan bawah tanah.

Pada dasarnya ventilasi merupakan upaya pengontrolan terhadap kualitas dan kuantitas udara tambang. Pengendalian kualitas udara tambang bertujuan untuk menjaga agar kondisi udara tambang sesuai dengan persyaratan yang ditentukan antara lain pengendalian gas-gas yang berbahaya maupun debu-debu tambang serta pengaruh *temperature* dan kelembaban udara tambang. Sedangkan pengendalian kuantitas udara bertujuan untuk mengatur jumlah udara bersih yang mengalir ke dalam tambang sehingga udara yang dialirkan tersebut mencukupi

sesuai jumlah yang dibutuhkan. Dengan terciptanya kondisi tempat kerja yang nyaman untuk bekerja di dalam tambang bawah tanah, maka hal ini secara langsung maupun tidak langsung dapat meningkatkan produktivitas para pekerja serta angka kecelakaan kerja. Apabila tidak ada ventilasi dalam tambang bawah tanah akan berakibat sulitnya para pekerja bernafas dan yang lebih buruk dapat menyebabkan kematian.

[1] Studi yang mempelajari perilaku aliran udara di tambang bawah tanah pada terowongan diagonal dilakukan oleh Bascompta pada tahun 2018 dalam artikel jurnalnya yang berjudul "Airflow Stability and Diagonal Mine Ventilation System Optimization: A Case Study" menyatakan bahwa pembalikan aliran udara adalah permasalahan penting dalam sistem ventilasi bawah tanah. Selain itu, stabilitas aliran udara dan keselamatan produksi dapat sangat dipengaruhi oleh masalah kecepatan udara yang berlebihan di jalan pengangkutan. Dalam studi ini, penyebab krusial dari masalah ventilasi dalam studi kasus

tambang batubara dianalisis dan solusi yang diusulkan melalui metodologi analitik. Pengukuran menunjukkan hambatan udara yang tinggi di poros dan nilai yang rendah di jalan pemeliharaan, menghasilkan perilaku arah aliran udara yang tidak normal. Strategi untuk mengatasi masalah terkait ventilasi telah diusulkan dan diterapkan, dengan memverifikasi kondisi ventilasi normal. Sistem ventilasi diagonal harus terus dioptimalkan untuk tujuan meningkatkan stabilitas aliran udara dan produksi keselamatan. Studi ini menawarkan analisis menyeluruh tentang penyebab masalah gangguan udara di drift, terowongan dan poros dengan sistem ventilasi diagonal bertingkat dan rumit, serta memberikan serangkaian solusi dalam studi kasus. Melalui penggabungan node dan mengoptimalkan sistem ventilasi, masalah aliran udara balik di bawah tanah di poros vertikal dan kecepatan aliran udara yang berlebihan dapat diselesaikan sepenuhnya, mengubah resistansi beberapa bagian sirkuit ventilasi dan tetap menyediakan aliran udara yang cukup untuk pekerjaan bawah tanah.

[2] Studi pergerakan aliran udara pada terowongan miring akibat kebakaran telah dilakukan oleh Chow, WK; et al. Menurut Chow, WK, berbeda dengan terowongan horizontal, terjadi percepatan di sepanjang sumbu longitudinal akibat gaya apung asap. Fenomena ini bersama dengan radiasi termal akan menyebabkan mekanisme perpindahan panas yang rumit dari jet langit-langit di terowongan miring. Penelitian yang dilakukan menggunakan aliran udara yang diinduksi secara termal yang timbul dari kebakaran di terowongan miring dipelajari melalui eksperimen model skala. Model yang digunakan yaitu penampang terowongan dengan panjang 3 m, lebar 0,8 m dan tinggi 1 m, dengan sumber pemanas listrik 1,5 kW untuk memodelkan api. Pola pergerakan udara panas yang didorong oleh pemanas listrik dipelajari dengan kemiringan terowongan ke 0°, 10°, 20° dan 30° ke arah horizontal. Bilangan makroskopik pada perpindahan panas, termasuk bilangan Rayleigh (Ra) rata-rata dan bilangan Nusselt lokal Nuave untuk terowongan miring juga dipelajari beserta korelasi diantara keduanya dari hasil yang diukur.

[3] Penelitian tentang simulasi ventilasi tambang pada skala laboratorium juga pernah dilakukan di Indonesia oleh Heriyadi, B yang dikutip dalam artikelnya berjudul "Rancangan Dan Pembuatan Alat Simulasi Sistem Ventilasi Tambang Pada Laboratorium Untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang". Alat simulasi dibuat menggunakan lempengan besi dengan tebal 1 mm. Kesimpulan dari data hasil evaluasi kualitas udara alat simulasi memiliki temperature efektif yang cukup tinggi yaitu melebihi nilai ambang batas yang diizinkan oleh Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 yaitu 18 – 24 0C, sedangkan untuk kelembaban relative yang diizinkan oleh Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 adalah < 85%, dan dalam simulasi studi ini tidak melewati nilai ambang batas yang ditetapkan.

[4] Penelitian lain yang juga dilakukan oleh Syaputra D; Heriyadi, B terkait tentang "Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Temperatur Efektif Pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah". Penelitian skala laboratorium dilakukan untuk mengetahui hubungan perbedaan variasi kecepatan aliran udara terhadap penurunan temperatur efektif dan terhadap kelembaban relative.

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian tentang analisis pengaruh kemiringan terowongan terhadap kecepatan aliran dan kelembaban udara tambang bawah tanah dalam skala laboratorium. Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kemiringan terowongan tambang bawah tanah terhadap perubahan kecepatan aliran udara dan kelembaban dengan beberapa skenario dalam skala laboratorium.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahap pekerjaan penelitian sebagai berikut :

1. **Persiapan**
Pada tahap persiapan dilakukan dengan mencari bahan-bahan pustaka yang diperoleh dari jurnal dan publikasi ilmiah instansi terkait, grafik dan table, informasi penunjang lainnya.
2. **Pembuatan Alat Simulasi Ventilasi TBT**
Pembuatan alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah dimulai dari membuat desain alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah, mencari bahan material pembuatan alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah setelah itu melakukan pembuatan alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat. Setelah selesainya pembuatan alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah dilakukan percobaan guna mendapatkan data.
3. **Pengumpulan Data**
Pengumpulan data dilakukan setelah selesai pembuatan alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah. Kemudian peneliti melanjutkan pengujian di Laboratorium Teknologi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat. Adapun data-data yang dikumpulkan terbagi menjadi tiga (data kecepatan aliran udara, data dimensi terowongan dan data *temperature* terowongan dan kelembaban udara).
4. **Pengolahan Data**
Pada tahap ini semua data yang berhasil dikumpulkan akan diklarifikasi sesuai dengan kegunaannya agar dapat menunjang penyusunan laporan penelitian dan memudahkan dalam penganalisaan data. Selanjutnya data yang menjadi pokok permasalahan penelitian akan dilakukan perhitungan dimana nanti dapat diperoleh beberapa hasil percobaan sebagaimana tujuan dari penelitian ini dan ditampilkan bentuk table untuk mempermudah analisa.
5. **Analisis Data**
Pada tahap ini hasil pengolahan data akan dianalisis untuk mengetahui faktor apa saja yang membuat perbedaan dari hasil percobaan kecepatan aliran udara dan *temperature* terowongan dengan adanya perbedaan kemiringan dari simulasi terowongan.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini adalah mengevaluasi kecepatan, temperatur, dan kelembaban relatif udara dalam terowongan bawah tanah. Penelitian bersifat eksperimental melalui simulasi yang dilakukan mengacu pada beberapa skenario kemiringan terowongan bawah tanah namun dilakukan dengan skala laboratorium.

Hasil uji coba akan dianalisis agar mendapatkan kesimpulan yang tepat untuk menjawab rumusan masalah yang ada.

Rancangan Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah

Rancangan alat simulasi menggunakan *software SketchUp* 2019. Berikut gambar desain alat simulasi ventilasi tambang bawah tanah. Dimensi dari alat simulasi ventilasi terowongan tambang bawah tanah yaitu panjang terowongan 300 cm, lebar terowongan 20 cm dan tinggi terowongan 20 cm. Dalam pengambilan data dibagi menjadi tiga titik pengujian pada meter pertama berada pada (depan) terowongan, meter kedua berada pada (tengah) terowongan dan meter ketiga pada (ujung) terowongan (lihat Gambar-1).

Kemiringan terowongan yang digunakan dalam simulasi ventilasi tambang bawah tanah menggunakan tujuh variasi kemiringan antara lain 0° , 4° , 7° , 11° , 14° , 18° , dan 22° . Sedangkan untuk kecepatan putaran fan yang digunakan dalam simulasi ventilasi tambang bawah tanah antara lain 2745 rpm (Dm1), 3271,7 rpm (Dm2), 3406,5 rpm (Dm3), dan 3643,4 rpm (Dm4).

Kecepatan Aliran Udara Hasil Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah

Data kecepatan aliran udara yang diambil selama simulasi ventilasi tambang bawah tanah menggunakan bantuan alat Anemometer, dimana disini pengambilan data dibagi menjadi tiga titik yaitu pada posisi meter pertama dibagian (depan) terowongan, meter kedua berada dibagian (tengah) terowongan dan meter ketiga dibagian (belakang)

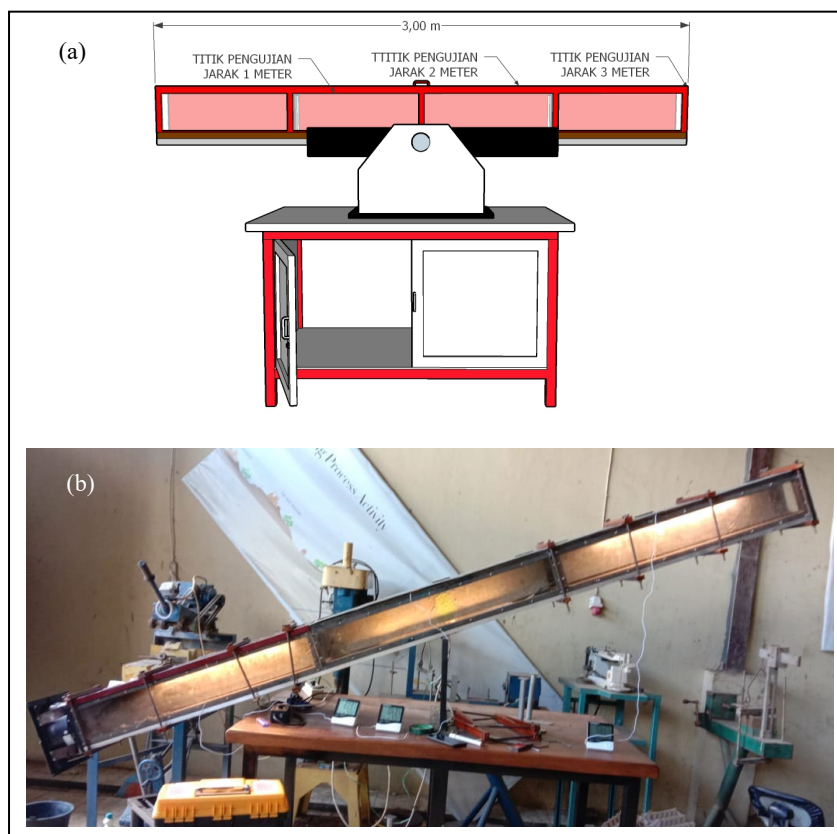
terowongan. Grafik kecepatan aliran udara pada masing-masing kemiringan terowongan dapat dilihat pada Gambar-2.

Temperatur Efektif Hasil Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah

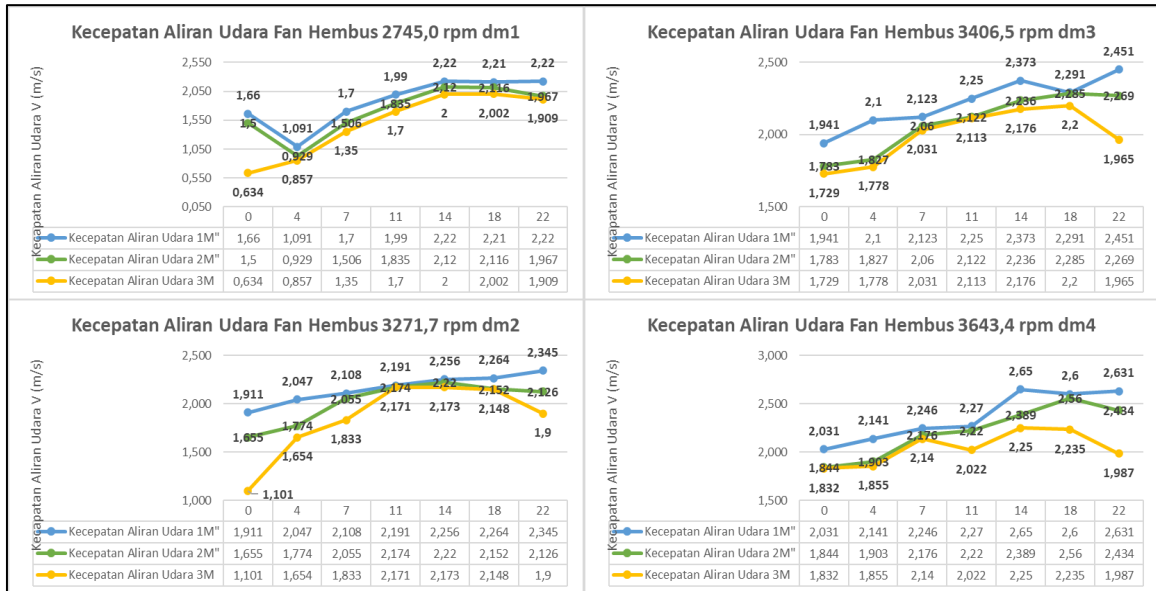
Pengambilan data temperatur terowongan pada simulasi ventilasi tambang bawah tanah ini menggunakan alat Temperatur Humadity. Sama halnya pada pengambilan data kecepatan aliran udara, pengambilan data temperatur terowongan dibagi menjadi tiga titik yaitu pada posisi meter pertama dibagian (depan) terowongan, meter kedua berada dibagian (tengah) terowongan dan meter ketiga dibagian (belakang) terowongan, sedangkan untuk waktu pengambilan data dibagi menjadi empat kali pengambilan data antara lain pada saat pagi hari, siang hari, sore hari, dan pada malam hari. Grafik temperature pada masing-masing kemiringan terowongan dapat dilihat pada Gambar-3.

Kelembaban Relatif Hasil Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah

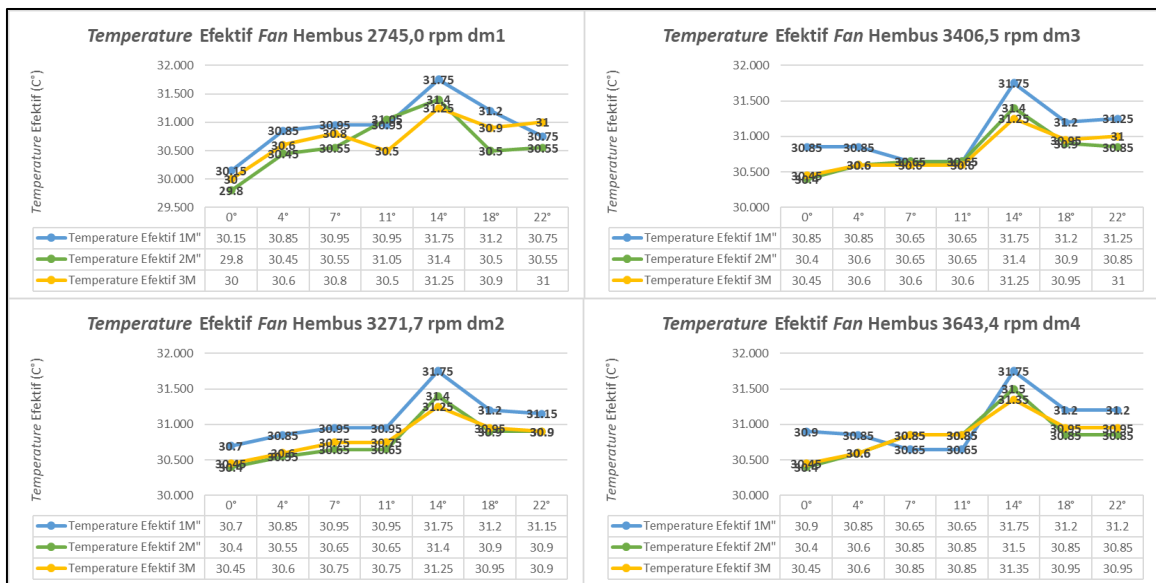
Kelembaban udara pada simulasi ventilasi tambang bawah tanah ini diambil datanya menggunakan alat Temperatur Humadity. Pengambilan data juga dibagi menjadi tiga titik yaitu pada posisi meter pertama dibagian (depan) terowongan, meter kedua berada dibagian (tengah) terowongan dan meter ketiga dibagian (belakang) terowongan. Waktu pengambilan data juga dibagi menjadi empat kali pengambilan data antara lain pada saat pagi hari, siang hari, sore hari, dan pada malam hari. Grafik kelembaban udara pada masing-masing kemiringan terowongan dapat dilihat pada Gambar-4.



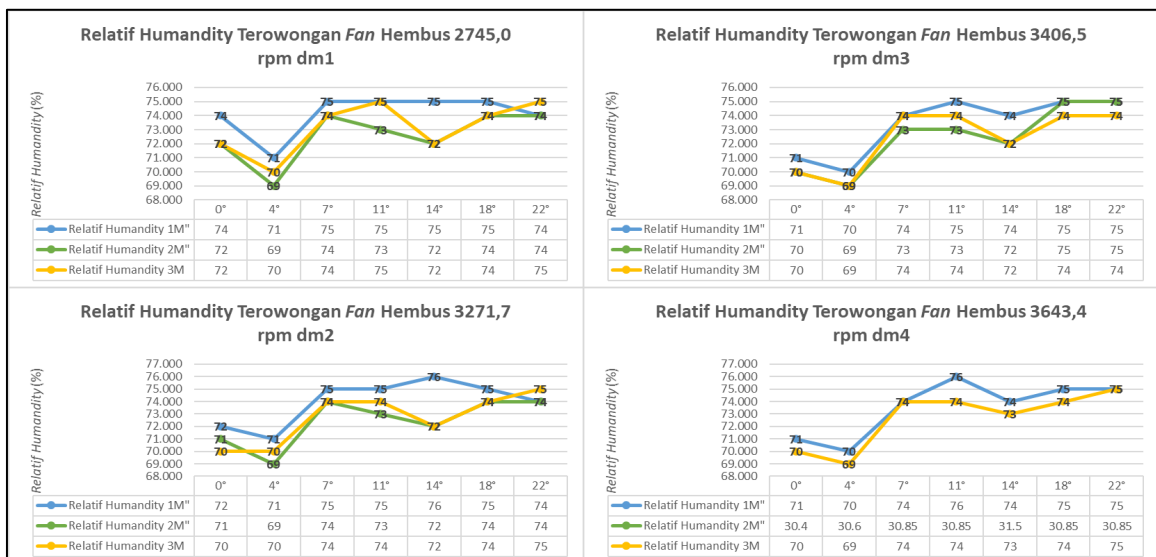
Gambar-1. Desain (a) dan Realisasi (b) Alat Simulasi Ventilasi TBT



Gambar-2. Tren Kecepatan Udara



Gambar-3. Tren Temperatur Efektif



Gambar-4. Tren Kelembaban Udara

Diskusi

Pada gambar-2 grafik kecepatan aliran udara dapat dilihat bahwa nilai kecepatan aliran udara tertinggi terjadi pada muka terowongan dengan putaran fan terbesar (dm4). Tren yang terjadi pada simulasi kecepatan aliran udara yaitu semakin besar kemiringan terowongan yang disimulasikan maka semakin tinggi kecepatan aliran udara yang terjadi baik pada muka terowongan, tengah terowongan, maupun ujung terowongan. Tren ini juga terjadi di setiap perubahan rpm pada fan yang disimulasikan. Faktor yang membuat perbedaan hasil dari nilai kecepatan aliran udara yaitu dipengaruhi oleh posisi fan yang berada tepat di depan alat uji ukur yang membuat tidak adanya tahanan aliran udara dan bentuk terowongan yang mengakibatkan distribusi aliran udara yang tidak merata oleh adanya sekat di dalam terowongan yang menyebabkan ada nya tahanan aliran udara.

Pada gambar-3 grafik hasil temperature efektif terowongan dapat dilihat bahwa temperatur tertinggi terjadi pada muka terowongan. Tidak terdapat perubahan temperatur yang signifikan pada muka terowongan baik pada rpm rendah sampai dengan rpm tinggi. Namun hal ini tidak terjadi pada temperatur-temperatur dalam simulasi pada titik pengambilan data di tengah dan di ujung terowongan. Tren yang terjadi pada simulasi temperatur yaitu terjadi peningkatan temperatur dari saat terowongan tanpa kemiringan (horisontal) dan memuncak sampai terowongan dengan kemiringan 14°, kemudian temperatur udara semakin turun pada kemiringan terowongan 18° dan 22°. Faktor yang membuat hasil dari nilai-nilai temperatur efektif terowongan yaitu dipengaruhi oleh cuaca yang berbeda saat pengambilan data dan panas yang keluar dari putaran Fan saat pengujian berlangsung, adanya angin dari putaran Fan yang membuat suhu temperature efektif terowongan turun dan adanya proses pembarakan yang berpengaruh terhadap suhu temperature efektif terowongan menjadi naik.

Pada gambar-4 grafik hasil kelembaban udara terowongan dapat dilihat bahwa nilai kelembaban terowongan tertinggi terjadi pada muka terowongan. Tren yang terjadi pada simulasi kelembaban yaitu terjadi peningkatan kelembaban dari saat kemiringan terowongan 0° sampai terowongan dengan kemiringan 7° dan 11°, kemudian tren kelembaban udara relatif datar sampai kemiringan 22°. Faktor yang membuat perbedaan hasil dari nilai-nilai relative humidity terowongan yaitu perbedaan dari temperature dry (td) dan temperature wet (tw). Kecepatan aliran udara merupakan faktor utama dalam mengatur kenyamanan ruang terowongan yang panas dan lembab, dipengaruhi oleh cuaca yang berbeda saat pengambilan data.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dari kegiatan analisis pengaruh kemiringan terowongan terhadap kecepatan aliran udara dan temperature terowongan tambang bawah tanah dalam skala laboratorium, maka dapat diambil kesimpulan, antara lain:

1. Faktor yang membuat perbedaan hasil dari nilai kecepatan aliran udara yaitu dipengaruhi oleh posisi fan yang berada tepat didepan alat uji ukur kecepatan aliran udara dan bentuk terowongan yang mengakibatkan distribusi aliran udara yang tidak

merata oleh adanya sekat di dalam terowongan yang menyebabkan ada nya tahanan aliran udara.

2. Faktor yang membuat perbedaan hasil dari nilai *temperature* efektif terowongan yaitu dipengaruhi oleh cuaca yang berbeda saat pengambilan data, bentuk terowongan yang mengakibatkan distribusi aliran udara yang tidak merata oleh adanya sekat didalam terowongan yang menyebabkan adanya tahanan aliran udara, panas yang keluar dari putaran Fan saat pengujian berlangsung, adanya angin dari putaran Fan yang membuat suhu *temperature efektif* terowongan turun dan adanya proses pembarakan yang berpengaruh terhadap suhu *temperature* efektif terowongan menjadi naik.
3. Faktor yang membuat perbedaan hasil dari nilai *relative humidity* terowongan yaitu perbedaan dari temperature dry (td) dan temperature wet (tw). Kecepatan aliran udara merupakan faktor utama dalam mengatur kenyamanan ruang terowongan yang panas dan lembab, dipengaruhi oleh cuaca yang berbeda saat pengambilan data, bentuk terowongan yang mengakibatkan distribusi aliran udara yang tidak merata oleh adanya sekat didalam terowongan yang menyebabkan adanya tahanan aliran udara.

SARAN

Saran yang dapat berikan sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk peneliti selanjutnya adalah melakukan pengembangan alat praktikum ventilasi tambang yang telah ada di laboratorium sehingga mampu mendapatkan data yang lain. Hal ini dapat melengkapi materi praktikum ventilasi tambang.
2. Sebaiknya saat melakukan proses pembakaran guna untuk mendapatkan data gas dilakukan dengan sangat hati-hati agar tidak merusak fan pada alat simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bascompta, M., Sanmiquel, L., and Zhang, H. 2018. Airflow Stability and Diagonal Mine Ventilation System Optimization: A Case Study. *Journal of Mining Science*. vol. 54, no. 5, pp. 813-820.
- [2] Chow, W., et al. 2018. Numerical Studies on Thermally-Induced Air Flow in Sloping Tunnels with Experimental Scale Modelling Justifications. *Fire Technology*. vol. 54, no. 4, pp. 867-892.
- [3] Bambang, Heriyadi. 2017. Rancangan dan Pembuatan Alat Simulasi Ventilasi Tambang Pada Laboratorium Untuk Pembelajaran Ventilasi Tambang. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 17. No. 02.
- [4] Syaputra, Dhoni dan Bambang, Heriyadi. 2019. Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Temperature Efektif Pada Alat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah. *Jurnal Bina Tambang*. Vol. 4. No. 1.
- [5] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah. 2014. *Ventilasi Tambang Bawah Tanah*. Balai Diklat Diklat Tambang Bawah Tanah. Sumbawa Barat.

- [6] Balai Diklat Tambang Bawah Tanah. 2018. *Ventilasi Tambang*. Balai Diklat Tambang Bawah Tanah. Sumatra Barat.
- [7] Alfian. 2013. Analisis Nilai Overall Equipment Effectiveness dan Failure Mode and Effect Analysis sebagai Dasar Perawatan Mesin Breaker. *Skripsi*. Jurusan Teknik Industri. Universitas Islam Negeri Sultan Sarif Kasim.
- [8] Modul. Praktikum Ventilasi. 2019. *Praktikum Ventilasi Tambang Bawah Tanah*. Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Pertambangan. Universitas Lambung Mangkurat.