
KLASIFIKASI AREA BERBAHAYA PADA AREA TEMPAT PENYIMPANAN GAS HIDROGEN DI PT. XY

HAZARDOUS AREA CLASSIFICATION FOR HYDROGEN GAS STORAGE AREA IN PT. XY

Eky Susilowati¹, Fatma Lestari^{1,2*}

¹Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia

²Disaster Risk Reduction Center, Universitas Indonesia (DRRC UI)

Informasi Artikel

Dikirim Sep 7, 2022
Direvisi Sep 19, 2022
Diterima Okt 25, 2022

Abstrak

Dalam industri farmasi, risiko kebakaran dan ledakan tetap ada selama penggunaan berbagai bahan kimia berbahaya, baik dalam proses pembuatan obat maupun dalam menjaga kualitasnya. Penggunaan gas hidrogen di industri ini yang merupakan salah satu senyawa kimia yang mudah terbakar dan dapat menghasilkan ledakan paling dahsyat. Untuk mencegah aktivasi sumber penyalakan terdekat yang dapat memicu kebakaran dan ledakan, perlu dilakukan analisis klasifikasi area berbahaya dalam penyimpanan gas hidrogen yang merupakan tujuan utama dari studi ini. Metode dalam penilaian klasifikasi area berbahaya bersifat kuantitatif dengan berpedoman pada standar *International Electrotechnical Comission (IEC)*: IEC/EN 60079-10-1 untuk menentukan zona berbahaya pada area penyimpanan tabung gas hidrogen. Berdasarkan penilaian tersebut, area penyimpanan tabung gas hidrogen termasuk dalam zona 2 dengan jangkauan zona hingga 2,5 meter dari sumber pelepasan. Oleh karena itu, perusahaan harus memikirkan upaya mitigasi risiko yang tepat untuk mengontrol sumber penyalakan seperti penggunaan listrik di sekitarnya yang dapat menyebabkan insiden kebakaran dan ledakan pada area penyimpanan gas ini.

Kata Kunci: hidrogem, IEC/EN 60079-10-1, klasifikasi area berbahaya

Corresponding Author

Gedung C Lantai 1
Kampus Baru UI Depok
16242

Gedung Pusat
Laboratorium dan
Penelitian, Lantai 2
Kampus Baru UI Depok
162242

fatma@ui.ac.id

Abstract

In the pharmaceutical industry, the risk of fire and explosion persists during the use of various hazardous chemicals, both in the manufacturing process of drugs and in maintaining their quality. The use of hydrogen gas in this industry which is one of the flammable chemical compounds and can produce the most powerful explosions. To prevent the activation of nearby ignition sources that can trigger fires and explosions, it is necessary to analyze the hazardous area classification in hydrogen gas storage which is the main goal of this study. The method in the assessment of hazardous area classification is quantitative based on the International Electrotechnical Commission (IEC) standard: IEC/EN 60079-10-1 to determine the hazardous zone in the hydrogen gas cylinder storage area. Based on this assessment, the hydrogen gas cylinder storage area is included in zone 2 with a zone reach of up to 2.5 meters from the discharge source. Therefore, the company must think of appropriate risk mitigation efforts to control ignition sources such as the use of electricity in the vicinity that can cause fire and explosion incidents in this gas storage area.

Keywords: hydrogen, IEC/EN 60079-10-1, hazardous area classification

Pendahuluan

Bahan kimia yang mudah terbakar, baik berupa gas, cairan maupun padat ditangani atau disimpan di berbagai sektor dan proses, seperti di bidang pertanian, tekstil, industri kimia, dan farmasi. Penggunaan bahan kimia tersebut dapat meningkatkan risiko kebakaran dan ledakan di industri karena bahan ini dapat bercampur dengan udara yang membentuk udara eksplosif (1). Sebanyak 13 kasus kebakaran terjadi di industri dari tahun 2008 hingga 2012, kasus kebakaran ini mengalami peningkatan dibandingkan kejadian dari tahun 2002 hingga tahun 2007 yang hanya berjumlah 5 kasus kebakaran besar (2). Efek dari kebakaran, yaitu industri akan mengalami kerugian finansial, terganggunya proses produksi hingga jatuhnya korban jiwa bahkan dapat mengakibatkan rusaknya lingkungan dan mengganggu ketenangan masyarakat (3).

Area berbahaya merupakan suatu daerah yang memiliki potensi kebakaran atau ledakan disebabkan adanya gas atau material di udara yang dapat terbakar namun bukan gas beracun (4). Sedangkan standar IEC 60079-10-1 mendefinisikan area berbahaya sebagai area di mana atmosfer gas eksplosif diperkirakan ada dalam jumlah yang memerlukan tindakan pencegahan khusus untuk konstruksi, pemasangan, dan penggunaan peralatan (5). Di area berbahaya membutuhkan peralatan dan instalasi khusus yang sesuai dan dapat melindungi dari bahan yang mudah terbakar dan meledak (6). Klasifikasi area berbahaya dibuat dengan tujuan memberikan profil risiko kebakaran dan ledakan di suatu area. Klasifikasi ini merupakan alat bantu untuk memitigasi risiko kebakaran dan ledakan di suatu area (4).

Metode klasifikasi area berbahaya (*Hazardous Area Classification/HAC*) akan menentukan klasifikasi area di mana bahan yang mudah terbakar digunakan yang akan menentukan jenis peralatan yang dapat digunakan di area tersebut untuk meminimalkan potensi sumber penyalaan. Langkah awal harus dilakukan dengan penilaian HAC untuk menentukan klasifikasi area di dalam fasilitas industri sehingga dapat ditentukan peralatan listrik dan instalasinya yang layak sebagai salah satu sumber potensial penyalaan.

Kode dan standar terkait penilaian HAC diatur dalam NFPA 497, IEC 60079-10, API-505, dan kode model EI praktik aman bagian 15: kode klasifikasi area untuk instalasi yang menangani cairan yang mudah terbakar (EI 15) telah memperkenalkan beberapa metode untuk melakukan HAC. Dua kode dan standar yang umumnya diakui memadai untuk tujuan klasifikasi area adalah IEC 60079-10 dan EI 15 (7). Area berbahaya kemudian diklasifikasikan ke dalam zona berdasarkan frekuensi kejadian dan durasi yang diharapkan dari atmosfer gas eksplosif. Dalam standar IEC 60079-10 membagi zona menjadi tiga, yaitu

zona 0 – tempat di mana atmosfer ledakan hadir terus menerus atau untuk waktu yang lama atau sering; zona 1 – tempat di mana atmosfer ledakan mungkin terjadi dalam operasi normal sese kali; dan zon 2 – tempat di mana atmosfer ledakan tidak mungkin terjadi dalam operasi normal tetapi, jika memang terjadi, akan bertahan untuk waktu yang singkat saja (8).

Industri farmasi memproduksi obat-obatan atau bahan aktif farmasi (*Active Pharmaceutical Ingredients/API*) untuk kebutuhan pasar. Produk ini dibuat dari berbagai bahan kimia berbahaya yang mudah terbakar, beracun, berbahaya bagi lingkungan, dan lain-lain yang digunakan dalam proses pembuatan obat-obatan melalui cara fisik dan kimia. Berbagai bahan kimia digunakan dalam bentuk cair, padat dan gas yang mudah terbakar di berbagai unit operasi. Akibatnya, industri farmasi sangat berisiko terhadap kebakaran dan ledakan akibat penanganan bahan kimia berbahaya ini (9).

Dalam menjamin kualitas obat yang diproduksi oleh PT. XY di Jakarta, salah satu bahan kimia digunakan adalah hidrogen. Hidrogen ini merupakan gas yang mudah terbakar yang digunakan di area laboratorium *Quality Control (QC)* untuk mengidentifikasi jumlah bahan kimia dalam obat yang diatur sesuai dengan ketentuan prosesur jaminan mutu internal perusahaan. Hidrogen yang dipakai berbentuk gas silinder bertekanan yang disimpan di area khusus penyimpanan gas untuk kebutuhan laboratorium. Pipa yang berisi gas hidrogen terkoneksi dari area penyimpanan sampai ke area laboratorium.

Gas hidrogen merupakan kelompok gas IIC yang dianggap sebagai kelompok gas paling parah yang dapat menyebabkan ledakan sehingga menggunakan peralatan kelas tertinggi dan termahal (10). Ledakan dapat terjadi ketika bahan gas yang mudah terbakar seperti halnya hidrogen yang bercampur dengan oksigen dalam perbandingan yang sesuai terkena sumber penyalaan (11). Hal ini disebabkan juga oleh karakteristik bawaan hidrogen di mana hidrogen cenderung bocor karena densitasnya yang rendah, jangkauan mudah terbakar yang besar, dan energi penyalaan minimum yang rendah. Selain itu, penggetasan hidrogen harus dipertimbangkan untuk memastikan keselamatan (12). Oleh karena itu, HAC diperlukan untuk menentukan zona berbahaya yang bersumber dari pelepasan gas hidrogen yang tidak disengaja dan mengidentifikasi potensi perbaikan terkait pencegahan penyalaan di area berbahaya.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menentukan klasifikasi area berbahaya berdasarkan standar IEC/EN 60079-10-1. Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021 di salah satu industri farmasi di Jakarta.

Menurut standar IEC/EN 60079-10-1, klasifikasi area berbahaya ditentukan berdasarkan parameter berikut:

1. Tingkat *release*/kebocoran dari sumbernya yang dibagi menjadi kontinu, primer, atau sekunder;
2. Derajat pengenceran dibagi menjadi tinggi, sedang, atau rendah;
3. Ketersediaan ventilasi dibagi menjadi baik, sedang atau buruk (13).

Berikut merupakan urutan langkah-langkah dalam menentukan klasifikasi area berbahaya berdasarkan standar IEC/EN 60079-10-1 untuk gas yang mudah terbakar seperti hidrogen, antara lain:

1. Tentukan kemungkinan sumber skenario pelepasan: kebocoran dari sambungan pipa tabung gas hidrogen.
2. Hitung laju pelepasan masa gas dengan menentukan terlebih dahulu kecepatan gas yang tidak tersedak (*subsonic release*) atau tersedak (*sonic release*) berdasarkan tekanan tabung gas. Jika kecepatan gasnya tidak tersedak, maka gunakan rumus (1) atau gunakan rumus (2), jika kecepatan gasnya termasuk yang tersedak.

$$W_g = C_d S p \sqrt{\frac{M}{Z RT} \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{1/\gamma}} \text{ (kg/s)} \quad (1)$$

Atau

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{Z RT} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \text{ (kg/s)} \quad (2)$$

W_g = laju pelepasan masa gas (kg/s)

C_d = koefisien debit (tanpa dimensi), karakteristik bukaan ventilasi besar, saluran masuk/keluar

S = penampang bukaan (lubang), di mana cairan/gas dilepaskan (m²)

-
- P = densitas gas (kg/m³)
γ = indeks politropik dari ekspansi adiabatik atau rasio panas spesifik (tanpa dimensi)
M = massa molar gas (kg/kmol)
Z = faktor kompresibilitas (tanpa dimensi)
R = konstanta gas universal (8314,5 J/kmol K)
T = suhu gas (K)

3. Tentukan karakteristik pelepasan gas dengan rumus (3) dan (4)

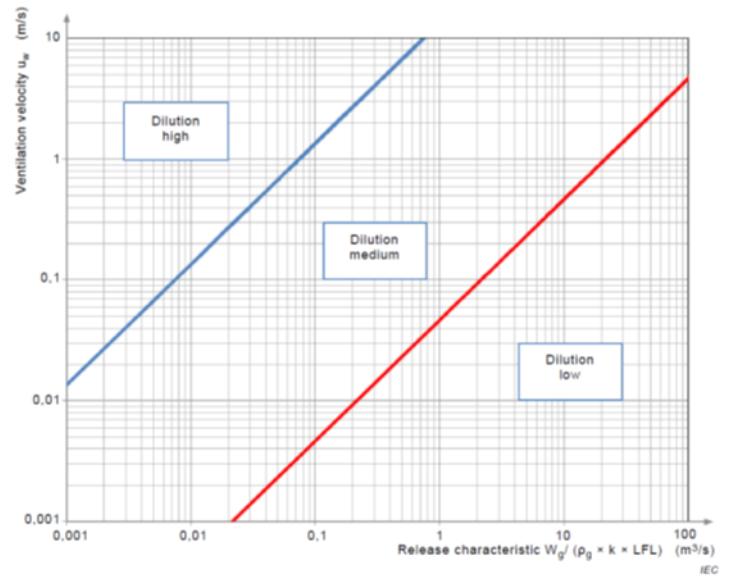
$$\rho_g = \frac{p_a M}{R T_a} \quad (3)$$

- P_g = kerapatan gas di lingkungan (kg/m³)
 p_a = kerapatan udara (kg/m³)
M = massa molar gas (kg/kmol)
R = konstanta universal (8314,5 J/kmol K)
 T_a = suhu lingkungan (K)

$$\frac{W_g}{\rho_g k LFL} \quad (4)$$

- W_g = laju pelepasan masa gas (kg/s)
 P_g = kerapatan gas di lingkungan (kg/m³)
K = faktor keselamatan
LFL = *Lower Flammable Limit* (vol/vol)

4. Tentukan kecepatan ventilasi dalam atau luar ruangan berdasarkan pengukuran nyata atau jika data pengukuran tidak tersedia, maka gunakan pedoman dalam IEC.
5. Gunakan gambar 1 untuk menentukan derajat pengenceran berdasarkan kecepatan ventilasi dan nilai karakteristik pelepasan.



Gambar 1. Penentuan Penilaian Derajat Pengenceran

Sumber: IEC, 2020

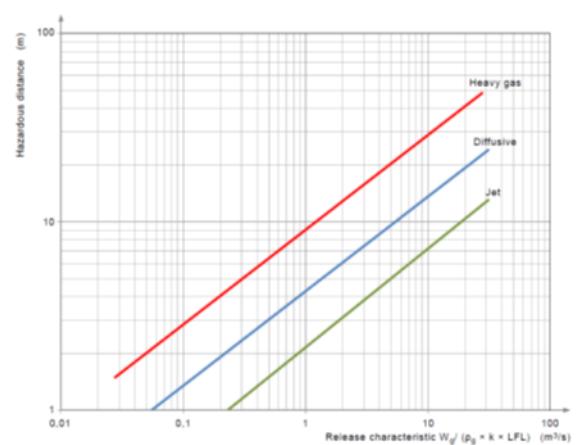
6. Gunakan tabel 1 untuk menentukan zona berdasarkan derajat pengenceran dan ketersediaan ventilasi.

Tabel 1. Penentuan Zona pada Klasifikasi Area Berbahaya

Tingkat Pelepasan	Efektivitas Ventilasi						Pengenceran Rendah	
	Pengenceran Tinggi			Pengenceran Sedang				
	Baik	Cukup	Buruk	Baik	Cukup	Buruk		
Terus-menerus	Tidak berbahaya (Zona 0 NE) ^a	Zona 2 (Zona 0 NE) ^a	Zona 1 (Zona 0 NE) ^a	Zona 0	Zona 0 + zona 2 ^c	Zona 0 + zona 1	Zona 0	
Primer	Tidak berbahaya (Zona 1 NE) ^a	Zona 2 (Zona 1 NE) ^a	Zona 2 (Zona 1 NE) ^a	Zona 1	Zona 1 + zona 2	Zona 1 + zona 2	Zona 1 or zona 0 ^c	
Sekunder	Tidak berbahaya (Zona 2 NE) ^a	Tidak berbahaya (Zona 2 NE) ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 dan bahkan zona 0 ^d	

- a Zona 0 NE, 1 NE atau 2 NE menunjukkan zona teoritis yang luasnya dapat diabaikan dalam kondisi normal.
- b Area zona 2 yang dibuat oleh tingkat pelepasan sekunder dapat melebihi yang disebabkan oleh tingkat pelepasan primer atau berkelanjutan; dalam hal ini, jarak yang lebih besar harus diambil.
- c Zona 1 tidak diperlukan di sini, yaitu zona kecil 0 di area di mana pelepasan tidak dikendalikan oleh ventilasi dan zona 2 diperuntukkan untuk area di mana kondisi ventilasi mengalami kegagalan sehingga perlu jarak zona yang lebih besar.

- d Akan menjadi zona 0 jika ventilasi sangat lemah dan pelepasannya sedemikian rupa sehingga dalam praktiknya atmosfer gas eksplosif hampir ada secara terus-menerus (yaitu mendekati kondisi ‘tidak ada ventilasi’).
‘+’ menandakan ‘dikelilingi oleh’
Ketersediaan ventilasi di ruang tertutup yang berventilasi alami umumnya tidak dianggap baik.
7. Luas zona berbahaya ditentukan dari karakteristik dan jenis pelepasan (gas atau uap) menggunakan gambar 2 (13).



Gambar 2. Penentuan Perkiraan Jarak ke Zona Berbahaya (*Extent Zone*)
Sumber: IEC, 2020

Hasil

Kemungkinan pelepasan gas hidrogen di PT. XY berasal dari kebocoran yang dapat terjadi di sambungan pipa tabung gas hidrogen yang terkoneksi dari area penyimpanan hingga laboratorium QC. Tekanan silinder (p) tabung gas hidrogen yang dipakai di laboratorium sebesar 200 bar ($2,0E+07$ Pa). Karena tekanan silinder lebih tinggi dari tekanan kritis ($\sim 1,89$ pa atau $1,89E+05$ Pa) sehingga kecepatan pelepasan gasnya termasuk yang tersedak dan dapat dihitung menggunakan rumus (2) dengan data sebagai berikut:

Tabel 2. Data untuk Menghitung Tingkat *Release*

Cd	S (m ²)	p (pa)	γ	M	Z	R	T (K)
0,5	0,0000001	2,0E+07	1,41	2,016	1,1	8314,5	306

Dari data yang terdapat pada tabel 2, maka laju pelepasan (W_g) gas hidrogen sebesar $5,8E-04$ kg/s.

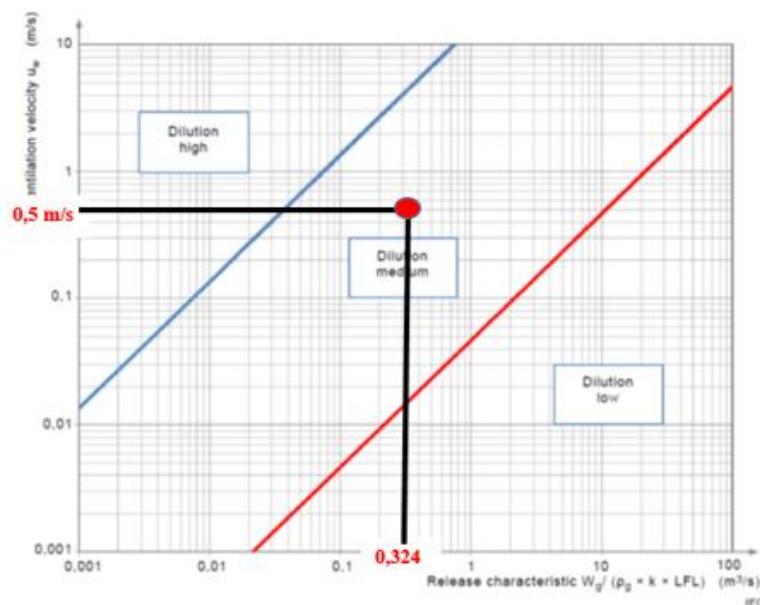
Setelah didapat laju pelepasan, maka perlu dihitung kerapatan gas di lingkungan (P_g) dengan menggunakan rumus (3) dengan data pada tabel 3.

Tabel 3. Data untuk Menghitung Kerapatan Gas di Lingkungan

$P_a (10^5)$	M	R	γ	Ta (K)
1,0E+05	2,016	8314,5	1,41	273

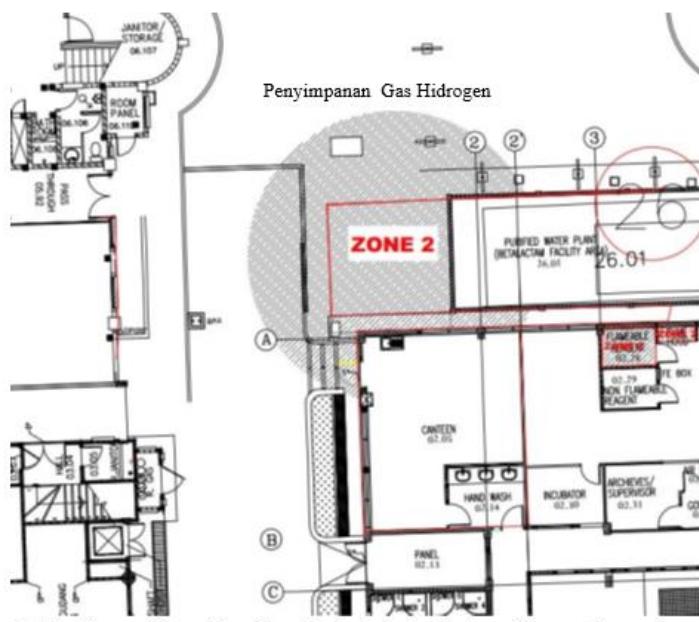
Dari data yang terdapat pada tabel 3, maka didapat kerapatan gas hidrogen di lingkungan (P_g) sebesar $0,1 \text{ kg/m}^3$. Kemudian baru dihitung karakteristik pelepasan gasnya dengan faktor keselamatan 0,5 dan *LFL* gas hidrogen sebesar 4% berdasarkan Lembar Data Keselamatan Bahan (LDKB/Safety Data Sheet) menggunakan rumus (4). Didapat hasil karakteristik pelepasan sebesar $0,324 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kecepatan ventilasi (U_w) dalam penyimpanan hidrogen merujuk pada rekomendasi IEC/EN 60079-10-1 sebesar 0,5 m/s untuk area terhalang luar ruangan. Dengan karakteristik pelepasan $0,324 \text{ m}^3/\text{s}$ dan kecepatan ventilasinya 0,5 m/s, maka derajat pengenceran area penyimpanan gas hidrogen masuk ke dalam pengenceran sedang seperti pada gambar 3.



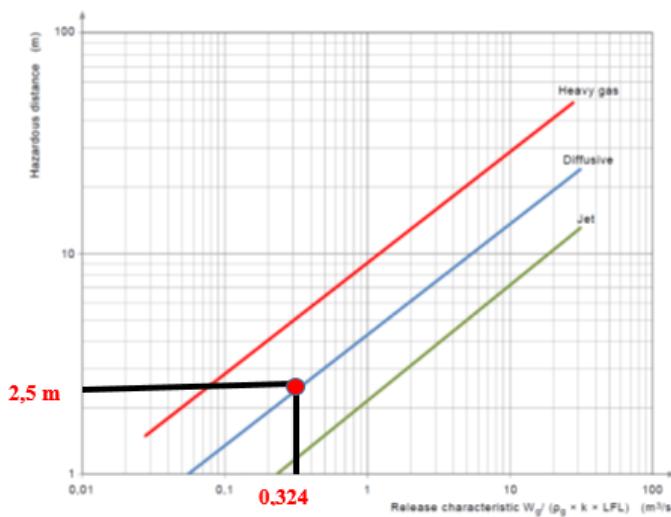
Gambar 3. Derajat Pengenceran Penyimpanan Gas Hidrogen
 Sumber: Modifikasi IEC, 2020

Kebocoran gas hidrogen tidak terjadi sepanjang waktu sehingga dikategorikan sebagai tingkat pelepasan sekunder dengan ketersediaan ventilasi dianggap cukup (*fair*) dan derajat pengenceran termasuk kategori sedang. Oleh karenanya, zona untuk area penyimpanan gas hidrogen termasuk dalam kategori zona 2 berdasarkan tabel 1. Pemetaan zona pada area penyimpanan gas hidrogen dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pemataan Zona untuk Penyimpanan Gas Hidrogen
Sumber: Modifikasi Data Internal Perusahaan

Karakteristik dari gas hidrogen merupakan gas difusi yang lebih ringan dari udara, sehingga untuk menentukan luas zona 2 pada area penyimpanan gas hidrogen merujuk pada gambar 2 di mana didapatkan hasil luasnya berjarak 2,5 meter dari sumber pelepasan seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Jarak Area Berbahaya untuk Penyimpanan Gas Hidrogen
Sumber: Modifikasi Data Internal Perusahaan

Pembahasan

Gas hidrogen di PT. XY disimpan di dalam ruangan penyimpanan khusus gas bertekanan bersama dengan gas lainnya, seperti *acetylene* (2 tabung), LPG (2 tabung), *nitrous oxyde* (1 tabung), dan nitrogen (3 tabung). Ruang penyimpanan semua gas tersebut memiliki ventilasi alami yang baik melalui dinding terbuka dengan pagar baja. Dalam penentuan klasifikasi area berbahaya di ruang penyimpanan gas ini difokuskan pada gas hidrogen yang merupakan gas paling berbahaya yang mudah terbakar dan disimpan dalam jumlah yang banyak (9 tabung) dibandingkan dengan jenis gas lainnya.

Tingkat pelepasan serta ketersediaan dan efektivitas ventilasi merupakan faktor indikasi kondisi fasilitas dan sekitarnya yang menjadi pertimbangan dalam menentukan zona pada klasifikasi area berbahaya (10). Kondisi ventilasi pada tingkat pelepasan kontinu, primer, atau sekunder biasanya akan menghasilkan masing-masing zona 0,1, atau 2, tetapi jika kondisi ventilasi buruk dapat menghasilkan zona yang lebih ketat (14). Pada area penyimpanan gas hidrogen di PT. XY, sumber pelepasan gas berasal dari kebocoran pada sambungan pipa tabung gas yang merupakan tingkat pelepasan sekunder. Efektivitas ventilasi didasarkan pada derajat pengenceran dan ketersediaan ventilasi di mana pada area ini derajat pengenceran dikategorikan medium dengan ketersediaan ventilasi yang baik. Oleh karenanya, area penyimpanan tabung gas silinder dikategorikan sebagai zona 2 di mana risiko terjadinya kebakaran dan ledakan rendah. Namun, perlu dilakukan upaya pengendalian terhadap sumber penyalaan sesuai dengan standar zona 2 di mana semua peralatan listrik harus memiliki tingkat proteksi terhadap ledakan (*explosion proof*) termasuk penerangan maupun detektor kebakaran yang dipasang di area tersebut. Selain itu, memisahkan tabung gas dalam area penyimpanan gas tersebut sangat direkomendasikan untuk meminimalkan potensi reaksi mudah terbakar jika terjadi kebocoran. Sesuai persyaratan standar OSHA 1926.350 (a) (10) tabung bahan bakar gas seperti hidrogen, *acetylene* atau sejenisnya harus dipisahkan dari tabung gas oksigen atau bahan yang mudah terbakar (terutama *oli* atau *grease*) dengan jarak minimum 20 ft (6,1 meter) atau oleh penghalang yang tidak mudah terbakar setinggi setidaknya 5 ft (1,5 meter) yang memiliki peringkat ketahanan api setidaknya satu setengah jam (15).

Metode klasifikasi zona berbahaya telah dikembangkan dengan mengacu pada pedoman lainnya menggunakan pedoman Italia pada studi kasus yang dikemukakan oleh Nilsen, dkk (2007) untuk menilai zona berbahaya di stasiun pengisian bahan bakar gas hidrogen. Pernilaian zona berbahaya termasuk di dalam gedung pemrosesan gas dan di sekitar katup

luar ruangan. Tingkat pelepasan di stasiun pengisian ini dianggap sebagai kelas menengah (sekunder) sehingga area tersebut menjadi zona 2. Untuk menentukan radius zona, berdasarkan pedoman Italia membutuhkan data frekuensi/ukuran kebocoran yang ada. Namun dalam studi kasus ini, tidak adanya data terkait ukuran/frekuensi kebocoran di stasiun gas ini sehingga ditetapkan ukuran diameter kebocoran sebesar $0,25 \text{ mm}^2$ dianggap mewakili ukuran kebocoran yang paling tepat. Hasilnya menunjukkan bahwa area di stasiun pengisian bahan bakar gas hidrogen termasuk ke dalam zona 2 dengan radius 5 m di sekitar katup luar. Dengan asumsi kebocoran $0,25 \text{ mm}^2$, zona 2 direkomendasikan untuk kapasitas ventilasi 10 ACH (*Air Changes per Hour*) (16).

Analisis model dinamis fluida komputasi (pemodelan *Computational Fluid Dynamics/CFD*) kebocoran gas hidrogen terkompresi ke udara di bawah kondisi yang berbeda untuk menentukan volume campuran hidrogen/udara dan tingkat batas bawah yang mudah terbakar. Kebocoran dari sistem hidrogen dapat terjadi pada *fittings* yang dalam operasi normalnya bergerak saat berada di bawah tekanan, seperti selang katup, kompresor, dan lain-lain. Pada studi yang dilakukan oleh Howard, dkk (2005) menyebutkan bahwa ukuran lubang yang diperlukan dihitung untuk menentukan tingkat kebocoran hidrogen yang diharapkan secara wajar dari katup dengan *fitting* 5 dan 20 cfm di bawah tekanan 400 bar menghasilkan masing-masing lubang berdiameter efektif 0,1 dan 0,2 mm. Hasilnya dibandingkan dengan volume hipotetis yang dihitung dari IEC 60079-10 untuk laju aliran massa yang sama dalam kebanyakan kasus, hasil CFD menghasilkan volume hidrogen/udara yang jauh lebih kecil daripada standar IEC. Oleh karena itu, standar IEC ini merekomendasikan penggunaan CFD untuk prediksi perluasan dan volume area berbahaya (5). Dalam studi ini, jarak klasifikasi listrik menggabungkan volume dan tekanan penyimpanan hidrogen diproduksi berdasarkan luasan LFL hidrogen dari lubang berdiameter 0,2 mm dan persyaratan standar yang ada. Zona berbahaya dikategorikan ke dalam zona 1 dan 2 pada area penyimpanan gas hidrogen dengan beragam jarak radius zona yang bisa mencapai 4 m dari sumber kebocoran berdasarkan jumlah yang disimpan dan tekanan maksimum yang diizinkan dari sistem (17).

Selain standar IEC, berdasarkan kategori dalam NFPA 497 tabel 5.7.4 Besaran Relatif Peralatan Proses dan Pemipaan yang Menangani Bahan Mudah Terbakar, jumlah gas yang digunakan di PT. XY dikategorikan kecil/rendah. Untuk gas kategori kecil/rendah ini yang disimpan dalam silinder (dalam bentuk gas bukan cair) dan terletak di dalam ruangan, maka penentuan klasifikasi area berbahaya mengacu pada gambar 5.10.8 (b) NFPA 497. Oleh karenanya, area penyimpanan gas hidrogen dikategorikan ke dalam zona 2 dengan luas zona

15 ft (4,57 meter) di sekitar sambungan pipa gas dan 25 ft (7,62 m) sekitar tabung gas (18). Penentuan zona berbahaya baik berdasarkan pendekatan NFPA, IEC, dan pedoman Italia sama, yaitu zona 2 sedangkan luas zona berdasarkan NFPA 2-3 kali lipat dari IEC. Sedangkan luas zona berdasarkan pedoman Italia, ditentukan dari ukuran diameter kebocoran sehingga semakin besar ukurannya, maka semakin luas radius zonanya.

Kesimpulan

Berdasarkan penilaian klasifikasi area berbahaya dengan menggunakan pedoman standar IEC/EN 60079-10-1, area penyimpanan gas hidrogen dikategorikan sebagai zona 2 dengan radius zona 2,5 meter dari sumber pelepasan. Hal ini didasarkan pada potensi kebocoran gas hidrogen yang tidak dapat terjadi sepanjang waktu sehingga dikategorikan sebagai tingkat pelepasan sekunder. Pertimbangan selanjutnya dalam menentukan zona, yaitu ketersediaan ventilasi yang dianggap cukup (*fair*) dengan efektivitas ventilasi berada pada derajat pengenceran sedang sehingga area penyimpanan gas tersebut masuk dalam kategori zona 2. Sedangkan radius zona ditentukan dari karakteristik gas hidrogen yang merupakan gas difusi yang lebih ringan dari udara dan didapatkan hasil luasnya berjarak 2,5 meter dari sumber pelepasan.

Saran

Dalam studi ini, metode yang dipakai dalam menentukan zona klasifikasi pada area berbahaya hanya berdasarkan pada standar IEC/EN 60079-10-1, namun perlu dikembangkan lebih lanjut mengenai penilaian area klasifikasi area berbahaya terutama radius zonanya dengan mempertimbangkan beberapa skenario tingkat kebocoran gas hidrogen menggunakan *CFD* yang mempertimbangkan volume penyimpanan dan tekanan kerja maksimum. Selain itu, sebagai *improvement* di area penyimpanan gas hidrogen PT. XY, sangat penting untuk dilakukan hal-hal berikut, yaitu:

1. Mengganti peralatan listrik di sekitarnya sesuai zona 2 termasuk penerangan dan instalasi detektor kebakaran yang berpotensi sebagai sumber penyalaan untuk meminimalisir risiko kebakaran dan ledakan.
2. Kontrol teknik tambahan sangat diperlukan untuk penggunaan yang aman dengan mendeteksi adanya kebocoran gas hidrogen (*early warning system*) melalui instalasi *flame/LEL gas detector* di tempat penyimpanan dan melakukan kalibrasi detektor tersebut secara berkala.

-
3. Uji kebocoran pada sambungan seluruh jalur pipa gas hidrogen perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan penggunaan hidrogen yang aman.
 4. Mengembangkan rencana tanggap darurat dalam penanganan gas bertekanan yang mengandung hidrogen, di mana salah satu elemennya perlu dilakukan pelatihan tanggap darurat secara berkala.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak perusahaan yang telah memberi izin lokasi penelitian dan memudahkan dalam pengambilan data, Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Universitas Indonesia yang telah mendukung selama penyusunan artikel penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Souza AOd, Luiz AM, Neto ATP, Antonio CBdA, Heleno, BdS, Sidinei KdS, Jose JNA. CFD Predictions for Hazardous Area Claassification. Chinese Journal of Chemical Engineering. 2018 Jun 15;27:21-31.
2. Adiansyah M, Akbar KA, Hartanti RI. Analisis Sarana Penyelamatan Jiwa Sebagai Upaya Tanggap Darurat Kebakaran (Studi Di Unit Produksi Plywood PT. Kutai Timber Indonesia Probolinggo). Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health. 2020 Oct;5:36-49.
3. Fergusan F, Prasetya TAE, Nawaietu ED. *Risk Assessment* Kebakaran dan Peledakan di PT. XYZ Surabaya. Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health. 2020 Apr;4:42-53.
4. Lestari F, Hastiti LR, Pujiriani I, Andrias D, Nurdiansyah W, Chandra J, et al. Keselamatan Kebakaran (Fire Safety). Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia: 2021.
5. Bahadori A. Hazardous Area Classification in Petroleum and Chemical Plants A Guide to Mitigating Risk. United State: CRC Press; 2014.
6. Zohirad H, Ebadi T, Givehchi S. Predictive Modelling Hazard Radius for Refinery Hydrogen Releases Using Regression Technique. International Journal of Hydrogen Energy. 2016 Apr 21;41:11491-11496.

-
7. Webber DM, Ivings MJ, Santon RC. Ventilation Theory and Dispersion Modelling Applied to Hazardous Area Classification. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* 2011 Apr 8;24:612-621.
 8. Pal, D. Hazardous Area Classification in Pharmaceutical Industry. *International Journal of Engineering Research & Technology.* 2019 Mar 3;8:134-138.
 9. Choi JY, Byeon SH. Specific Process Conditions for Non-Hazardous Classification of Hydrogen Handling Facilities. *Safety and Health at Work.* 2021 May 18;12:416-420.
 10. Buyukkidan B, Gumus H, Uslu OA. The Risk Calculation of Hazardous Zones Created by Flammable and Explosive Chemicals, LPG Tank Example. *Journal of Natural Hazards and Disaster Management.* 2021 Des 16;2:47-62.
 11. Sakamoto J, Sato R, Nakayama J, Kasi N, Shibutani T, Miyake A. Leakage-Type-Based Analysis of Accidents Involving Hydrogen Fueling Stations in Japan and USA. *International Journal of Hydrogen Energy.* 2016 Aug 28;41:21564-21570.
 12. IEC. Explosive Atmospheres - Part 10-1: Classification of Areas - Explosive Gas Atmospheres. Switzerland: IEC; 2020.
 13. Zohdirad H, Ebadi T, Givenchi S, Meysami H. Grid-Based Individual Risk Calculation in the Classification of Hazardous Area with a Risk-Based Approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* 2016 May 13;43:98-105.
 14. OSHA. 1926.350:Safety and Health Regulation for Construction. Washington DC: OSHA; 2014.
 15. Nilsen, S, Marangon A, Middha P, Engeboe A, Markert F, Ezponda E, et al. Determination of Hazardous Zones for A Generic Hydrogen Station-Case Study. 2nd International Conference on Hydrogen Safety, Spain: 11-13 September 2007, 1-13.
 16. Souza AO, Luiz AM, Neto ATP, Araujo ACB, Silva HB, Sliva SK, et al. A New Correlation for Hazardous Area Classification Based on Experiments and CFD Predictions. *Process Safety Progress.* 2019 Mar 07;38:21-26.
 17. Howard GW, Tchouvelev AV, Cheng Z, Agranal VM. Defining Hazardous Zones-Electrical Classification Distances. International Conference on Hydrogen Safety, 08 September 2005.
 18. NFPA, 2021. Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installationsin Chemical Process Areas. Massachusets: NFPA; 2011.