

APLIKASI PENDETEKSI GAS METANA MENGUNAKAN TEKNOLOGI SINAR INFRA MERAH PADA TAMBANG BATUBARA BAWAH TANAH

Applications of Methane Detector Using Infrared Technology at Underground Coal Mine

HASNIATI ASTIKA dan ZULFAHMI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: hasniati@tekmira.esdm.go.id

SARI

Alat pendeteksi gas inframerah (IM) memiliki beberapa kelebihan dibanding teknologi pendeteksi gas lain yang biasa digunakan dalam mendeteksi gas metana pada tambang batubara bawah tanah. Kelebihan utama dari teknologi IM ini adalah pendeteksi tidak secara langsung berinteraksi dengan gas, memiliki masa pakai yang lebih lama, tidak korosif dan tidak reaktif terhadap gas-gas lain yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran sehingga lebih akurat serta lebih mudah dalam perawatannya dan lebih stabil. Alat pendeteksi gas metana yang dirancang dalam penelitian ini terdiri atas beberapa komponen yaitu sensor inframerah sebagai komponen utama, *microcontroller* sebagai alat penangkap, perekam dan pengolah sinyal yang dikirim dari sensor serta alat penyimpan data. Sensor ini dapat menangkap akumulasi gas metana yang ada di sekitarnya dan mengirimkan sinyal ke *microcontroller*. Hasil pengukuran gas tersebut kemudian ditangkap, direkam dan diolah di *microcontroller*. Data hasil pengolahan dikirimkan ke *Multi Media/Secure Digital Card* (MMC/SD card) yang dapat tersimpan secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran gas oleh pendeteksi gas metana inframerah dan alat pendeteksi multigas. Pengukuran di laboratorium terhadap gas standar menunjukkan perbedaan nilai pengukuran sebesar 0,02% - 0,03%, pada pengukuran yang dilakukan secara langsung di tambang batubara bawah tanah nilai pengukuran menunjukkan perbedaan sebesar 0,04% - 0,09% (lokasi Sawahluwung), 0% - 1.09% (lokasi Loa Ulung) dan 0.03% (lokasi tambang yang disegel). Secara umum alat pendeteksi gas metana yang dirancang pada penelitian ini dapat digunakan pada tambang batubara bawah tanah.

Kata kunci: sensor inframerah, gas metana, tambang bawah tanah, alat pendeteksi gas

ABSTRACT

Infrared (IR) gas detector has several advantages compared to other gas detection technologies those are usually used for detecting methane gas at underground coal mine. The main advantage of IR technology is that the detector does not directly interact with the gas, having longer lifetime than the chemical detection, not corrosive nor react with other gasses which could affect the measurement result; therefore IR gas detection is more accurate, easier to be maintenance and more stable. Methane gas detector which has been designed in this study consists of several components that are infrared sensors as the main component, microcontroller and data storage devices. This sensor captures methane gas and sends the signal to the microcontroller. The results of captured gas are then recorded and processed in the microcontroller. Data resulted from microcontroller are sent to the MMC/SD card (Multi Media/Secure Digital Card) that can be stored automatically. The tests were done by comparing between the measurements using IR methane gas detector and a Multigas Detector. The measurements in the laboratory towards the standard gas showed slightly differences in the measurement values of 0.02% -0.03%. The applied measurements underground coal mines showed that the measure-

ment values differences of 0.04% - 0.09% (in Sawahluwung), 0% - 1.09% (in Loa Ulung) and 0.03% (in sealed location). In general, IR methane gas detector designed in this research can be used at some underground coal mines.

Keywords: infrared sensor, methane gas, underground mine, gas detector

PENDAHULUAN

Gas metana merupakan gas yang mudah meledak pada konsentrasi lebih dari 5% di udara apabila terkena percikan api. Pada tambang batubara bawah tanah akumulasi gas metana berasal dari lapisan batubara dan batuan di sekelilingnya yang terbebaskan pada saat kegiatan pembukaan lubang bukaan tambang. Terjadinya ledakan tambang akibat akumulasi gas metana merupakan salah satu penyebab kecelakaan kerja tambang yang dapat menelan korban jiwa cukup besar (McPherson, 1993). Pengawasan terhadap keberadaan gas tersebut menjadi suatu keharusan dalam penerapan kegiatan penambangan yang baik dan benar (*good mining practice*), diantaranya adalah setiap kegiatan penambangan harus mengutamakan keselamatan dan kesehatan kerja tambang.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (*tekMIRA*) telah melakukan beberapa kegiatan pengembangan dan perakayaan alat keselamatan kerja tambang bawah tanah sejak 2007, antara lain pengembangan peralatan monitoring pergerakan batuan dan keruntuhan atap terowongan, kondisi udara tambang dan kondisi gas. Sebagai upaya untuk menyiapkan perangkat pendeteksi bahaya gas metana pada tambang batubara bawah tanah kemudian dikembangkan peralatan monitoring yang efektif, efisien serta aman dalam penggunaannya. Salah satunya adalah membuat alat pendeteksi gas metana menggunakan sinar inframerah.

Teknologi pemantauan sinar inframerah pada awalnya dikembangkan dalam dunia militer pada kamera pengintai yang digunakan malam hari. Selanjutnya teknologi pemantauan sinar inframerah berkembang antara lain dalam peralatan pengukuran suhu, alat pengukur jarak, pitometer, pendeteksi gas, dan pendeteksi api.

Pendeteksian gas metana pada tambang batubara bawah tanah umumnya menggunakan *catalytic heat of combustion* (panas pembakaran katalitis) yang memanfaatkan sistem reaksi pembakaran sebagai bahan pendeteksi, sensor akan meningkat panasnya bila terjadi interaksi dengan gas metana (Taylor dkk., 2008). Saat ini berkembang teknologi

sinar inframerah (*infrared*) untuk mendeteksi akumulasi gas di suatu tempat (Taylor dkk., 2008). Sensor inframerah memiliki beberapa kelebihan dibanding sensor lain yang biasa digunakan untuk mendeteksi gas metana, antara lain memiliki masa pakai yang lebih lama, bebas racun, tidak memerlukan kalibrasi yang terlalu sering sehingga lebih mudah dalam perawatannya, tidak terpengaruh oleh keberadaan gas-gas lain yang akan mempengaruhi hasil pengukuran bila menggunakan sensor katalitis sehingga lebih akurat (Taylor dkk., 2008). Sensor katalitis memiliki masa pakai yang lebih pendek, dan memerlukan kalibrasi berkala; apabila telah lama digunakan keakuratannya akan berkurang. Selain itu sensor gas inframerah berreaksi dengan cepat pada saat melakukan pendeteksian karena tidak perlu menunggu terjadinya reaksi kimia, lebih akurat dan linier dalam pembacaan (Li dan Yin, 2010).

Pada umumnya alat pendeteksi gas bersifat korosif dan reaktif, sedangkan sensor inframerah tidak reaktif sehingga aman untuk keselamatan kerja. Molekul gas hanya berinteraksi dengan cahaya yang dipancarkan oleh sensor inframerah sehingga tidak ada kontak langsung antara sensor dengan udara yang akan diukur karena hanya sinar inframerahnya saja yang melakukan kontak langsung dengan udara; sumber inframerah (*infrared source*) terlindungi optik sehingga sensor lebih tahan lama dan lebih stabil (International Sensor Technology, 2010a). Penggunaan sinar inframerah dalam tambang batubara bawah tanah antara lain dalam sensor jarak (*distance sensor*).

Beberapa pabrikan alat ukur gas mulai memakai teknologi inframerah untuk pengukuran gas-gas hidrokarbon terutama gas metana dan karbondioksida. Harga dari alat deteksi gas saat ini di pasaran sangat mahal. Sebagai contoh adalah IR multigas detector buatan Honeywell yang harganya mencapai 900 euro atau sekitar 11.000.000 rupiah dan harga tersebut dapat mencapai dua kali lipat di pasaran Indonesia. Sedangkan komponen yang digunakan dalam perancangan alat pendeteksi gas ini menggunakan peralatan dan bahan yang mudah didapatkan di Indonesia dengan harga yang relatif murah, hanya sensor gas inframerahnya saja yang masih harus diperoleh dari luar.

METODE PENELITIAN

Perangkaian Alat

Metode penelitian yang diterapkan adalah merencanakan alat pendeteksi gas metana menggunakan sensor inframerah keluaran Dynament, Ltd. Sensor ini dikombinasikan dengan rangkaian sistem *microcontroller* berbasis ATmega 16 yang dilengkapi dengan modul MMC/SD card (*Multi Media Card/ Secure Digital card*) sebagai penyimpan data. Alat yang dirancang ini merupakan alat deteksi gas *portable*. Sensor inframerah merupakan komponen utama sebagai *transducer* yang memberikan sinyal elektronik sesuai dengan kondisi gas. Sensor inframerah yang digunakan pada kegiatan ini merupakan sensor yang telah memiliki paten dan juga bersertifikat dari ATEX dan IECEx untuk dapat digunakan pada area berbahaya dengan kemampuan deteksi 0 – 5% volume CH₄ (Gambar 1).



Sumber :<http://www.dynament.com>

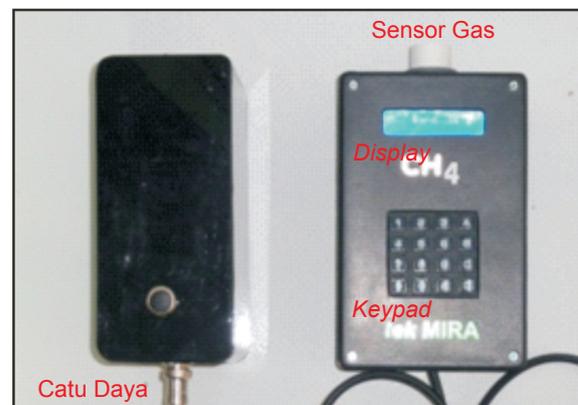
Gambar 1. Sensor inframerah keluaran Dynament Ltd.

Sensor inframerah memberikan sinyal hasil pengukuran kondisi gas. Sinyal tersebut dicacah oleh *microcontroller*, dan sebagai keluaran dari data yang telah dicacah oleh *microcontroller*, data dikirim ke modul MMC/SD card dan tersimpan dalam *memory card*. Ketika alat dalam posisi merekam (*on*) data secara otomatis tersimpan dalam *memory card*; perekaman tersebut terjadi dalam setiap jangka waktu tertentu (setiap 3 detik).

Catu daya (*power supply*) menggunakan baterai kering dengan kapasitas tegangan sebesar 12 volt. Untuk *microcontroller* dan modul MMC/SD card sebetulnya hanya membutuhkan tegangan sebesar 5 volt, namun agar proses pengukuran tetap stabil

digunakan tegangan 12 volt dan tegangan ini diatur untuk masing-masing *board*.

Untuk membuat semua komponen terlindungi, dibuat kotak dari bahan plastik sebagai *casing* (Gambar 2); semua komponen ditempatkan dalam satu kotak. Kotak tersebut dilengkapi dengan *display* dan *keypad* sebagai sarana untuk melihat hasil pengukuran, melakukan penyetelan dan memberikan perintah pada saat pengukuran. Tampilan yang terlihat dalam *display* antara lain waktu, kode lokasi dan nilai hasil pengukuran. Sedangkan *keypad* digunakan untuk memberikan kode lokasi dan memberikan perintah memulai dan menghentikan pengukuran.



Gambar 2. Alat pendeteksi gas metana inframerah (IM) hasil rancang bangun

Ujicoba Alat

Alat pendeteksi gas hasil rancang bangun kemudian diujicobakan. Ujicoba dilakukan di laboratorium peralatan penambangan dan di lokasi tambang batubara bawah tanah. Pada ujicoba di laboratorium, alat pendeteksi gas diuji menggunakan gas standar dengan membandingkan hasil pengukuran antara alat hasil rancang bangun dengan alat pendeteksi gas buatan pabrikan. Ujicoba lapangan dilakukan dengan pemantauan langsung kondisi gas di beberapa lokasi tambang batubara bawah tanah.

Ujicoba laboratorium merupakan tahapan pertama dalam rangka ujicoba alat dengan melakukan pengujian bekerja tidaknya alat pada kondisi normal. Selanjutnya dilakukan uji kinerja berupa kemampuan sistem perangkat keras (*hardware*) dan

perangkat lunak (*software*) untuk merespon adanya gas metana sesuai batas kemampuan pendeteksian dari sensor.

Pengujian kemampuan alat dilakukan sesuai dengan standar yang dibutuhkan di lapangan. Kondisi tambang bawah tanah terbatas oleh ruang yang sempit, aksesibilitas yang terbatas dan tingkat kelembaban yang tinggi, sehingga alat rentan terhadap kerusakan. Oleh karena itu pengujian yang dilakukan di laboratorium disesuaikan dengan kondisi mirip di lapangan. Selanjutnya pengujian ketahanan untuk melihat kemampuan instrumen bekerja secara kontinyu. Terakhir pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi pengukuran, dengan melakukan ujicoba terhadap gas standar.

Jumlah udara yang bergerak keluar dan masuk sensor gas dipengaruhi oleh kecepatan udara sekitar dan orientasi sensor relatif terhadap aliran udara. Gas standar dialirkan pada suatu kotak yang tertutup, dengan kecepatan aliran sebesar 500cc/menit. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat pendeteksi gas metana inframerah hasil rancang bangun dan juga alat *multigas detector*. Setelah itu juga dilakukan pengujian terhadap ketahanan (*endurance*) alat pendeteksi gas metana hasil rancang bangun. Alat pendeteksi gas hasil rancangan melakukan perekaman data selama kurang lebih 45 jam, sampai baterai sudah tak dapat lagi menahan daya dari ketiga *board* pada komponen alat tersebut.

Dalam kegiatan ujicoba di lapangan untuk mendapatkan nilai yang akurat dalam pengukuran gas metana pada tambang bawah tanah harus dilakukan pada lokasi berikut ini (Kissell, 2006):

- dekat dengan sumber gas untuk mendapatkan konsentrasi tertinggi pada suatu area;
- dekat dengan atap tambang karena berat jenis gas metana yang lebih kecil daripada berat jenis udara maka biasanya konsentrasi gas metana akan terkumpul di atap tambang;
- pada lokasi dengan ventilasi yang buruk dan kurang memadai, sehingga gas metana akan terkonsentrasi dan tidak tercairkan oleh ventilasi tambang;
- di muka tambang (*face*) pada saat kegiatan pembongkaran sedang berlangsung, gas metana akan terbebaskan dari batubara yang ditambang atau dari batuan yang hancur dan pada lokasi terdapatnya mesin-mesin dalam kegiatan penambangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil ujicoba di laboratorium maupun lapangan menunjukkan kinerja alat yang dapat mengukur konsentrasi gas metana pada beberapa lokasi pengukuran dengan akurat. Keakuratan alat ukur gas tersebut antara lain dapat dilihat dari hasil ujicoba pada pendeteksi gas standar dan juga dengan membandingkan hasil pengukuran dengan alat buatan pabrik.

Tidak ada standar khusus yang digunakan untuk mengetahui akurasi dari alat pendeteksi gas. Standar yang biasanya digunakan merupakan standar yang ditetapkan oleh beberapa produsen peralatan. Untuk memperoleh metode pengujian yang tepat adalah dengan membandingkan hasil pengukuran alat dengan standar yang dapat diterima ketika pengujian. Selama pengujian dilakukan dalam presisi yang tinggi, maka akurasi dari pengujian dapat diterima (International Sensor Technology, 2010b).

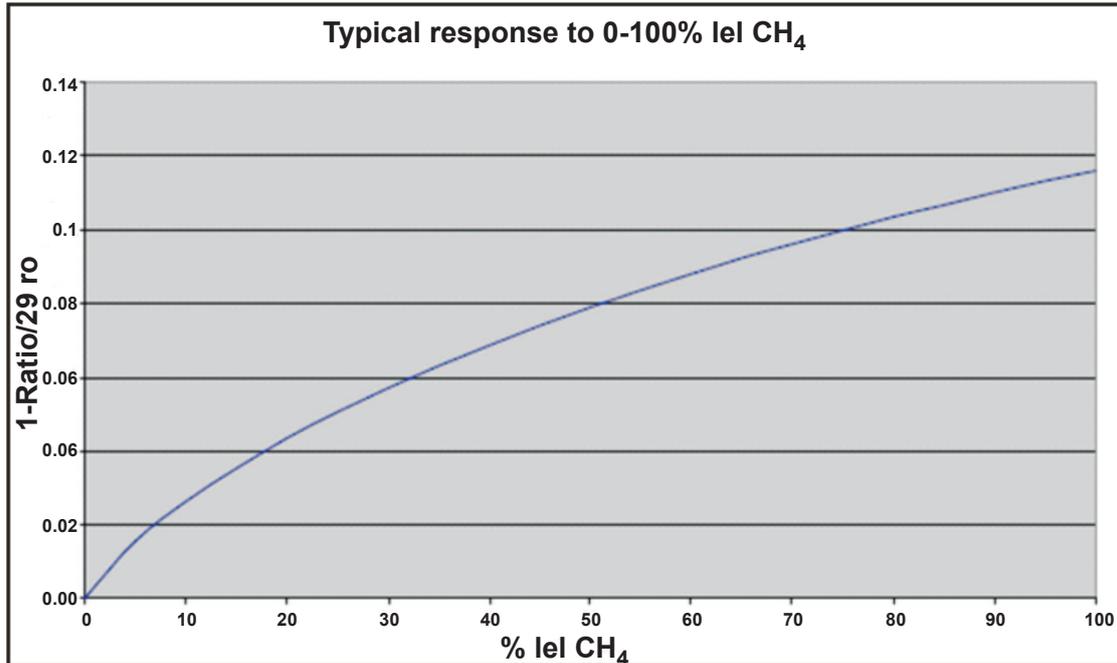
Pengujian alat pendeteksi gas metana dimulai dari uji kehandalan, kemampuan, ketahanan (*endurance*) dan keakuratan (presisi). Terdapat dua tahap pengujian yang telah dilakukan untuk membuktikan layak tidaknya alat ini digunakan pada aplikasi yang lebih maju. Tahapan pertama dilakukan di laboratorium instrumentasi peralatan penambangan, sedangkan tahapan kedua dilakukan ujicoba alat pendeteksi gas langsung pada lokasi tambang batubara bawah tanah.

Sensor inframerah yang digunakan pada penelitian ini telah diuji oleh pabrik pembuat sensor. Pengujian dimaksudkan untuk mendapatkan respon tipikal dari sensor dalam melakukan pengukuran gas secara terus menerus. Gambar 3 menunjukkan grafik hasil pengujian sensor pada 0 sampai dengan 100 persen *low explosive limit* (lel) gas metana (0-5% volume gas metana di udara).

Hasil dari pengujian menunjukkan grafik yang cenderung linier sebagai gambaran kelayakan, reaksi, instalasi dan pembuatan komponen dari sensor yang baik dan sesuai (Li dan Yin, 2010).

Ujicoba Laboratorium

Pengujian alat pendeteksi gas metana inframerah ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat rancang bangun dengan alat *multigas*

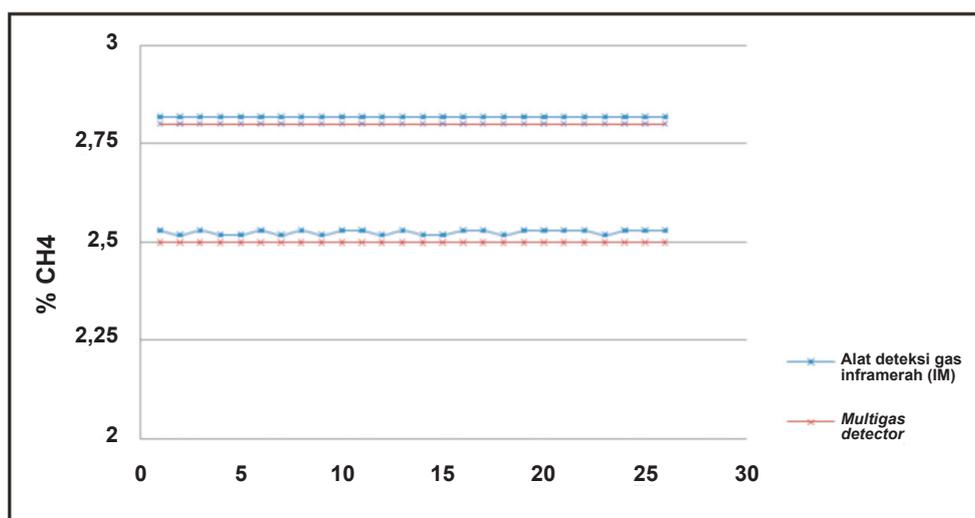


Sumber: www.dynamment.com

Gambar 3. Grafik respon tipikal sensor gas metana pada 0 – 100% lel CH₄

detector buatan pabrikan. Yang perlu diperhatikan agar alat dapat bekerja baik dan dapat digunakan untuk melakukan pengukuran gas di lapangan adalah tidak adanya kesalahan (*error*) pada rangkaian alat, ketepatan dalam pengukuran, ketelitian dan meminimalisir kesalahan pada saat pengukuran, dengan demikian pengukuran dapat dilaksanakan dengan tepat.

Hasil pembacaan konsentrasi gas oleh alat pendeteksi gas inframerah hasil rancang bangun relatif stabil. Konsentrasi gas metana hasil pengukuran antara kedua macam alat menunjukkan nilai yang hampir sama dengan perbedaan sebesar 0,02% sampai dengan 0,03% volume (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik perbandingan hasil pengukuran alat pendeteksi gas inframerah hasil rancang bangun dengan alat *multigas detector*

Pada pengujian di laboratorium terdapat beberapa gangguan pada alat pendeteksi gas inframerah seperti terputusnya perekaman data karena terjadi gangguan komunikasi antara *microcontroller* dengan MMC/SD Ram board, akibat kurangnya arus untuk menyuplai SD-card. Namun setelah dianalisis ternyata gangguan tersebut karena permasalahan pada proses penyambungan kabel dengan board; setelah dilakukan perbaikan, alat dapat bekerja dengan baik.

Pada uji ketahanan (*endurance*) selama 45 jam yakni sampai baterai sudah tidak dapat menahan daya dari komponen, alat pendeteksi gas terbukti dapat melakukan perekaman data dengan hasil yang stabil dan tidak terjadi penurunan kemampuan.

Ujicoba dan Aplikasi di Lapangan

Penggunaan alat pendeteksi gas metana inframerah telah diujicobakan pada dua lokasi tambang batubara bawah tanah, yaitu di tambang batubara bawah tanah Sawahluwung, Sumatera Barat dan di tambang batubara Loa Ulung, Kalimantan Timur.

Pada tambang batubara bawah tanah Sawahluwung proses pengukuran dilakukan mulai dari mulut tambang sampai ke muka tambang pada 12 titik pemantauan (Gambar 5). Proses pencacahan data diatur setiap 3 detik sehingga interval pengambilan data tersebut dapat secara cepat mengantisipasi

kemungkinan adanya akumulasi gas yang tinggi, sehingga hasil pengukuran yang digunakan adalah nilai tertinggi yang didapat pada setiap titik pengukuran. Hasil pemantauan berupa data hasil pengukuran konsentrasi gas di udara dalam satuan persen volume. Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Sebagai pembanding pengukuran juga dilakukan dengan menggunakan *multigas detector*. Dari hasil pengukuran dengan menggunakan kedua alat tersebut terdapat perbedaan sebesar 0,03% sampai dengan 0,09% volume. Pada pengujian lapangan ini juga dilakukan pengukuran di daerah yang telah disegel. Konsentrasi gas metana pada titik pemantauan tersebut sebesar 1,33%.

Ujicoba lapangan kedua dilaksanakan di tambang batubara bawah tanah Loa Ulung pada 14 titik pemantauan lokasi tambang lapisan A (Gambar 6). Titik-titik pemantauan yang dipilih adalah area kemungkinan terdapatnya akumulasi gas antara lain pada area dam dan ujung terowongan yang telah disegel (*sealing*). Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada kegiatan ujicoba ini alat pendeteksi gas yang digunakan sebagai pembanding adalah *multigas detector* buatan pabrikan yang biasa digunakan di lokasi tambang. Dari hasil ujicoba pengukuran gas metana dengan kedua macam alat, terdapat

Tabel 1. Konsentrasi gas pada beberapa titik pemantauan tambang batubara bawah tanah Sawahluwung

Titik pemantauan	Lokasi	Alat pendeteksi gas inframerah	<i>Multigas detector</i>	Perbedaan pengukuran gas metana % vol
		CH ₄ % vol	CH ₄ % vol	
1	Dekat mulut tambang (inlet)	0,04	0	0,04
2	Stasiun 2 (ST 2)	0,07	0	0,07
3	Junction 3 (J3)	0,08	0	0,08
4	Stasiun 3 (ST 3)	0,09	0	0,09
5	Junction 2 (J2)	0,08	0	0,08
6	Antara Junction 5&6 (J5&J6)	0,09	0	0,09
7	Antara Junction 6&8 (J6&J8)	0,09	0	0,09
8	Stasiun5 (ST 5)	0,09	0	0,09
9	Dekat pintu angin Junction2C (J2C)	0,09	0	0,09
10	Jalur udara bersih dekat mulut tambang	0,09	0	0,09
11	Jalur udara kotor dekat mulut tambang	0,14	0,1	0,04
12	Dekat daerah sealing	1,33	1,3	0,03

Tabel 2. Konsentrasi gas pada beberapa titik pemantauan lapisan A tambang batubara bawah tanah Loa Ulung, Tenggara, Kalimantan Timur

Titik Pemantauan	Lokasi	Alat pendeteksi gas metana inframerah	Multigas detector	Perbedaan pengukuran gas metana % vol
		CH ₄ % vol	CH ₄ % vol	
1	A1 DAM	0,14	0	0,14
2	KPA A DAM	0,23	0	0,23
3	A2 DAM	0,14	0	0,14
4	A3 DAM	0,14	0	0,14
5	A4 DAM	0,00	0	0,00
6	A5 DAM	0,14	0	0,14
7	A6A DAM	0,14	0	0,14
8	A7A DAM	0,00	0	0,00
9	A7 DAM	0,18	0	0,18
10	TUA II Ujung	0,18	0	0,18
11	W6A Ujung	0,18	0	0,18
12	W5A DAM	0,18	0	0,18
13	W3A DAM	0,41	1,5	1,09
14	W2A DAM	1,05	2,0	0,95

perbedaan konsentrasi gas metana sebesar 0 sampai dengan 1,09%.

Konsentrasi gas metana pada titik pemantauan 14 (W2A DAM) sebesar 1,05% yang melampaui nilai ambang batas seperti yang tertuang dalam Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 mengenai keselamatan dan kesehatan kerja pertambangan umum, bahwa nilai ambang batas dari konsentrasi gas metana pada tambang batubara bawah tanah adalah kurang dari 1%. Perlu dilakukan penanganan lebih lanjut dengan penambahan kipas penguat untuk mengencerkan akumulasi gas pada lokasi tersebut.

Perbedaan hasil pengukuran dari kedua alat yang diujicobakan pada dua lokasi ujicoba alat pendeteksi gas dapat disebabkan oleh keakuratan alat yang berbeda; alat pendeteksi gas hasil rancang bangun dapat mendeteksi sampai dengan dua desimal dibelakang koma, sedangkan alat *multigas detector* mendeteksi hanya satu desimal. Hal tersebut juga dapat disebabkan oleh faktor perbedaan waktu pada proses pengukuran dan proses pencacahan, kesalahan manusia, dan kondisi alat ukur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Secara umum, alat yang telah dirancang ini layak untuk digunakan sebagai pendeteksi gas metana di tambang batubara bawah tanah dan terbukti lebih akurat dibanding *multigas detector* dengan hasil pengukuran yang dapat mengukur hingga dua desimal.
- Ujicoba alat pendeteksi gas metana inframerah di laboratorium pada gas standar menunjukkan kecenderungan nilai yang hampir sama dibandingkan hasil pengukuran dengan *multigas detector*, dengan perbedaan konsentrasi sebesar 0,02% sampai dengan 0,03%.
- Ujicoba alat pendeteksi gas metana inframerah di lapangan dengan dua alat ukur pembandingan yang berbeda menunjukkan perbedaan yang lebih besar, yaitu sebesar 0,00% sampai dengan 1,09%. Hal tersebut dapat disebabkan oleh faktor perbedaan waktu pada proses pengukuran dan proses pencacahan, kesalahan



Gambar 6. Titik lokasi pemantauan (ujicoba alat pendeteksi gas) pada lokasi penambangan lapisan A tambang batubara bawah tanah Loa Ulung

manusia, kondisi alat ukur dan juga perbedaan keakuratan pada masing-masing alat.

Saran

- Perlu dilakukan ujicoba lebih lanjut untuk mengetahui keakuratan alat secara pasti dengan menggunakan sistem ujicoba dan kalibrasi yang lebih baik dan waktu ujicoba yang lebih lama.
- Sebagai pengembangan lebih lanjut, alat ini dapat dihubungkan ke sistem monitoring terpusat.

- Perlu dilakukan penyederhanaan sistem, sehingga alat dapat menunjukkan kinerja yang lebih baik lagi, terutama dari aspek besarnya dimensi casing dari alat yang dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ditjen Mineral dan Batubara, 1995. Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.555.K/26/M.PE/1995 mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum.
- Dynament Ltd., 2009. Technical data sheet hydrocarbon infrared sensor temperature compensated certified version type Msh-Hc/Tc, <http://www.dynament>.

- com/infrared-sensor-data/tds0001.PDF, diunduh tanggal 23 April 2010 jam 09.25.
- International Sensor Technology, 12 Pebruari 2010a. Chapter 5: Infrared gas sensor. <http://www.intlsensor.com/pdf/infrared.pdf>, 18 hal. Diunduh pada 12 Januari 2012 jam 11.05.
- International Sensor Technology, 12 Pebruari 2010b. Chapter 1: Introduction. <http://www.intlsensor.com/pdf/sensorSelectionGuide.pdf>, 8 hal. Diunduh pada 12 Januari 2012 jam 11.45.
- International Sensor Technology, 12 Pebruari 2010c. Chapter 8: Sensor selection guide. <http://www.intlsensor.com/pdf/sensorSelectionGuide.pdf>, 8 hal. Diunduh pada 12 Januari 2012 jam 11.45.
- Kissell, F. N., 2006. Sampling for methane in mines and tunnels. *Handbook for Methane Control in Mining*, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pittsburg, USA, p.27-35.
- Li, C. and Yin, Z., 2010. Infrared gas sensor. *Proceedings of the Third International Symposium on Electronic Commerce and Security Workshops (ISECS '10)*. Guangzhou, P. R. China, p. 101-104.
- McPherson, M. J., 1993. *Subsurface ventilation environmental engineering*. Chapman and Hall, University Press, Cambridge, p. 390 – 456.
- Taylor, C.D., Chilton, J.E. and Martikainen, A.L., 2008. Use of infrared sensor for monitoring methane in underground mines. *Proceedings of the 12th U.S./ North American Mine Ventilation Symposium*, Reno, Nevada.