

RENCANA PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM PROSES PENCEGAHAN DAN EVAKUASI PADA KECELAKAAN TAMBANG BATUBARA BAWAH TANAH SEBAGAI AKIBAT DARI LE DAKAN GAS METANA

Rayhan Viedyatha^{1*} Mulya Gusman¹

¹Universitas Negeri Padang

*rayhansviedyatha01@gmail.com

Abstract. Kegiatan tambang bawah tanah tidak berhubungan dengan udara luar. Sehingga, resiko kecelakaan di tambang bawah tanah lebih besar dibandingkan tambang terbuka. Pada tambang batubara bawah tanah, terdapat bahaya gas metana yang terbentuk bersamaan dengan keberadaan batubara tersebut. Gas metana bersifat ringan, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Na mun, itu bisa mengakibatkan ledakan jika dipicu oleh percikan api. Percikan tersebut dapat dipicu oleh hubungan arus listrik atau jatuhnya benda-benda logam. Tercatat lebih dari dua belas studi kasus mengenai ledakan gas metana di tambang bawah tanah baik dalam dan luar negeri. Oleh sebab itu diperlukan upaya pencegahan agar gas tersebut tidak meledak dan membahayakan kesela matan pekerja dan alat. Upaya pencegahan dapat dilakukan secara konvensional maupun menggunakan teknologi. Metode konvensional adalah metode lama dimana pekerja melakukan monitoring langsung ke lokasi tambang. Proses itu dilakukan secara berulang-ulang sehingga adanya kecenderungan ketidak-akuratan dalam perhitungan pada alat sensor. Dewasa ini, telah ada teknologi baru yang digunakan yaitu Internet of Things (IoT) dimana terdapat alat sensor yang dipasang di dalam tambang yang terhubung melalui internet sehingga tidak perlu dilakukan pengambilan data secara langsung oleh pekerja di lapangan, justru data tersebut dapat dengan diakses secara langsung. Sehingga, pengambilan keputusan akan adanya potensi bencana dapat segera dilakukan.

Keywords: Pertambangan, Keselamatan Kerja, Internet of Things (IOT), Gas Metana

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia adalah sumber daya alam berupa bahan galian. Sumber daya bahan galian tersebar luas di seluruh nusantara. Hal ini mengakibatkan banyaknya aktivitas pertambangan di seluruh penjuru negeri.

Pertambangan adalah rangkaian tahapan kegiatan yang dimulai dari penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta kegiatan pascatambang. Kegiatan penambangan sendiri dilakukan dengan metode tambang terbuka dan tambang bawah tanah menyesuaikan dengan faktor-faktor yang mengakibatkan salah satu metode tersebut lebih menguntungkan dibandingkan metode lainnya. Untuk memaksimalkan aktivitas pertambangan, dibutuhkan

penggunaan teknologi terbaru agar setiap tahapan yang dilakukan dapat dilakukan secara maksimal.

Di era revolusi industri 4.0, setiap kegiatan yang dilakukan oleh manusia sudah memanfaatkan kemajuan teknologi seperti Internet of Things (IoT). IoT adalah suatu konsep atau program yang digunakan untuk mempermudah aktivitas manusia. Penerapan IoT di industri pertambangan contohnya adalah data optimization and machine learning, 3D imaging and printing, dan drone technology. Penerapan IoT dapat dilakukan dalam metode tambang terbuka maupun tambang bawah tanah.

Tambang bawah tanah adalah metode penambangan yang dilakukan di bawah permukaan bumi dan aktivitas kerjanya tidak berhubungan langsung dengan udara luar. Aktivitas penambangan dengan cara ini memiliki resiko yang lebih besar dibandingkan tambang terbuka. Bahaya runtuhnya batuan, keberadaan gas yang tidak diinginkan, sulitnya pengaliran udara ke lokasi penambangan menjadi

permasalahan tersendiri dalam sistem penambangan tambang bawah tanah. Masalah-masalah tersebut akan semakin mudah ditemukan seiring dengan bertambahnya kedalaman yang dicapai untuk menemukan bahan galian.

Gas yang dikenal berbahaya dalam aktivitas penambangan bawah tanah adalah gas metana. Gas yang memiliki rumus kimia CH_4 ini bersifat lebih ringan dibandingkan udara dan terbentuk bersamaan dengan terbentuknya batubara. Di tambang batubara bawah tanah, udara yang mengandung 5-15% gas metana akan meledak jika dipicu oleh panas atau api. Mengingat keberadaan gas metana ini bersifat pasti pada tambang batubara dan efek yang diakibatkannya sangat merugikan pekerja dan perusahaan, maka dibutuhkan upaya pencegahan dan evakuasi apabila terjadi ledakan yang diakibatkan oleh gas tersebut.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas penerapan IoT dibandingkan dengan metode manual pada tahap pencegahan dan evakuasi pasca ledakan gas metana

2. Metodologi

Metode yang dipakai untuk penyelesaian masalah adalah melalui studi literatur (studi kepustakaan). Dimana data yang digunakan berasal dari data sekunder yang ditemukan dari jurnal-jurnal yang terkait dengan penerapan Internet of Things (IoT) dalam proses pencegahan dan evakuasi pada kecelakaan tambang batubara bawah tanah sebagai akibat dari ledakan gas metana.

Studi literatur (studi kepustakaan) adalah cara menyelesaikan permasalahan dengan cara menelusuri sumber-sumber bacaan yang pernah dibuat sebelumnya yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang dibahas pada suatu karya tulis ilmiah. Pada kasus ini, studi literatur dilakukan dengan menelusuri sumber-sumber bacaan yang berhubungan dengan bahaya di tambang bawah tanah, terbentuknya gas metana, bahaya gas metana dan penanganan jika terjadi ledakan yang diakibatkan oleh gas metana.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tambang bawah tanah

Tambang bawah tanah atau yang juga biasa disebut tambang dalam (*underground mining*) merupakan metode penambangan yang segala aktivitas penambangannya dilakukan di bawah permukaan tanah dan ruang kerja yang tidak berhubungan langsung dengan udara terbuka.

Penambangan dengan metode bawah tanah ini dilakukan dengan membuat terowongan menuju bahan galian yang akan digali. Bahan galian yang ditambang menggunakan sistem tambang bawah tanah dapat berupa logam maupun non logam hingga batubara.

3.2 Bahaya Tambang Bawah Tanah

Pada kegiatan penambangan di bawah tanah, resiko kecelakaan yang mungkin terjadi lebih besar dibandingkan dengan kegiatan penambangan di

permukaan. Pada tambang bawah tanah terdapat resiko gas bumi, ambruk material, dan kesulitan bernapas akibat kurangnya pasokan oksigen.

Bahaya dan potensi kecelakaan yang sering terjadi pada tambang bawah tanah diantaranya sebagai berikut:

3.2.1 Batuan Rapuh

Dalam kegiatan pertambangan, perlu diperhatikan sifat fisik dan sifat mekanis dari batuan yang akan diambil maupun batuan di sekitar bahan galian tersebut. Dalam pembuatan terowongan pada tambang bawah tanah, batuan yang rapuh menjadi salah satu kendala dalam kegiatan penambangan karena berpotensi terjadinya runtuh. Untuk mencegah runtuhnya tambang, dapat digunakan metode penyanggaan, baik dengan bantuan penyangga aktif maupun penyangga pasif. Tetapi, tetap ada resiko terjadinya runtuh tambang bawah tanah, baik karena faktor kegagalan penyangga, atau faktor eksternal seperti gempa bumi. Untuk meminimalkan resiko ini, selain penyanggaan batuan, bermacam prosedur kerja menjadi diperlukan untuk menghadapi resiko runtuh.

3.2.2 Debu

Debu di tambang bawah tanah dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius. Contohnya adalah debu yang mengandung partikel silika, yang apabila terhirup oleh pekerja, partikel tersebut akan mengendap di paru-paru dan dapat menyebabkan silikosis, yaitu penyakit yang terjadi karena partikel silika yang terhirup terperangkap dan disimpan di paru-paru. Adanya benda asing dapat menyebabkan pembengkakan pada jaringan paru-paru. Silika dan mineral lainnya juga dapat merusak jaringan paru-paru. Jenis debu yang juga berbahaya adalah debu batubara dan debu bijih radioaktif. Debu jenis ini berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan yang serius.

Mekanisme yang dilakukan untuk mengurangi ancaman debu yaitu dengan membuat sistem ventilasi udara. Sirkulasi udara di tambang bawah tanah harus dibuat seoptimal mungkin. Pekerja juga diberi perlengkapan pelindung seperti respirator untuk mencegah dampak dari debu.

3.2.3 Gas berbahaya (CH_4 , CO_2 , CO , H_2S , NOX , SO_2)

Dalam tambang bawah tanah, terdapat gas gas yang dapat mengganggu kesehatan pekerja. CO_2 berasal dari pernafasan manusia, gas bekas peledakan, dapat menyebabkan keracunan. Metana adalah salah satu contoh gas berbahaya di tambang bawah tanah. Metana adalah gas yang lebih ringan dari udara, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak beracun. Metana ditemukan di semua lapisan batubara, terbentuk bersamaan dengan batubara. Di tambang batubara bawah tanah, udara yang mengandung 5 hingga 15% metana dan setidaknya 12,1% oksigen akan meledak jika terkena percikan api. [5].

3.3 Gas Metana & Ledakan Gas Metana

[5] Gas metana dengan rumus kimia CH₄ ini merupakan gas gas ringan dengan berat jenis 0.558 g/cc, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa serta tidak beracun (Fieldza, 2018). Gas metana ini adalah gas yang selalu ada pada pertambangan batubara bawah tanah, karena pada saat pembentukan batubara atau pada proses pembatubaraan. Metana dalam batubara terbentuk selama proses pembatubaraan, yang merupakan proses yang melibatkan pengubahan tanaman menjadi batubara. Bahan organik terakumulasi di rawa-rawa saat tanaman mati dan membusuk. Lambat laun, sungai membawa sedimen ke rawa, menyimpan bahan organik di sana. Berat sedimen mulai memadatkan bahan organik. Dengan bertambahnya ketebalan lapisan sedimen, kedalaman lapisan sedimen juga meningkat dan suhu juga meningkat. Hal ini menimbulkan perubahan fisik dan kimia pada bahan organik, yang mengarah pada pembentukan karbon dan produksi metana, karbon dioksida, nitrogen, dan air. Ketika suhu dan tekanan meningkat, kandungan karbon (peringkat) batubara meningkat. Secara umum, semakin dalam dan/atau tinggi lapisan batubara, semakin tinggi pula kandungan metananya. Lapisan batubara biasanya tidak melepaskan metana ke atmosfer kecuali lapisan tersebut terekspos atau terganggu oleh penambangan. Gas metana ini terperangkap di lapisan batubara selama tidak ada perubahan tekanan.

[5] Gas metana menjadi faktor pemicu insiden ledakan di tambang bawah tanah, terutama dalam konteks tambang batubara. Pada lingkungan tambang bawah tanah, jika kandungan metana di udara bawah tanah mencapai 1%, maka perlu diputuskan semua sambungan listrik ke mesin, karena metana memiliki potensi untuk terbakar dan meledak saat konsentrasinya mencapai 5 hingga 15% di udara.

[5] Jika metana meledak di udara, ia akan terbakar sempurna ketika konsentrasinya antara 5% dan 9,5%, menghasilkan karbon dioksida dan uap air. Jika volume udara tetap sama saat gas metana meledak, maka suhu udara akan mencapai 2200°C dengan tekanan 9 atm.

Sedangkan jika tekanan di udara tetap atau konstan saat terjadi ledakan gas metana di udara, Saat itu suhu hanya akan mencapai 1800°C dan angin ledakan yang dihasilkan biasanya berkecepatan sekitar 300 m/s.

Jika ledakan metana terjadi ketika konsentrasi metana di udara lebih besar dari 9,5%, maka akan terjadi pula pembakaran tidak sempurna yang menghasilkan karbon monoksida (CO), yang akan menyebar ke seluruh tambang searah dengan arah aliran udara ventilasi.

3.4 Konsep K3 dan Penyebab terjadinya Kecelakaan

Filosofi dasar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah menjaga kesejahteraan para pekerja selama mereka bekerja, dengan cara mengontrol segala potensi bahaya di lingkungan kerja. Dengan mengendalikan semua risiko potensial dan memastikan bahwa kadar aman terpenuhi, kita dapat menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan memperlancar proses produksi. Hal ini pada akhirnya dapat mengurangi risiko kerugian dan meningkatkan produktivitas. Sebaliknya, jika potensi bahaya tidak dikendalikan maka akan terjadi kecelakaan. Kecelakaan dapat terjadi karena kondisi tidak aman dan tindakan tidak aman. Kondisi tidak aman berhubungan dengan lokasi tambang tersebut, misalnya kadar gas metana tinggi dan terdapat banyak kekar. Sedangkan tindakan tidak aman berhubungan dengan pekerja, misalnya meletakkan benda yang dapat memicu api seperti besi dan korek api sembarangan.

Berdasarkan survei negara-negara pada tahun 2018 dan 2019, jenis perilaku tidak aman dengan tingkat kecelakaan tertinggi adalah ketidakpatuhan terhadap prosedur sebesar 20% pada tahun 2018 dan 24% pada tahun 2019. Selain itu, Faktor lain Faktor individu yang dapat Penyebab kecelakaan adalah ketidakmampuan, kurangnya keterampilan dan rendahnya motivasi. Oleh karena itu, permasalahan tersebut perlu diselesaikan agar kecelakaan kerja di area pertambangan tidak terulang kembali atau kemungkinan terjadinya kebocoran gas di tambang bawah tanah dapat diminimalisir.

3.5 Kasus-Kasus Ledakan Gas Metana

Tabel 1. Kasus ledakan gas metana tambang bawah tanah

No	Tahun	Lokasi	Mekanisme	Korban	Teknologi detektor	Teknologi IoT
1	2000	Tambang Willow Creek	<ul style="list-style-type: none"> - Terjadi 3 kali ledakan secara berturut-turut - Ventilasi yang tidak bekerja dengan baik - Gesekan dari batu yang jatuh di gob yang menekan EGZ 	2 korban jiwa, 8 luka	Ada	Tidak ada
2	2005	Tambang Buchanan, Virginia	<ul style="list-style-type: none"> - Diawali percikan api pada sisi longwall dan ledakan pada EGZ - Tekanan gas metana di EGZ pada area gob longwall Runtuhan lapisan batu pasir sebagai OB (aktivitas seismik 3,3) 	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
3	2007	Tambang Buchanan, Virginia	<ul style="list-style-type: none"> - Diawali 3 aktivitas seismik yang berkekuatan 2,9, 3,4 dan 3,4 SR. 	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada

No	Tahun	Lokasi	Mekanisme	Korban	Teknologi detektor	Teknologi IoT
			<ul style="list-style-type: none"> - Tekanan gas metana di EGZ pada area gob longwall - Runtuhan lapisan batu pasir sebagai OB (aktivitas seismik 3,3) 			
4	2010	Tambang Upper big Branch, Virginia Barat	<ul style="list-style-type: none"> - Pengapian gas metana di bagian bak truk darimuka long wall yang menyebabkan ledakan debu batubara - Sistem ventilasi yang kurang baik - Peningkatan gas metana di area pinggir gob 	29 korban jiwa	Ada	Tidak ada
5	1995	Tambang Endeavour Colliery, Australia	<ul style="list-style-type: none"> - Runtuhan atap gob yang mendorong gas metana keluar gob - Tidak adanya sistem bleeder pada ventilasi - Adanya EGZ didalam gob yang mendapat tekanan - Rusaknya kabel listrik mobil shuttle - Runtuhan atap gob 	Tidak ada	Ada	Tidak ada
6	1986	Tambang Camphausen di Jerman.	<ul style="list-style-type: none"> - Kehadiran EGZ digob longwall tambang 	7 korban jiwa	Ada	Tidak ada
7	2010	Pike River, Selandia Baru	<ul style="list-style-type: none"> - Terjadinya 3 ledakan susulan setelah ledakan pertama, dengan penyebab yang sama sehingga memakan banyak korban - Minimnya tindakan pencegahan terhadap ledakan gas metana - Kelalaian pekerja berupa acuh terhadap alarm sensor - Alat listrik tidak memenuhi standar - Listrik dari alat yang tidak memenuhi standar 	29 korban jiwa	Ada	Tidak ada
8	2005	Liaoning Tiemei, China	Pembakaran batu bara secara spontan di jalan yang ditinggalkan menyebabkan ledakan gas	9 korban jiwa	Ada	Tidak ada
9	2006	Virginia, Amerika Serikat	Ledakan di gob tersegel menghancurkan segel tambang	12 korban jiwa	Ada	Tidak ada
10	2006	Shanxi Jincheng, China	Ledakan gas lokal terjadi di segel jalan tambang	23 korban jiwa	Ada	Tidak ada
11	2006	Shuangxi, China	Membangun area tertutup menyebabkan ledakan gas untuk menyegel spontan pembakaran yang terjadi di pelayar	4 korban jiwa	Ada	Tidak ada
12	2007	Darby, Amerika Serikat	Pembakaran gas di penyebab gob tersegel ledakan	5 korban jiwa	Ada	Tidak ada
13	2008	Lianying township, Shanxi, China	Ledakan gas di gob masih harus dibayar sementara memperkuat yang tertutup daerah dalam menyampaikan terowongan #107	6 korban jiwa	Ada	Tidak ada

No	Tahun	Lokasi	Mekanisme	Korban	Teknologi detektor	Teknologi IoT
			wajah penambangan yang berfungsi			
14	2009	Dihu, Xinjiang, China	Setelah penyelamat ledakan pertama pergi ke bawah tanah, saat menyelamatkan, ledakan sekunder terjadi dan menyebabkan penambang dan penyelamat terjebak didalam tambang.	6 korban jiwa	Ada	Tidak ada
15	2010	Shanxi, China	Gob yang harusnya tersegel dibuka secara illegal, sehingga memicu ledakan.	11 korban jiwa	Ada	Tidak ada
16	2012	Dahuang, Liaoning, China	Atap jatuh menyebabkan jalan raya terhubung ke gob atas, dan kelainan gas gob memicu ledakan gas kecelakaan yang mempengaruhi wilayah produksi	22 korban jiwa	Ada	Tidak ada
17	2013	Babao, Jilin, China	Tiga ledakan gas terjadi berturut turut selama 27 jam. setelah terjadinya ledakan pertama, segel tambang mengalami kerusakan. Pekerja tambang secara illegal masuk ke dalam untuk memperbaiki segelnya, namun memicu ledakan susulan.	36 korban jiwa	Ada	Tidak ada
18	2014	Dahuangshan, Xinjiang, China	Pekerja Secara ilegal membuka area yang harusnya tertutup dan ketika membangun area baru, udara segar masuk dan bercampur dengan metana hingga mencapai batas berbahaya. Ledakan dipicu oleh percikan api	17 korban jiwa	ada	Tidak ada
19	2015	Houxi, Chongqing, China	Tambang membuka segel tanpa izin dan melanggar hukum untuk mengatur produksi	3 korban jiwa	Ada	Tidak ada
20	2015	Xiangyang, Heilongjiang, China	Ledakan gas terjadi di bagian bawah poros bantu di bagian ketiga	19 korban jiwa	Ada	Tidak ada

3.6 Sistem Ventilasi Tambang Bawah Tanah

Sistem ventilasi dalam operasional tambang merupakan bagian integral dari upaya untuk mengatur pergerakan dan aliran udara. Hal ini mencakup parameter-parameter kritis seperti kuantitas, kualitas, dan arah aliran udara. Fokus utama dari ventilasi pertambangan adalah menyediakan jumlah dan kualitas udara segar yang memadai bagi pekerja dan peralatan mekanis. Selanjutnya, tujuan ventilasi ini adalah mengarahkan dan mendistribusikan udara segar di seluruh tambang, menciptakan kondisi kerja yang aman dan nyaman untuk pekerja tambang serta mendukung proses penambangan.

Prinsip pengoperasian ventilasi tambang bawah tanah adalah menciptakan pertukaran udara atau sirkulasi udara yang terjadi akibat perbedaan tekanan. Dimana udara akan berpindah dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Ventilasi pada tambang dapat berupa pintu, jendela, ventilasi, pengatur suhu dan kelembaban, sistem pemasukan dan pembuangan udara (sistem

kelistrikan) atau dapat juga dibantu dengan kipas angin (fan).

Kondisi tambang bawah tanah memerlukan ventilasi yang cukup sebagai alat pertukaran udara di dalam tambang, untuk digunakan oleh para pekerja pertambangan. Udara segar di dalam tambang akan memberikan pengaruh yang besar terhadap proses produksi karena berkaitan dengan kesehatan dan keselamatan kerja pekerja. Udara kotor dan debu yang dihasilkan dari proses peledakan menyebabkan buruknya kondisi udara di ruangan bawah tanah.

Berdasarkan Kepmen 1827K [6], disebutkan sistem ventilasi mencakup meliputi :

- Kebutuhan dan kualitas udara setiap area
- Peralatan yang meliputi letak, jenis, jumlah dan kapasitas peralatan ventilasi
- Jaringan ventilasi dalam bentuk peta yang mencakup debit dan arah aliran udara, jumlah dan lokasi pintu angin, serta jalur evakuasi keadaan darurat
- Pemeliharaan dan perawatan sarana ventilasi
- Pemantauan kualitas udara meliputi kelembaban, temperatur, kandungan gas (oksigen, gas berbahaya

dan/atau beracun), dan debu serta kuantitas udara meliputi kecepatan aliran dan volume)

Penanggung jawab atas sistem ventilasi dalam tambang bawah tanah adalah Kepala Teknik Tambang (KTT). Tugas KTT melibatkan memastikan bahwa udara bersih yang memadai tersedia di setiap lokasi kerja. Jika gas yang dapat dengan mudah terbakar atau meledak terdeteksi dalam sistem ventilasi tambang, KTT bertanggung jawab untuk segera menerapkan tindakan keamanan khusus guna mengatasi situasi tersebut.

Pengaturan ventilasi pada tambang bawah tanah meliputi:

- Perencanaan sistem ventilasi
- Jalan masuk udara
- Standar dan pengukuran ventilasi, termasuk di dalamnya penyediaan gas detektor
- Ventilasi alam
- Kipas angin utama
- Sistem kipas angin tambahan dan kipas angin cadangan
- Pemasangan kipas angin penguat
- Jaringan ventilasi
- Pencegahan kebocoran udara

3.7 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) pada dasarnya adalah metode yang mengkoneksikan sejumlah alat ke internet tanpa memerlukan campur tangan langsung oleh manusia. Alat yang dikoneksikan ini umumnya berupa alat sensor yang mengumpulkan data untuk diolah. Data yang dikumpulkan ini kemudian di proses dalam sejenis online data storage seperti cloud, dan kemudian dapat diakses dengan mudah dari satu perangkat.



Gambar 1. Framework Internet of Things (Sumber : Quora)

3.8 Prosedur Pencegahan Ledakan yang Diakibatkan oleh Gas Metana pada Tambang Bawah Tanah

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa penyebab meledaknya gas metana adalah hubungan arus listrik, percikan api yang dapat terbentuk karena jatuhnya besi dan tidak adanya ventilasi, maka secara sederhana dapat dikatakan bahwa pencegahan terjadinya ledakan akibat gas metana dapat dilakukan dengan memutus hubungan arus listrik saat ditemukannya gas metana, menyusun barang-barang sebaik mungkin terutama benda-benda yang dapat menimbulkan percikan api, dan penggunaan ventilasi yang baik sehingga dapat meminimalisir kemungkinan terjadinya ledakan. Meskipun begitu, diperlukan metode-metode lainnya yang dapat mempermudah pekerja untuk mencegah ledakan yang diakibatkan oleh gas metana, metode-metode tersebut

dapat dilakukan secara konvensional maupun dengan teknologi internet of things.

Secara konvensional, ledakan yang diakibatkan oleh gas metana dapat dicegah menggunakan metode-metode berikut :

3.8.1 Membekali pekerja dengan pengetahuan tentang bahaya gas dan ledakan di tambang bawah tanah.

Kecelakaan di industri pertambangan dapat terjadi karena kondisi tidak aman dan tindakan tidak aman. Kondisi tidak aman berhubungan dengan kondisi lokasi penambangan sedangkan tindakan tidak aman berhubungan dengan pekerja yang melakukan aktivitas penambangan. Untuk menciptakan kondisi kerja yang aman, maka lokasi kerja dapat disusun sedemikian rupa sehingga terbentuk lokasi kerja yang aman. Sedangkan untuk tindakan tidak aman, pekerja harus memahami standar operasional prosedur (SOP) dalam setiap pekerjaan yang dilakukan. Oleh karena itu, pekerja sebagai tokoh utama dalam aktivitas penambangan harus dibekali dengan pemahaman tentang prosedur kerja yang akan dilakukan dan bahaya yang dapat terjadi pada tambang bawah tanah. Pada tambang batubara bawah tanah, pekerja harus dibekali pemahaman khusus tentang bahaya ledakan yang diakibatkan oleh gas di lokasi penambangan. Pemahaman tersebut dapat berupa pemahaman tentang gas-gas yang berbahaya di tambang bawah tanah dan hal-hal yang dapat memicu meledaknya gas-gas tersebut.

3.8.2 Meminimalisir Sebab-sebab Terjadinya Ledakan karena Gas Metana

Secara sederhana, ledakan oleh gas metana terjadi karena adanya bahan yang bisa meledak (gas metana) dan pemicunya (api). Untuk meminimalisir terjadinya ledakan, maka harus dilakukan deteksi keberadaan gas metana dan meminimalisir terbentuknya api di dalam tambang bawah tanah. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mendeteksi keberadaan dan kuantitas gas metana, pengaliran gas, pengontrolan sistem ventilasi, penyiraman air sesuai kebutuhan, dan pengontrolan sumber-sumber api.

3.8.3 Menyediakan Fasilitas untuk Pencegahan Terjadinya kebakaran dan ledakan

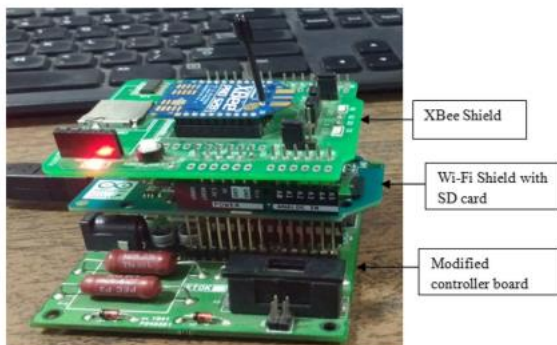
Fasilitas pencegahan sangat dibutuhkan untuk meminimalisir terjadinya kebakaran dan ledakan. Fasilitas tersebut dapat berupa debu batuan yang digunakan untuk ditaburkan di lokasi tambang terutama lokasi yang rawan terjadi kebakaran dan ledakan, pengaliran air ke lokasi yang berpotensi terjadi kebakaran, pemisahan rute (jalur) ventilasi, dan menyediakan alat potensi diri dan sistem peringatan dini.

Selain dengan cara konvensional, penerapan Internet of Things (IoT) dapat dilakukan agar resiko terjadinya ledakan yang disebabkan oleh gas metana dapat diminimalisir. Metode-metode yang dapat digunakan adalah

a. IoT Based Multimedia Sensing Platform for Underground Coal Mines (mishra, 2019)

Salah satu faktor yang membatasi perkembangan IoT di tambang bawah tanah adalah masih kurangnya TCP/IP yang membatasi koneksi internet. Di jurnal ini, dikembangkan multimode sensor network berbasis zigbee untuk melancarkan penerapan koneksi internet di tambang bawah tanah.

Telah dikembangkan pula mekanisme pembuangan data yang digunakan untuk memperpanjang masa kerja jaringan sensor. Selain itu, dikembangkan pula aplikasi berbasis android untuk menerima data dari IP adress yang telah didaftarkan. Sistem ini telah diuji dan terbukti memperoleh respons yang diinginkan.



Gambar 2. Set-Up Hardware untuk IOT (Mishra, 2019)

b. Embedded Control System Design for Coal Mine detect and Rescue Robot (Jianguo, 2010).

Robot pendeteksi dan penyelamat tambang batubara digunakan untuk mendeteksi lingkungan ledakan tambang batubara dan menyelamatkan penambang yang terjebak di tambang batubara bawah tanah setelah ledakan

gas. Pada saat terjadi ledakan tambang, proses evakuasi secara langsung tidak mungkin dilakukan sebelum mengetahui keadaan di lokasi ledakan sudah aman, karena hal tersebut dapat membahayakan penyelamat dalam evakuasi korban.

Untuk itu, robot pendeteksi dan penyelamat tambang batubara telah dikembangkan untuk membantu orang melakukan pekerjaan penyelamatan. Implementasi sistem kontrol yang digunakan tertanam berdasarkan mikroprosesor ARM9 S3C2410 untuk robot pendeteksi dan penyelamat tambang batubara.

Sistem kontrol ini dapat mencapai banyak tugas robot, seperti kontrol gerak, akuisisi informasi lingkungan, komunikasi dengan sistem kendali jarak jauh, dan menjalankan algoritma kontrol yang kompleks. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, robot berkomunikasi dengan RCS melalui jaring sensor nirkabel dan kemampuan menghindari rintangan robot di lingkungan dalam ruangan.



Gambar 3. Eksperimen Robot di Lingkungan Tambang Bawah Tanah (Jianguo, 2010)

3.9 Perbandingan Metode Konvensional dan Teknologi IoT

Tahapan	Masalah	Metode	
		Konvensional	Teknologi IoT
Pencegahan	Kecepatan dalam menerima data	Lambat	Cepat
	Penyajian data	Memerlukan waktu	<i>Real time</i> atau langsung
	Pengambilan keputusan	Lambat	Cepat
	Kemudahan monitoring	Tidak mudah	Instan
	Kelalaian manusia	Berpotensi adanya kelalaian	Minimal karena tidak melibatkan manusia
Evakuasi	Waktu respons	Lambat	Lebih cepat
	Resiko bertambahnya korban jiwa	Tinggi	Minimal
	Biaya yang dikeluarkan	Rendah	Lebih tinggi
	Penyajian data	Membutuhkan waktu	<i>Real time</i>
	Teknologi yang digunakan	Sederhana	Rumit

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa penggunaan teknologi berbasis IoT ini dapat memudahkan pekerjaan dalam mendapatkan data atau informasi mengenai kadar gas metana dalam tambang batubara bawah tanah. Penggunaan IoT juga dapat mempercepat proses pencegahan yang akan dilakukan karena cepatnya data yang masuk melalui sensor.

Penggunaan teknologi IoT ini memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan metode konvensional. Hanya saja penggunaan teknologi berbasis IoT ini membutuhkan biaya yang lumayan besar dibandingkan dengan tidak menggunakan teknologi. Untuk itu, didapatkan solusi bahwa biaya penggunaan teknologi berbasis IoT ini dapat diminimalisir dengan penggunaan sensor seperti Arduino yang memiliki harga yang terjangkau.

4. KESIMPULAN

Penggunaan Internet of Things (IoT) sangat efektif dalam pencegahan dan evakuasi pasca ledakan akibat gas metana dibandingkan metode konvensional. Efektifitas tersebut terlihat dari data yang didapatkan dan risiko yang dapat terjadi ketika melakukan pencegahan dan evakuasi. Penggunaan IoT dapat meminimalkan potensi risiko baik risiko nyawa maupun risiko kerugian alat. Tambang batubara bawah tanah memiliki potensi kecelakaan bagi pekerja yang sangat tinggi karena terdapat gas metana yang terbentuk secara bersamaan dengan batubara tersebut. Oleh karena itu, setiap perusahaan pertambangan yang menggunakan metode penambangan bawah tanah untuk menambang batubara seharusnya dapat memanfaatkan IoT dalam upaya pencegahan terjadinya ledakan akibat gas metana maupun evakuasi pasca

ledakan jika terjadi ledakan akibat gas metana di tambang tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada bapak Ardhyanto Am Tanjung, S.T., M.Sc. RWTH. sebagai dosen departemen teknik pertambangan, Universitas Negeri Padang yang telah membimbing penulis dalam hal tata tulis dan masukan berupa teori K3 pertambangan untuk lebih menyempurnakan paper ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1].Astika, dkk. 2013 "Aplikasi Pendeteksi Gas Metana Menggunakan Teknologi Sinar Infra Merah pada Tambang Batubara Bawah Tanah." Dalam "Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara" volume: 9.1 (hlm. 1-10)
- [2].Brune, dkk. 2017. "Pencegahan gob ignition dan ledakan di pertambangan longwall menggunakan segel dinamis." dalam "Jurnal Internasional Sains dan Teknologi Pertambangan" volume 27.6 (hlm. 999-1003)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617305220>. Diakses pada 20 Oktober 2021
- [3].CNN Indonesia. 2021. "Ledakan di Tambang Batu Bara Pakistan, 6 Orang Tewas".
<https://www.cnnindonesia.com/internasional/20210312210046-113-616921/ledakan-di-tambang-batu-bara-pakistan-6-orang-tewas>. Diakses pada 16 Oktober 2021.
- [4].Dey Prasanjit, dkk. 2021. "Hybrid CNN-LSTM and IoT-based coal mine hazards monitoring and

- prediction system” dalam “Process Safety and Environmental Protection” volume 152 (hlm. 249-263).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582021002950>. Diakses pada 18 Oktober 2021.
- [5].H. Fildza, z.2018. “Analisis Konsentrasi Gas Metana (CH₄) Dan Gas Karbondioksida (CO₂) Dari Tangki Septik Pada Kegiatan Non Peryumahan di Kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan Pauh, Kota Padang”.
<http://scholar.unand.ac.id/39062/>. diakses pada 20 Oktober 2021
- [6].Kepmen1827K,
<https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Keputusan%20Menteri%20ESDM%20Nomor%201827%20K%2030%20MEM%202018.pdf>. Diakses pada 21 oktober 2021.
- [7].Oktarinda, Anggi. 2017. “Tambang Batubara Meledak di Kolombia”.
<https://kabar24.bisnis.com/read/20170625/19/666054/tambang-batubara-meledak-di-kolombia>. Diakses pada 16 Oktober 2021.
- [8].Putra, Yudha Manggala P. 2014. “Ledakan Tambang Ciguk Tawali Diduga Akibat Gas Metana”.
<https://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/mzwnst/ledakan-tambang-ciguk-tawali-diduga-akibat-gas-metana>. Diakses pada 16 Oktober 2021.
- [9].Santoso, Bangun. 2020. “Tambang Batu Bara Meledak, 8 Pekerja China Hilang”.
<https://www.suara.com/news/2020/11/05/083605/tambang-batu-bara-meledak-8-pekerja-china-hilang>. Diakses pada 16 Oktober 2021.
- [10]. Sathishkumar N, dkk. 2021. “Safety Monitoring System in Coal Mine Using IoT” dalam “Journal of Physics: Conference Series”
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1916/1/012196/pdf>. diakses pada 18 Oktober 2021
- [11]. Tarmizi, Tasrief. 2014. “IAGI: tambang meledak diduga akibat gas metana.”.
<https://www.antaraneews.com/berita/415817/iagi-tambang-meledak-diduga-akibat-gas-metana>. Diakses pada 16 Oktober 2021.