Indonesian Mining Professionals Journal
Volume 1, Nomor 1, Bulan November 2019
https://jurnal.perhapi.or.id/impj
ISSN : 2714-8823 (Print); ISSN : -

ANALISIS DILUSI GAS KARBON MONOKSIDA PADA PERMUKA KERJA TEROWONGAN HORIZONTAL DENGAN MODEL FISIK SKALA LABORATORIUM

Analysis of Carbon Monoxide Gas Dilution on Horizontal Tunnel Front using Laboratory Scale Physical Model

Addien Wisnu Harnoko[1], Nuhindro Priagung Widodo[1*], dan Ahmad Ihsan[1]

[1] Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia

Artikel masuk :September 2019 , Artikel diterima : Oktober 2019, Atikel terbit : November 2019

Kata kunci: ventilasi, dilusi, karbon monoksida, koefisien difusi, turbulen

Keywords: Ventilation, dilution, carbon monoxide, diffusion coefficient, turbulent

ABSTRAK

Potensi bahaya yang sering terjadi pada terowongan bawah tanah adalah gas berbahaya dan beracun, yaitu salah satunya karbon monoksida (CO) yang dapat ditemukan pada terowongan bawah tanah misalnya sebagai hasil dari peledakan tidak sempurna pada permuka kerja. Gas CO sangat beracun sehingga dapat menyebabkan kematian. Penelitian ini bertujuan menentukan persebaran gas CO saat dilakukan pengenceran dengan ventilasi terowongan di permuka kerja horizontal. Penelitian ini dilakukan pada model fisik laboratorium dengan perbandingan 1:10 dibandingkan terowongan sebenarnya, yaitu pada ukuran penampang model di laboratorium 40 cm x 40 cm. Efektifitas pengenceran atau dilusi diindikasikan dengan nilai koefisien difusi, dimana semakin besar koefisien difusi tersebut maka semakin tersebar konsentrasi gas CO, sehingga semakin cepat penurunan konsentrasi gas CO tersebut. Parameter kondisi pengujian berupa perbandingan jarak duct ke face (*L/D*) dan nilai bilangan Reynolds (*Re*) yang menunjukkan variasi kecepatan udara pada permuka kerja terowongan. Hasil pengujian dari persebaran gas CO menunjukkan adanya pengaruh konfigurasi jarak *forcing duct* maupun *exhausting duct* pada *front* kerja terhadap dilusi gas CO. Selain itu dalam penelitian ini juga didapatkan pengaruh bilangan Reynolds terhadap nilai koefisien difusi, yaitu semakin besar nilai *Re* maka nilai *E* juga semakin besar.

ABSTRACT

Potential hazards that often occur in underground tunnels are dangerous and toxic gases, one of which is carbon monoxide (CO) which can be found in underground tunnels for example as a result of imperfect detonation on work surfaces. CO gas is very poisonous so it can cause death. This study aims to determine the spread of CO gas when diluting with tunnel ventilation in the horizontal front. This research was conducted on a physical model of the laboratory with a ratio of 1:10 compared to the actual tunnel, that is at the cross section of the model in the laboratory 40 cm x 40 cm. The effectiveness of dilution or dilution is indicated by the value of the diffusion coefficient, where the greater the diffusion coefficient, the more diffused the CO gas concentration, so the faster the CO gas concentration decreases. The parameters of the test conditions are the ratio of the duct to face distance (L/D) and the Reynolds number (Re) which shows the variation of air velocity in the tunnel work surface. Test results from the distribution of CO gas showed the influence of the configuration of the forcing duct and exhausting duct distances on the working front to the CO gas dilution. In this study also found the influence of Reynolds numbers on the value of the diffusion coefficient, that the greater the value of Re, the greater the value of E.

**Penulis Koresponden: agung@mining.itb.ac.id*
Doi :

PENDAHULUAN

Terowongan bawah tanah memiliki risiko bahaya yang lebih besar dibandingkan dengan terowongan terbuka, dikarenakan keterbatasan kondisi maupun lokasi kerja yang terbatas pada terowongan bawah tanah. Pada terowonganan bawah tanah, potensi bahaya dari aktivitas yang dilakukan sangat tinggi, sehingga keselamatan kerja haruslah menjadi perhatian utama dalam pelaksanaan kegiatan penerowongan bawah tanah.

Potensi bahaya yang sering terjadi pada terowongan bawah tanah adalah gas berbahaya dan beracun, yaitu salah satunya karbon monoksida (CO) yang sering ditemukan pada terowongan bawah tanah. Gas ini sangat beracun. Karbon monoksida memiliki karakteristik yaitu tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau, Karbon monoksida timbul akibat pembakaran yang tidak sempurna, ledakan gas dan debu, swabakar, kebakaran dalam terowongan, peledakan (blasting), maupun pembakaran internal pada mesin/peralatan terowongan lainnya.
Keberadaan gas karbon monoksida pasca kegiatan peledakan pada developing drift selalu menjadi perhatian penting, hal ini disebabkan gas karbon monoksida yang belum sepenuhnya terdilusi dapat menyebabkan keracunan para pekerja terowongan.

Karbon monoksida terbentuk dari pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya kadar oksigen. Di terowongan bawah tanah, gas ini timbul akibat emisi gas buang pada mesin diesel atau gas sisa hasil peledakan. Untuk bahan peledak Amonium Nitrat dan Fuel Oil (ANFO), gas berbahaya akan dihasilkan apabila reaksi kimia yang terjadi tidak pada kondisi *zero oksigen balance*. Produk gas CO akan dihasilkan saat reaksi peledakan pada kondisi bahan bakar berlebih.

Sistem ventilasi yang baik diperlukan agar gas karbon monoksida dapat terdilusi sepanjang jalur terowongan bawah tanah dan gas segera dapat dikerluarkan dari sistem ventilasi bawah tanah. Rancangan sistem ventilasi yang baik serta mempertimbangkan laju difusi gas karbon monoksida digambarkan melalui koefisien difusinya. Koefisien difusi yang efektif diperlukan agar kondisi aman dapat tercapai pada front kerja.

Difusi gas adalah proses perpindahan gas dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Koefisien difusi gas secara sederhana dipahami sebagai penyebaran gas melewati suatu luasan tertentu tiap satuan waktu, dimana untuk difusi pada terowongan, koefisien ini akan dipengaruhi diantaranya oleh kondisi aliran, kecepatan aliran udara, dan gradien konsentrasi.

Koefisien difusi untuk aliran turbulen oleh Taylor (1954) diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$E_T = 10.1\, R\, u' \qquad (1)$$

$$u' = \frac{\sqrt{\tau}}{\sqrt{\rho}} = u\frac{\sqrt{f}}{\sqrt{8}} \qquad (2)$$

Untuk permukaan licin nilai *friction factor* dapat dicari menggunakan persamaan Blasius:

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}} \qquad (3)$$

Keterangan: E_T = koefisien difusi aliran turbulen (m^2/s); R=jari – jari pipa jalur udara (m); *u*=kecepatan rata - rata aliran udara (m/s); ρ=massa jenis (kg/m^3); τ = tegangan geser (Pa); *f*=faktor friksi; Re=bilangan Reynolds.

Dengan menggunakan prinsip pengujian Taylor (1954), konsentrasi mengikuti kaidah distribusi Gaussian menggunakan asumsi satu dimensi sesuai persamaan berikut.

$$C(x,t) = \frac{V}{2A\sqrt{\pi E t}} \exp\left(\frac{-(x-ut)^2}{4Et}\right) \qquad (4)$$

Keterangan: *C(x,t)*=konsentrasi tracer gas diposisi x dan waktu *t*; *V*=volume gas awal (ml); *A*=luas penampang pipa saluran (m^2); *E*= koefisien difusi (m^2/s); u=kecepatan rata - rata aliran udara (m/s).

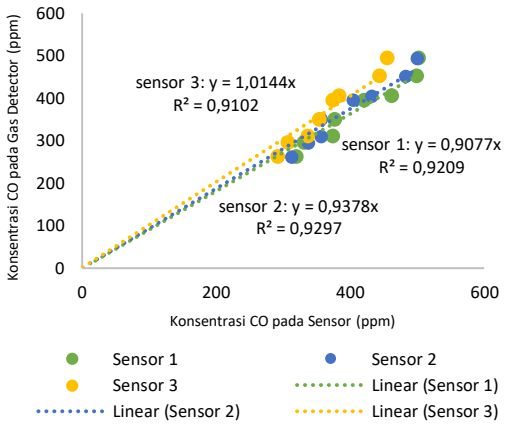
Penelitian ini diharapkan dapat memperkirakan nilai koefisien difusi gas karbon monoksida (CO) pada beberapa model ventilasi terowongan yang memiliki bentuk bukaan persegi dengan posisi horisontal.

METODE

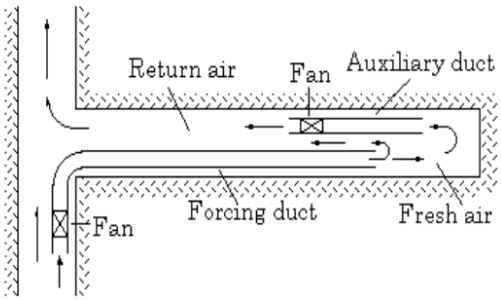
Sampel gas CO berasal dari pembakaran senyawa hidrokarbon yang kemudian ditampung ke dalam wadah kedap udara berukuran 1 liter. Selanjutnya kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang terukur terhadap bacaan *CO detector*. Agar mendapatkan data yang berbeda, dilakukan 4 kali pengujian dengan volume gas injeksi yang berbeda-beda. Hasil kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Model fisik di laboratorium merupakan gabungan dari sistem *exhausting* dan *forcing* (skematik mengacu pada Gambar 2). Sistem ini menggunakan 2 fan, ada fan yang bertugas menyuplai udara ke *front* (*intake fan*), ada fan yang bertugas untuk menghisap udara dari front (*exhausting fan*), dengan posisi *intake fan* dipasang lebih mundur (lebih jauh) dari *front* terowongan. Sedangkan *duct* akhir dari *exhaust fan* dipasang lebih dekat dengan *front* terowongan. Dalam percobaan ini jarak antara *front*

dengan *exhaust duct* = 0,5 kali jarak antara *front* dengan *forcing duct*.



Gambar 1. Grafik perbandingan konsentrasi gas pada sensor dan gas detector

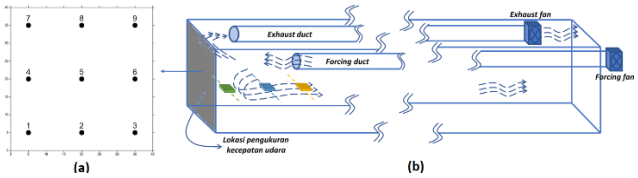


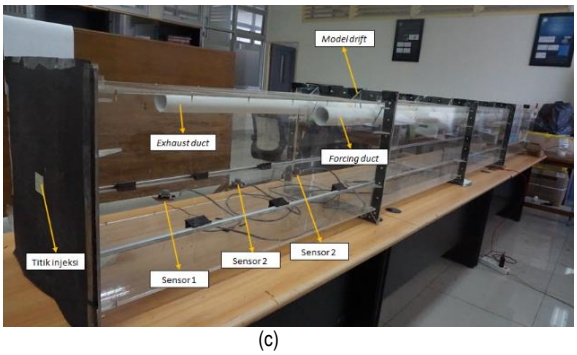
Gambar 2. Overlap system (McPherson, 1993)

Langkah awal pengujian adalah mengukur kecepatan udara yang ada di depan *face* menggunakan anemometer. Kemudian menginjeksikan sampel gas CO yang telah ditampung pada lubang injeksi di *face* model, selanjutnya konsentrasi akan terbaca pada sensor. Hasil dari pengukuran ini adalah nilai konsentrasi gas CO terhadap waktu. Sketsa pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Tinggi pipa udara (*y*) dari lantai model terowongan dibuat seragam, yaitu pada perbandingan dengan tinggi terowongan (*D*), *y/D*=0,93.

PENGOLAHAN DATA

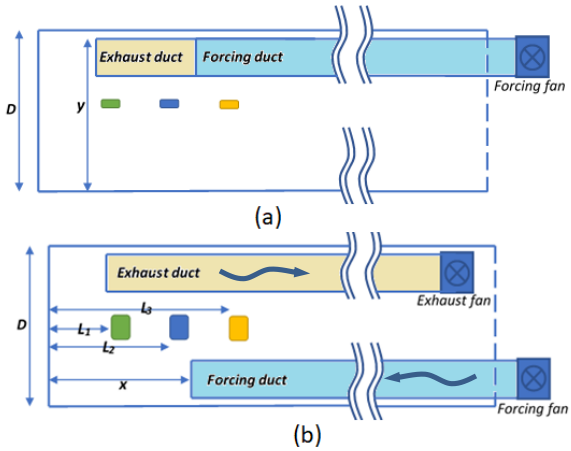
Semua data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik konsentrasi CO dalam ppm terhadap satuan waktu. Pengujian menggunakan 2 (dua) variasi parameter kondisi yaitu, jarak *duct ke face* (x) dan kecepatan fan. Dalam pengujian ini parameter standar yang digunakan seperti suhu ruangan 25°C dan relative humidity sebesar 80%. Pada Tabel 1 ditampilkan kombinasi parameter dan penamaan data yang digunakan dalam pengujian ini.





(c)

Gambar 3. (a) Sketsa pengambilan data kecepatan udara pada 9 titik pengamatan, (b) Sketsa lokasi pengukuran kecepatan udara (c) foto model terowongan skala laboratorium



Keterangan: Sensor 1 dengan jarak L_1 = 0,3 m (L_1/D = 0,75); Sensor 2 dengan jarak L_2 = 0,6 m (L_2/D = 1,5); Sensor 3 dengan jarak L_3 = 0,9 m (L_3/D = 2,25)

Gambar 4. (a) Sketsa tampak samping pengujian, (b) Sketsa tampak atas pengujian

Tabel 1. Kombinasi parameter dan penamaan data

Data	Parameter		
	kecepatan *fan* (m/s)	jarak *forcing duct* (m)	jarak *exhaust duct* (m)
A1.1 A1.2	1,65	0,64 (*x/D*=1,6)	0,32 (*e/D*=0,8)
A2.1 A2.2	1,42		
B1.1 B1.2	1,65	0,80 (*x/D*=2,0)	0,40 (*e/D*=1,0)
B2.1 B2.2	1,42		
C1.1 C1.2	1,65	0,96 (*x/D*=2,4)	0,48 (*e/D*=1,2)
C2.1 C2.2	1,42		

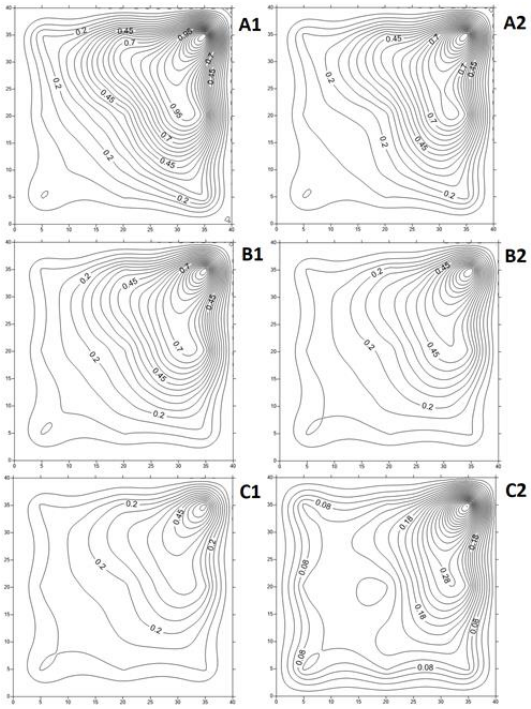
Penentuan jenis aliran udara diperoleh berdasarkan nilai bilangan Reynolds yang dihitung menggunakan persamaan

$$Re=\rho VD/\mu \qquad (5)$$

Keterangan:

ρ= bobot isi udara (kg/m^3); V= kecepatan aliran (m/s); D= diameter (m); μ=viskositas dinamik (Ns/m^2)

Pengukuran kecepatan udara menggunakan metode fixed point (9 titik pengamatan). yang diukur tepat di depan *face* (hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 5). Sedangkan dalam Tabel 2 merupakan hasil rekapitulasi perhitungan bilangan Reynolds dari masing-masing kondisi pengujian.



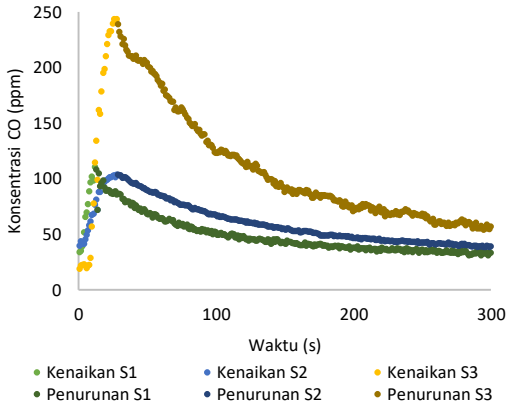
Gambar 5. Profil kecepatan udara *intake* yang diukur pada permuka kerja

Tabel 2. Perhitungan bilangan Reynolds

Data	Kecepatan udara (m/s)	Diameter bukaan (m)	Re
A1	0,44	0,40	11.604,4
A2	0,36	0,40	9.494,5
B1	0,32	0,40	8.439,6
B2	0,25	0,40	6.593,4
C1	0,21	0,40	5.538,5
C2	0,16	0,40	4.219,8

Dari rekapitulasi perhitungan bilangan Reynolds didapatkan jenis aliran dalam pengujian ini adalah turbulen. Hal ini sesuai dengan kondisi pada terowongan sebenarnya di lapangan, sehingga pengujian di laboratorium telah mewakili sifat aliran pada kondisi nyata.

Selanjutnya analisis dan gambaran persebaran gas CO dari hasil pengujian dilakukan dengan melakukan plot grafik perbandingan konsentrasi terhadap waktu, berdasarkan kombinasi parameter kondisi yang telah dibuat. Gambar 6 merupakan salah satu hasil plot konsentrasi terhadap waktu yang dihitung dari saat injeksi gas CO pada permuka kerja pada kondisi pengujian A1 pengambilan data kedua (A1.2).



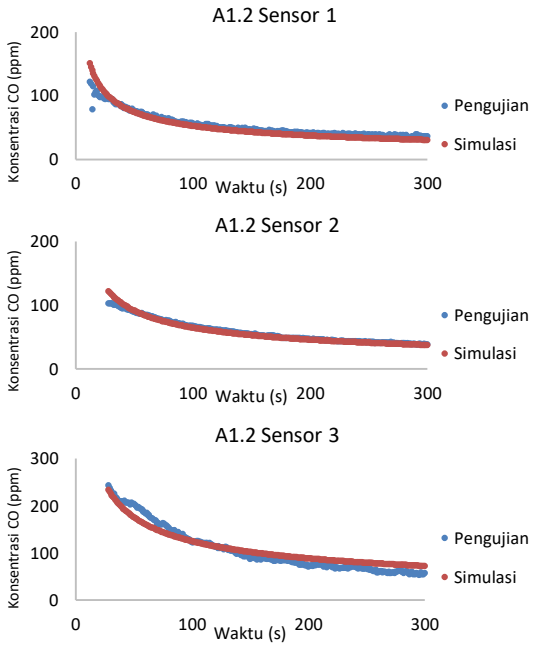
Gambar 6. Grafik hasil pengujian persebaran gas CO data A1.2

Berdasarkan dari grafik pada Gambar 6, persebaran gas CO menunjukkan kenaikan konsentrasi gas CO di awal waktu saat fan mulai dinyalakan yang terbaca pada semua sensor kemudian mulai mengalami penurunan yang merupakan proses pendilusian. Pengukuran konsentrasi gas CO pada sensor 3 lebih tinggi dibandingkan pengukuran konsentrasi gas CO pada sensor 2, sedangkan pengukuran konsentrasi gas CO pada sensor 1 merupakan yang terkecil. Hal ini dikarenakan jarak sensor 3 yang lebih jauh dari *face* sehingga konsentrasi gas CO yang terbaca oleh sensor akan semakin tinggi karena merupakan kumpulan dari gas hasil pengenceran di permuka kerja. Sensor 1 dan 2 lebih kecil karena adanya turbulensi aliran udara yang besar di dekat permuka kerja, sehingga konsentrasi gas cenderung lebih kecil dibandingkan sensor 3.

Dari grafik hasil pengujian persebaran gas CO, kita dapat menentukan nilai koefisien difusi secara empiris berdasarkan persamaan koefisien difusi Taylor (1954) menggunakan persamaan (4) dengan metode *matching curve* (*trial and error* pada *Solver* di dalam Microsoft Excel).

Grafik pada Gambar 7 merupakan salah satu analisis yang menunjukkan perbandingan antara nilai konsentrasi CO simulasi dan konsentrasi CO pengujian

sehingga didapatkan nilai koefisien difusi gas CO secara empiris dari data A1.2. Tabel 3 merupakan rekapitulasi nilai koefisien difusi dari masing-masing data pengujian.



Gambar 7. Grafik perbandingan hasil simulasi dan hasil pengujian masing-masing sensor data A1.2

Tabel 3. Rekapitulasi koefisien difusi masing-masing data pengujian

Data	Kecepatan udara (m/s)	*E* (m²/s) Sensor 1 L_1 = 0.3 m (L_1/D= 0,75)	Sensor 2 L_2 = 0.6 m (L_2/D= 1,5)	Sensor 3 L_3 = 0.9 m (L_3/D= 2,25)	Rata-rata	
A1.1	0,44	1,798	1,335	0,400	1,178	0,938
A1.2		1,242	0,674	0,180	0,698	
A2.1	0,36	0,912	0,447	0,123	0,494	0,627
A2.2		1,301	0,750	0,227	0,759	
B1.1	0,32	1,266	0,693	0,146	0,702	0,731
B1.2		1,438	0,712	0,128	0,759	
B2.1	0,25	1,265	0,743	0,127	0,712	0,587
B2.2		1,054	0,248	0,084	0,462	
C1.1	0,21	1,053	0,545	0,081	0,560	0,757
C1.2		1,749	0,952	0,163	0,955	
C2.1	0,16	1,152	0,669	0,090	0,637	0,661
C2.2		1,227	0,720	0,105	0,684	

Berdasarkan Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa nilai koefisien difusi gas CO pada sensor 1 memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan nilai koefisien difusi pada sensor 2 dan sensor 3 untuk setiap data pengujian. Hal ini menunjukkan semakin dekat titik pengukuran dengan permuka kerja, maka nilai koefisien difusi akan semakin besar. Sebaliknya, jika semakin jauh titik pengukuran maka koefisien difusi akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi turbulensi yang besar pada permuka kerja dibandingkan dengan daerah yang menjauhi permuka kerja. Turbulensi tersebut diakibatkan oleh pembelokan arah aliran udara dari pipa udara membentur permuka kerja dan akan berbalik keluar terowongan menjauhi permuka kerja.

Tabel 4 merupakan perbandingan nilai *E* analitik yang dihitung menggunakan persamaan Taylor (1954) dengan nilai *E* pengujian. Terlihat bahwa terjadi perbedaan yang besar (13 sampai 29 kali), yang dianalisis terjadi karena adanya turbulensi pada permuka kerja saat pembelokan aliran udara yang keluar dari pipa udara membentur permuka kerja terowongan. Perlu diperhatikan bahwa perhitungan estimasi *E* menggunakan persamaan Taylor (1954) didasarkan percobaan pada kondisi saat jalur lurus dan profil kecepatan udara telah terbentuk sempurna (*fully developed velocity profile*).

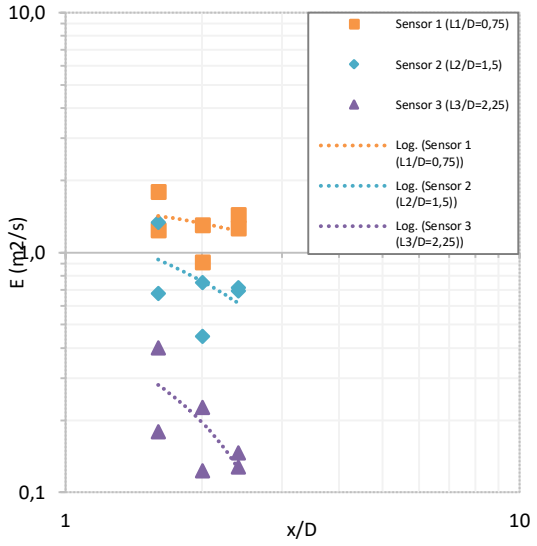
Tabel 4. Perbandingan nilai *E* pengujian (E_X) dan nilai *E* analitik (E_A) (Taylor, 1954)

Parameter	A1	A2	B1	B2	C1	C2
E_A (m²/s)	0,055	0,046	0,041	0,033	0,029	0,023
E_X (m²/s)	0,938	0,627	0,731	0,587	0,757	0,661
E_X/E_A	17,11	13,62	17,61	17,55	26,37	29,20

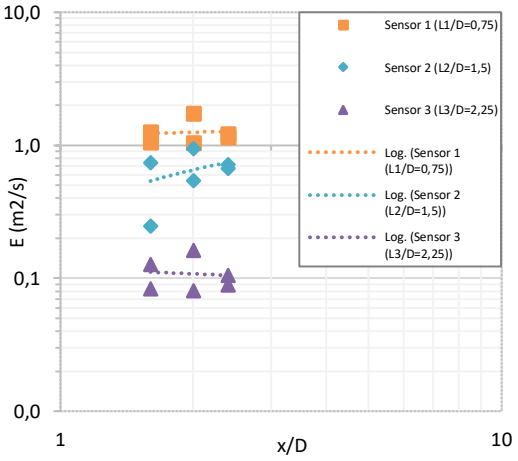
Pengaruh Jarak Duct ke Face (x/D) terhadap Koefisien Difusi (E)

Pada pengujian ini terdapat 3 variasi kondisi dari jarak *duct ke face* (x) dinyatakan dalam kode pengujian A, B dan C. Dengan dua variasi kecepatan *forcing fan* yang dinyatakan dalam kode kedua, yaitu 1 (untuk kecepatan fan 1,65 m/s) atau 2 (untuk kecepatan fan 1,42 m/s). Hasil pengujian diyatakan dalam Gambar 8 dan 9.

Dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9, bahwa nilai koefisien difusi cenderung bervariasi untuk masing-masing sensor terhadap nilai jarak pipa forcing (x). Terdapat 2 kurva yang mengalami kenaikan yaitu sensor 1 dan sensor 2 pada kecepatan *forcing duct* = 1,42 m/s, sedangkan kondisi lainnya mengalami penurunan. Dengan demikian belum bisa dikatakan bahwa nilai x mempengaruhi nilai koefisien difusi untuk pengujian ini.



Gambar 8. Grafik pengaruh jarak *forcing duct* terhadap nilai koefisien difusi dengan kecepatan fan 1,65 m/s

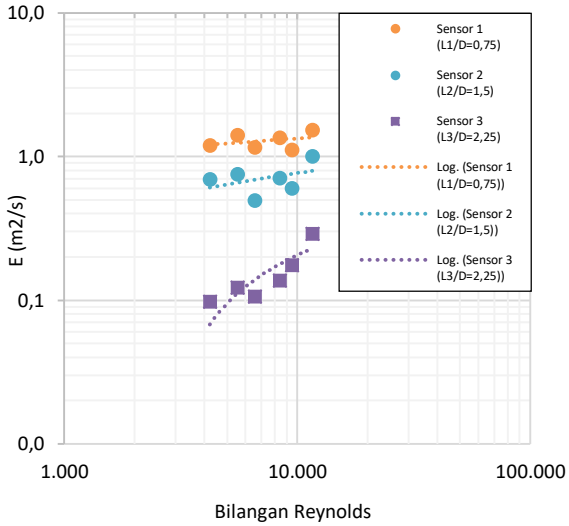


Gambar 9. Grafik pengaruh jarak *forcing duct* terhadap nilai koefisien difusi dengan kecepatan fan 1,42 m/s

Pengaruh Bilangan Reynolds (Re) terhadap Koefisien Difusi (E)

Pengukuran nilai bilangan Reynolds (Re) yang digunakan berdasarkan kecepatan rata-rata yang dihitung menggunakan anemometer pada depan *face* dengan menggunakan metode *fixed point* (9 titik). Plot antara *E* dan *Re* dapat dilihat pada Gambar 10.

Dapat dilihat pada Gambar 10, bahwa nilai koefisien difusi mempunyai kecenderungan naik berdasarkan kenaikan *Re* (sesuai dengan kenaikan kecepatan udara *intake*) untuk masing-masing nomor sensor. Semakin besar nilai *Re* maka semakin besar pula nilai *E*. Sehingga dapat dikatakan bahwa kenaikan nilai bilangan Reynolds (*Re*) dapat mempengaruhi nilai koefisien difusi (*E*) untuk pengujian ini.



Gambar 10. Grafik pengaruh nilai bilangan Reynolds (*Re*) terhadap nilai koefisien difusi (*E*)

DISKUSI

Berdasarkan hasil penelitian dapat dianalisis bahwa:

- Hasil pengujian dari persebaran gas CO awal menunjukkan pengukuran konsentrasi gas yang paling tinggi pada jarak sensor (L_3/D) yang jauh dari *face*. Hal ini menunjukkan gas CO pada *front* akan terakumulasi pada jarak tertentu dari *front*, dalam penelitian ini berada pada jarak sekitar 2,25 kali diameter terowongan.

- Terdapat korelasi antara nilai koefisien difusi dengan jarak pengukuran (*L/D*). Semakin dekat titik pengukuran (L_1/D) maka nilai koefisien difusi akan semakin besar. Sebaliknya, jika semakin jauh titik pengukuran (L_3/D) maka nilai koefisien difusi akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan adanya efektivitas pengenceran pada area dekat *front* kerja untuk sistem ventilasi yang diterapkan (kombinasi *forcing* dan *exhaust* dengan jarak *forcing duct* antara 1,6 sampai dengan 2,4 kali diameter terowongan, dan dengan jarak *exhausting duct* 0,5 kali jarak *forcing duct* terhadap *front* kerja). Namun demikian harus hati-hati dan diperhatikan kondisi pada sensor 3, yaitu pada jarak 2,25 kali diameter terowongan (area diantara *forcing duct* dengan *exhaust duct*), karena koefisien difusi pada daerah tersebut cukup rendah dibandingkan daerah sensor 1 (yaitu 4,5 hingga 13 kali lebih kecil dibandingkan dengan koefisien difusi pada sensor 1) yang menandakan kondisi pengenceran yang kurang cepat pada area sensor 3 dibandingkan dengan area sensor 1 dan 2.

- Nilai koefisien difusi mempunyai tren naik untuk masing-masing nomor sensor terhadap nilai bilangan Reynolds. Sehingga dapat dikatakan bahwa kenaikan nilai bilangan Reynolds (*Re*') mempengaruhi nilai koefisien difusi (*E*) untuk pengujian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Program Studi Teknik Pertambangan dan Kelompok Keahlian Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, melalui Program Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Inovasi ITB (P3MI-ITB) yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Hartman, H.L., Mutmansky, J., Ramani, R., Wang, Y.J. 1997. *Mine Ventilation and Air Conditioning*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

McPherson, M.J. 1993. *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. London: Chapman & Hall

Purawijaya, J.A. 2017. *Analisis Dilusi Gas Karbon Monoksida di Developing Front pada Raise Vertical-Inclined Jalur Lurus Skala Laboratorium*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Perterowonganan Institut Teknologi Bandung.

Prockop, L. D., & Chichkova, R. I. (2007). Carbon monoxide intoxication: an updated review. *Journal of the neurological sciences, 262*(1-2), 122-130.

Saragih, Rogate. 2009. *Penentuan Nilai Koefisien Difusi Gas Karbon Monoksida (CO) pada Simulasi Kebakaran Terowongan di Laboratorium*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Stewart, C.M. 2014. *Practical Prediction of Blast Fume Clearance and Workplace Re-Entry Times in development Headings*. South Africa: The Mine Ventilation Society of South Africa.10th International Mine Ventilation Congress 2014.

Strang, J., Wood, P.M. 1985. *A Manual on Mines Rescue, Safety and Gas Detection*. Australia: Weston & Co.

Sulistianto, Budi. 2015. *Diktat Kuliah Sistem Penambangan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Widodo, N.P., K Sasaki, R.S. Gautama & Risono. 2008. *Mine Ventilation Measurement with Tracer Gas method and Evaluations of Turbulent Diffusion Coefficient*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment.