



## ANALISIS SEBARAN KEBOCORAN GAS PADA KILANG LPG SIMULASI DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM ALOHA

Sandi Handrianto<sup>1\*</sup>, Nieke Karnaningroem<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

<sup>2</sup>Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan & Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### Abstrak

#### ARTICLE INFO:

##### *Article history:*

Received 5 July 2024

Received 2025d in revised form

19 July 2024

Accepted 31 December 2024

Available online 8 January 2025

##### *Keywords:*

*Kebocoran Gas, Kilang LPG, LEL, VCE & Worst Case*

Kebocoran gas dari kilang LPG dapat menyebar ke area permukiman terdekat dan punya resiko menjadi kasus VCE (vapor cloud explosion), maka diperlukan penelitian yang akan menentukan dimana titik worst case kebocoran gas dan juga bagaimana sebaran gas yang ditimbulkan ketika terjadi kebocoran gas pada kilang LPG. Penentuan titik worst case kebocoran gas menggunakan metode SLRA (Screening Level Risk Analysis) dengan hasil resiko tertinggi terjadi pada kasus kebocoran gas LPG product tank V500/501 manhole 24". Simulasi sebaran gas pada kebocoran LPG product tank V500/501 manhole 24" menggunakan program ALOHA dengan 3 skenario berbeda. Hasil simulasi menunjukkan sebaran gas terjauh dan terluas terjadi pada skenario 2 hingga mencapai wilayah permukiman terdekat dengan jarak sebaran hingga 862 m dengan konsentrasi 10%LEL. Kilang LPG Gresik memiliki potensi terjadi kasus kebocoran gas besar yang sebaran gasnya mencapai wilayah penduduk terdekat dengan konsentrasi LEL (Lower Explosive Limit) yang rendah.

Copyright © University of Islamic Majapahit Mojokerto, East Java Indonesia

### 1. Pendahuluan

Kilang LPG pada dasarnya termasuk dalam jenis industri minyak dan gas dengan resiko ke keselamatan dan lingkungan yang tinggi serta berpotensi terjadi bencana seperti kebocoran gas, kebakaran, peledakan, dan pencemaran lingkungan. Resiko tersebut muncul karena kilang LPG melakukan pemrosesan gas alam, yang mudah terbakar dan secara umum proses tersebut dilakukan

\* Corresponding author

E-mail addresses : [sandbandriant@gmail.com](mailto:sandbandriant@gmail.com)

pada tekanan yang tinggi. Kasus kecelakaan sangat mungkin terjadi dan berdampak pada masyarakat luas salah satunya dikarenakan banyak diantara pembangunan kilang LPG sangat dekat dengan lingkungan permukiman, kasus kebocoran gas dari kilang LPG dapat menyebar ke area permukiman terdekat dan punya potensi menjadi kasus VCE (*vapor cloud explosion*). Penelitian dilakukan pada salah satu kilang LPG swasta di kabupaten Gresik Jawa Timur, yang mana lokasi kilang tidak jauh dari permukiman warga terdekat (700 m). Dari informasi yang didapatkan, kilang LPG Gresik belum pernah melakukan kajian dimana letak titik kebocoran dengan resiko tertinggi serta belum pernah melakukan simulasi sebaran kebocoran gas terhadap wilayah permukiman terdekat

## 2. Metode

Penelitian ini bertujuan menentukan skenario worst case dan sebaran gas pada kebocoran gas kilang LPG Gresik, langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

- a) Pengumpulan data primer, yaitu data ukuran pipa, vassel, tangka, flange dan temperature tangka LPG
- b) Pengumpulan data sekunder, yaitu P&ID (Pipe & Instrumentation Diagram), data elevasi lokasi, jarak dengan permukiman, data atmosfer tahun 2011 s/d 2016
- c) Identifikasi dan analisa resiko, menggunakan metode kualitatif SLRA (Screening Level Risk Analysis) dengan menggunakan risk matrix yang sudah diterapkan pada kilang LPG Gresik
- d) Penentuan skenario kebocoran gas, hasil dari SLRA yang memiliki resiko paling tinggi terhadap kasus kebocoran gas, dimana resiko tertinggi dipengaruhi oleh ada tidaknya safety guard pada instalasi tersebut dan seberapa besar potensi volume gas yang akan keluar jika terjadi kasus kebocoran gas
- e) Simulasi sebaran gas menggunakan program ALOHA yang akan menggunakan tiga skenario kebocoran, yaitu nilai parameter atmosfer tertinggi, terendah dan rata-rata dalam periode tahun 2011 s/d 2016
- f) Hasil simulasi sebaran gas dimapping menggunakan program MARPLOT sehingga memudahkan dalam pembacaan dan pengartian sebaran gas
- g) Analisa hasil simulasi terkait potensi terbakarnya gas, potensi gangguan lingkungan dan potensi financial losses pada kilang LPG Gresik
- h) Menarik kesimpulan dan saran

### 3. Hasil dan Analisa

#### Identifikasi dan analisa resiko

Identifikasi dan analisa resiko dilakukan untuk mencari dimana titik kebocoran terburuk dimana memiliki nilai severity (konsekuensi) dan probability (kemungkinan) tertinggi atau bisa dikatakan yang nilai resikonya paling tinggi. Resiko tinggi pada skenario kebocoran gas merupakan kombinasi kemungkinan terjadi kebocoran yang tinggi serta jika terjadi kebocoran gas maka konsekuensi yang ditimbulkan besar baik dari kemungkinan korban jiwa, kerusakan lingkungan serta timbulnya kerugian biaya yang besar. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah SLRA (Screening Level Risk Analysis) dengan memakai acuan risk matrix yang sudah dipakai di internal kilang LPG Gresik. Untuk mempermudah identifikasi maka peneliti membagi kilang LPG menjadi enam bagian, yaitu Metering, Pre filter -feed gas compressor, Dehydration, Cryogenic, Kolom fraksi propan butane dan Tangki timbun.

Tabel 1. Risk Matrix yang digunakan dalam SLRA

- Probability (Kemungkinan)

Tingkat	Kategori	Penjelasan
1	Jarang	Kejadian yang mungkin hanya dapat terjadi dalam kondisi pengecualian
2	Kadang-Kadang	Kejadian dapat terjadi pada suatu waktu
3	Sedang	Kejadian akan terjadi pada suatu saat/waktu
4	Mungkin	Kejadian mungkin akan terjadi pada hampir suatu saat/waktu

- Severity (Konsekuensi)

Tingkat	Kategori	Penjelasan
1	Tidak penting	Tidak ada cedera, kerugian biaya rendah
2	Kecil	Cedera ringan, cukup dengan bantuan pertolongan pertama, tindakan perbaikan dapat segera dilakukan, kerugian biaya rendah
3	Sedang	Perawatan medis diperlukan, tindakan bantuan selain oleh petugas yang ada dibekali juga dibantu oleh petugas dari luar, kerugian biaya besar
4	Besar	Cedera berat, kerugian ketidak mampuan produksi, kerugian biaya besar
5	Bencana	Kematian, kerugian sangat besar

- Risk Matrix

		PROBABILITY					
		1	2	3	4	5	
SEVERITY	H	H	H	S	H	H	5
	M	H	H	H	S	S	4
	L	H	H	H	S	S	3
	L	L	L	H	H	S	2
	L	L	L	L	H	H	1

**H : High Risk (Resiko Tinggi)**  
Daerah beresiko tinggi warna merah pada diatas dan menunjukkan bahwa resiko tersebut tidak dapat diterima, bahwa kegiatan operasional harus dihentikan, pemeliharaan ulang harus dilakukan dan resiko harus dikurangi. Penelitian secara rinci dan perencanaan manajemen diperlukan pada tingkat manajemen.

**S : Significant Risk (Resiko Significant)**  
Daerah yang signifikan, ditandai dengan warna orange pada table, menunjukkan pengaruh resiko yang signifikan, perhatian tingkat manajemen diperlukan.

**M : Moderate (Resiko Sedang)**  
Daerah resiko sedang ditandai warna kuning pada table tersebut diatas, menunjukkan bahwa masih ada resiko yang perlu dipertimbangkan, perhatian tingkat manajemen diperlukan.

**L : Low Risk (Resiko Rendah)**  
Daerah resiko rendah, ditandai warna hijau pada table, menunjukkan bahwa resiko dapat diterima, akan tetapi tidak menghalangi seseorang untuk mempertimbangkan dan mengurangi resiko lebih jauh. Resiko rendah ini harus diatur oleh prosedur yang rutin.

\* Corresponding author

E-mail addresses : sandbandriant@gmail.com

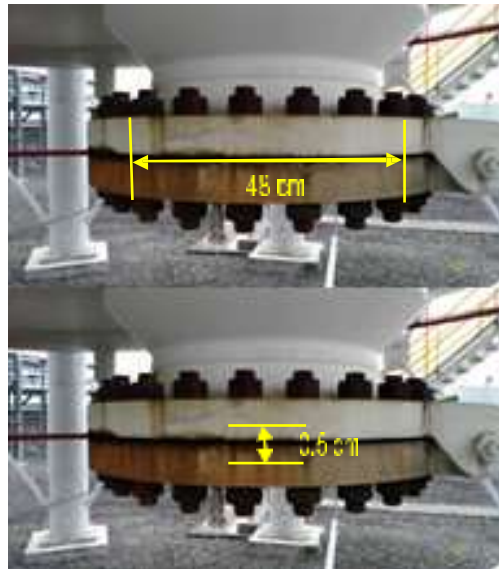
Setelah melalui penyusunan dan diskusi dengan tim *reviewer* SLRA yang terdiri dari perwakilan bagian *operation, engineering* dan K3, didapatkan hasil berupa dokumen SLRA yang lengkap, beberapa hal yang bisa kita identifikasi adalah :

- Terdapat 297 sumber bahaya yang terkait dengan resiko kebocoran gas pada kilang LPG Gresik, di dalamnya terdiri dari resiko kebocoran gas pada peralatan seperti kompresor, *vessel, heat exchanger*, pompa serta jalur pipa dengan *range* ukuran 2" hingga 12".
- Kasus kebocoran di dominasi oleh sebab korosi dan kebocoran pada *flange*.
- Kasus kebocoran karena sebab korosi memiliki nilai probabilitas (tingkat keseringan) yang rendah, hal ini disebabkan oleh jenis material kimia yang di proses yang bukan jenis korosif.
- Kasus kebocoran pada *flange* memiliki nilai probabilitas yang lebih tinggi karena pada sambungan flange terdapat 2 bagian penting yaitu baut dan gasket yang mana memiliki kerentanan pada perubahan tekanan kerja serta faktor external seperti cuaca, perubahan tadi dapat menyebabkan keausan sehingga punya potensi menyebabkan kebocoran pada *flange*.
- Hampir disemua instalasi dan peralatan di kilang LPG terdapat pengaman berupa *block valve*, yang mana berfungsi membuka dan menutup jalur gas maupun cairan, sehingga ketika terjadi kebocoran pada suatu titik, volume kebocoran tersebut dapat dikendalikan.
- Resiko tertinggi ditemukan pada sumber bahaya LPG *product tank* V500/501 dikarenakan kebocoran pada *manhole* 24", nilai dari risk ranking nya adalah *high risk* (merah) yang mana jika kebocoran terjadi kemungkinan akan berdampak luas pada lingkungan.

Ukuran lubang kebocoran didapat dari hasil diskusi dengan bagian operasional kilang, yang mana berdasarkan pengalaman kebocoran gas di titik *flange* banyak terjadi pada 1/4 dari jumlah seluruh baut pada flange. Skenario kebocoran LPG *storage tank* ini terjadi pada *manhole flange* dengan ukuran 24 inch dengan jumlah baut sebanyak 24 buah, maka kemungkinan kebocoran terjadi pada 6 buah baut dengan jarak ke 6 baut tersebut sepanjang 48 cm dan lebar kebocoran 0,5 cm yang didapat dari lebar *gap* (jarak) antar 2 *flange*.



Gambar 1. LPG Product Tank V500/501



Gambar 2. Ukuran Lubang Kebocoran

Penentuan LPG *product tank* V500/501 *manhole* 24” sebagai resiko tertinggi mempertimbangkan beberapa aspek antara lain :

- LPG *product tank* V500/501 tidak memiliki pengaman berupa sistem pembuangan aman material, misalnya sistem *flare stack* atau sistem *transfer to other tanks*. Jika mengalami kebocoran pada *manhole* 24” maka kemungkinan semua volume di dalam tangki akan keluar ke lingkungan.
- LPG *product tank* V500/501 memiliki volume yang besar yaitu 1988 m<sup>3</sup>, paling besar diantara semua volume ruang yang ada di kilang LPG Gresik.
- Tangki tersebut merupakan tangki aktif yang mana selama setahun penuh tidak pernah kosong
- Tangki tersebut berisi produk LPG yang punya berat jenis lebih berat dari udara sehingga jika mengalami kebocoran akan lebih sulit untuk terdispersi menjadi konsentrasi yang lebih encer.
- Secara visual *manhole* 24” perlu mendapatkan perawatan, baut dan gasket telah mengalami korosi, sehingga menambah

Penentuan skenario kebocoran gas

Setelah mendapatkan hasil dari dokumen SLRA berupa sumber bahaya yang memiliki nilai *risk ranking* tertinggi maka pada lokasi tersebut akan ditetapkan sebagai skenario *worst case* kebocoran gas dan data-data yang dibutuhkan untuk proses simulasi telah didapatkan dan dijelaskan diatas. Simulasi kebocoran gas ini akan dilakukan dalam 3 skenario yang mana data atmosfer akan menggunakan data tertinggi, terendah dan rata-rata dalam periode 2011 s/d 2016 (5 tahun), dengan hal tersebut diharapkan simulasi ini akan mendapat hasil yang lebih akurat. Berikut gambaran dari 3 skenario kebocoran yang akan dijalankan menggunakan program ALOHA :

---

\* Corresponding author

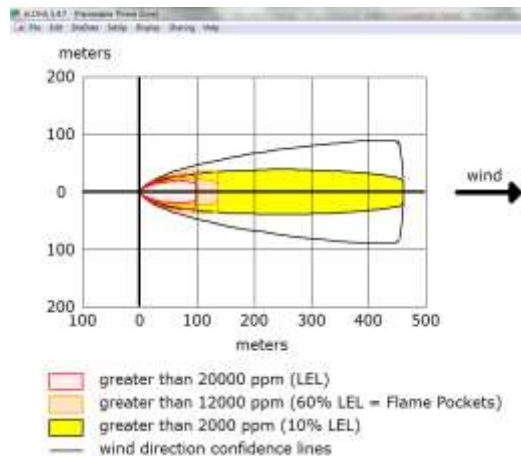
*E-mail addresses* : sandbandriant@gmail.com

Tabel 2. Skenario Kebocoran Gas Pada LPG Storage Tank V500/51 Manhole 24''

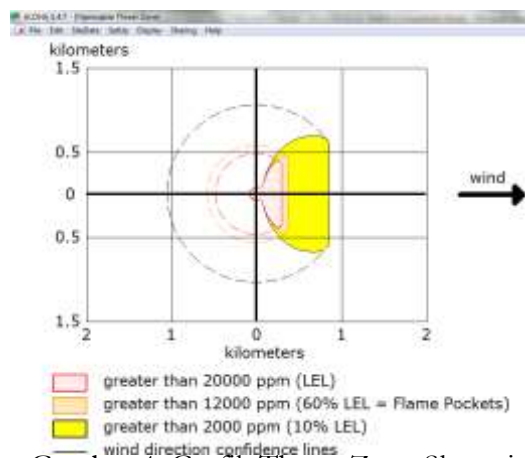
No	Data	Skenario		
		1	2	3
1	Bahan Kimia	LPG	LPG	LPG
2	Beda Arada	50 mm	2 mm	57 mm
3	Flow Rate	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>
4	Temperature	20°C	20°C	20°C
5	Kecepatan	9 m/s	1 m/s	9 m/s
6	Bentuk Tank	Spherical	Spherical	Spherical
7	Inner Diameter Tank	1500 mm	1500 mm	1500 mm
8	Flow Rate 1500 mm	0.4 m <sup>3</sup>	0.4 m <sup>3</sup>	0.4 m <sup>3</sup>
9	Temperature 1500 mm	20°C	20°C	20°C
10	Volume Gas Released	90 m <sup>3</sup>	90 m <sup>3</sup>	90 m <sup>3</sup>
11	Volume Gas Released	48 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	48 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	48 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
12	Radius of the Cloud	0 m	0 m	0 m

### Simulasi sebaran gas

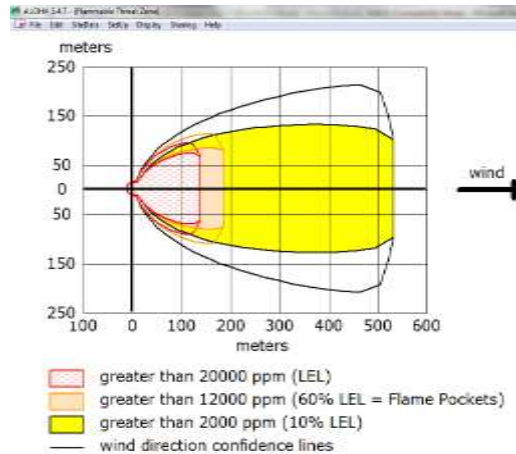
Simulasi ini akan menggunakan program ALOHA yang dikeluarkan oleh EPA Amerika Serikat, program ini akan membantu untuk mendapat gambaran sejauh mana sebaran gas pada scenario *worst case* yang sebelumnya sudah diidentifikasi dalam SLRA. Simulasi ini juga akan menjawab apakah sebaran kebocoran gas akan berdampak pada wilayah permukiman terdekat yang berjarak 700 m dari lokasi titik bocor. Berikut merupakan hasil simulasi :



Gambar 3. Grafik Threat Zone Skenario 1



Gambar 4. Grafik Threat Zone Skenario 2



Gambar 5. Grafik Threat Zone Skenario 3

### Mapping

Setelah melakukan simulasi menggunakan program ALOHA terhadap 3 skenario yang sebelumnya sudah ditentukan maka didapatkan hasil berupa grafik *threat zone* yang mana akan di *mapping* menggunakan program MARPLOT yang juga dikeluarkan oleh EPA Amerika Serikat. Tujuan *mapping* adalah untuk mempermudah pembacaan dan pengartian grafik tersebut, *mapping* akan menggunakan basis data peta digital yang dikeluarkan oleh Google.inc, dimana peta akan ditampilkan dalam bentuk peta satelit maupun peta jalan, tetapi untuk penelitian ini akan ditampilkan dalam peta satelit, hal ini bertujuan untuk mendapatkan visualisasi yang lebih lengkap, dimana pembaca dapat mengetahui bagaimana kepadatan permukiman serta kondisi lingkungan sekitar kebocoran. Berikut hasil mapping untuk tiga skenario :



Gambar 6. Mapping Skenario 1

\* Corresponding author

*E-mail addresses : sandbandriant@gmail.com*



Gambar 7. Mapping Skenario 2



Gambar 8. Mapping Skenario 3

Setelah dilakukan analisa perbandingan diantara ke tiga skenario yang telah di simulasikan diatas maka bisa dilihat sebaran terjauh dan terluas pada skenario 2 dimana data atmosfer menggunakan data terendah yaitu kecepatan angin sebesar 2 Knot dan temperatur sebesar  $25^{\circ}\text{C}$ . Pada skenario 2 didapatkan hasil sebaran gas dari kebocoran pada LPG storage tank V500/501 manhole 24" sejauh 862 m untuk level 10%LEL (kuning) dan 373 m untuk level 60%LEL (oranye), yang mana menunjukkan bahwa sebaran gas masuk pada wilayah permukiman terdekat sejauh 700 m dari pusat kebocoran, wilayah permukiman bisa dikatakan berpotensi rendah terhadap gas terbakar karena masuk pada level 10%LEL (kuning). Secara umum ALOHA menetapkan level paling berbahaya pada 60%LEL (kuning) yang punya kecenderungan konsentrasi gas naik hingga level yang memenuhi syarat untuk gas dapat terbakar.

Sebaran gas akibat kebocoran LPG storage tank V500/501 manhole 24" berdampak kesehatan pada wilayah permukiman sejauh 700 m dari pusat kebocoran, konsentrasi gas LPG pada lokasi outdoor mencapai 3090 ppm, dimana nilai tersebut berada diatas nilai LPG IDLH (Immediately Dengerous to Life or Health) sebesar 2000 ppm. Gas LPG tidak termasuk gas beracun tetapi jika melebihi nilai IDLH maka dapat menyebabkan sesak nafas karena turunnya kadar oksigen. Sebaran gas pada semua level justru masuk ke wilayah PLTU Gresik yang mana merupakan objek vital negara, karena fungsi strategisnya dalam penyediaan listrik jawa dan bali. Dampak apa yang ditimbulkan pada PLTU Gresik masih perlu dilakukan study lanjutan, dikarenakan PLTU merupakan wilayah dengan kompleksitas yang tinggi serta memiliki potensi bahaya yang bervariasi.



Kebocoran gas LPG seperti simulasi diatas selain berpotensi membahayakan lingkungan juga berpotensi menyebabkan kerugian langsung pada kilang LPG, kebocoran gas LPG menyebabkan hilangnya gas ke lingkungan yang mana memiliki potensi kerugian secara finansial.

Jikadalam skenario 1 gas LPG yang keluar dari titik bocor diperkirakan sebanyak 218.900 Kg/Jam, yang jika dikonversikan dalam nilai uang dengan patokan harga LPG base on ARAMCO Desember 2017 sebesar US \$585/MT, maka nilai potensi kerugian akibat hilangnya gas LPG ke lingkungan adalah sebesar US \$128.056/Jam atau setara dengan Rp. 1,66 Milyar/Jam. Nilai ini belum memperhitungkan kerugian lain seperti kilang LPG yang *shut down* akibat kebocoran serta kerugian lain yang terkait dengan pihak ke 2 dan ke 3.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan, ditemukan 297 potensi bahaya terkait kebocoran gas pada fasilitas kilang LPG Gresik, dimana satu diantaranya memiliki resiko tertinggi yaitu pada sumber bahaya LPG product tank V500/501 dikarenakan kebocoran pada *manhole* 24". Titik kebocoran ini ditentukan sebagai *worst case* kebocoran gas dan dilakukan simulasi sebaran kebocoran menggunakan program ALOHA. Dari simulasi sebaran kebocoran gas menggunakan program ALOHA, didapatkan hasil sebaran gas terjauh dan terluas pada skenario 2 dimana menggunakan data atmosfer terendah, sebaran pada skenario 2 masuk ke wilayah permukiman pada level kuning 10 %LEL dengan jarak sebaran gas dari pusat kebocoran sejauh 862 m. Potensi terbentuknya VCE pada wilayah permukiman relatif rendah dikarenakan konsentrasi gas yang rendah

#### Daftar Pustaka

- [1]. Assael, Marc J., Kakosimos, Konstantinos E. (2010), *Fire explosion toxic gas dispersion – effect calculation & risk analysis*, CRC press, USA, **C**, 67-195
- [2]. BP. (2007), *Safe handling of light end*, BP process safety series, IchemE, UK 4-8.
- [3]. Brambilla S., Totaro R., Manca D. (2009), *Simulation of LPG release, dispersion & explosion in Viareggio railway accident*, Politecnico di Milano, Italy.
- [4]. CCPS. (2012), *Guidelines for evaluating process plant building for external explosions fires & toxic releases*, Wiley, USA, **5**, 74-77
- [5]. Hyatt, N. (2003), *Guidelines for process hazard analysis hazard identification & risk analysis*, Dyadem press, Canada, **10**, 1-4

---

\* Corresponding author

E-mail addresses : sandhandriant@gmail.com

- [6]. Kementrian ESDM. (2016), Statistik minyak dan gas bumi, Dijen Migas ESDM, Indonesia.
- [7]. NOAA. (2013), *ALOHA technical documentation*, Department of commerce, NOAA, USA, 1-81