

## ANALISIS RISIKO KEBOCORAN PADA *SULFUR FURNACE* PABRIK ASAM SULFAT DI PERUSAHAAN PENGHASIL PUPUK

Tya Dwi Rahayu Waningsih<sup>1)</sup>, Agung Nugroho<sup>2)</sup>, dan Mey Rohma Dhani<sup>3)</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Permesianan Kapal, Prodi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik  
Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Surabaya, 60111

<sup>2,3</sup> Jurusan Teknik Permesianan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia  
Kampus ITS, Surabaya, 60111

E-mail: tyadwirw@gmail.com

### Abstract

*SO<sub>2</sub> is a toxic gas that has heavier density than air. SO<sub>2</sub> is produced from sulfur furnace of sulfuric acid plant in fertilizer company which it has risk of gas leakage moreover SO<sub>2</sub> is one kind of corrosive material. The purpose of this research are to identify hazards in sulfur furnace, to determine the gas leak scenario, calculate the risk of gas leakage and giving prevention and mitigation measures for leakage. This research uses HAZOP method to identify hazards in sulfur furnace. Scenario determination according to QRA. The probability value of consequences could be obtained from probit analysis then multiply it with frequency of occurrence based on OGP to determine the value of SO<sub>2</sub> leakage risk. Then prevention and mitigation actions determined by root cause analysis of SO<sub>2</sub> leakage in the sulfur furnace from FTA method. The result of this research shows based on review HAZOP, SO<sub>2</sub> leakage is one of the consequence that has high risk. Scenario based on realistic case with diameter leakage hole of 180mm and 170mm on connection between pipe and sulfur furnace. The highest risk due to gas leakage is the consequence of toxic dispersion with hole 180mm and risk value  $1,60 \times 10^{-7}$  per year included in accepted category based on ALARP. Researcher provide recommendations such as coating to prevent corrosion, inspection, preventive maintenance and install gas detection.*

**Keywords:** ALARP, FTA, HAZOP, SO<sub>2</sub>, QRA

### Abstrak

SO<sub>2</sub> merupakan gas beracun yang memiliki massa jenis lebih berat dibandingkan udara. SO<sub>2</sub> dihasilkan di dalam *sulfur furnace* pabrik asam sulfat perusahaan penghasil pupuk yang memiliki risiko untuk bocor terlebih SO<sub>2</sub> merupakan material yang korosif. Tujuan dari penelitian ini untuk identifikasi bahaya pada *sulfur furnace*, menentukan skenario kebocoran gas, menghitung tingkatan risiko kebocoran serta tindakan pencegahan dan mitigasi untuk kebocoran. Penelitian ini menggunakan metode HAZOP untuk identifikasi bahaya di *sulfur furnace*. Penentuan skenario kebocoran berdasarkan QRA. Nilai *probability* konsekuensi diperoleh dari hasil *probit analysis* yang selanjutnya dikalikan dengan nilai frekuensi kebocoran sesuai dengan data OGP untuk menentukan nilai risiko kebocoran gas SO<sub>2</sub>. Selanjutnya tindakan pencegahan dan mitigasi ditentukan dengan analisis penyebab dasar kebocoran gas SO<sub>2</sub> pada *sulfur furnace* dengan metode FTA. Hasil dari penelitian ini yaitu kebocoran gas SO<sub>2</sub> merupakan potensi bahaya yang memiliki risiko tinggi dari hasil *review* HAZOP. Skenario kebocoran berdasarkan *realistic case* dengan diameter lubang kebocoran 180mm dan 170mm pada sambungan pipa dengan *sulfur furnace*. Risiko tertinggi akibat kebocoran pada konsekuensi dispersi gas dengan lubang sebesar 180mm dan nilai risiko  $1,60 \times 10^{-7}$  pertahun masuk dalam kategori risiko dapat diterima dengan konsep ALARP. Peneliti tetap memberikan rekomendasi berupa *coating* untuk mencegah korosi, inspeksi, *preventive maintenance* dan pemasangan deteksi gas.

**Kata Kunci:** *ALARP, FTA, HAZOP, SO<sub>2</sub>, QRA*

## PENDAHULUAN

Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) merupakan zat kimia yang berwujud gas tidak berwarna, mudah larut dalam air, korosif serta beracun dan memiliki massa jenis lebih berat dibandingkan dengan udara (Winardi, 2014). SO<sub>2</sub> bersifat racun karena dapat menyebabkan pembengkakan paru-paru dan melumpuhkan sistem pernapasan bagi manusia pada konsentrasi lebih dari 20 ppm (Carson, 2002) gas SO<sub>2</sub> memiliki massa jenis yang lebih berat dibandingkan dengan udara, apabila terlepas ke atmosfer akan terakumulasi di bawah sehingga sangat berbahaya bagi manusia. Industri kimia memiliki potensi bahaya yang relatif besar salah satu diantaranya adalah pelepasan gas beracun (*toxic*) (Crowl & Louvar, 2002). Kemungkinan risiko yang dapat terjadi pada proses pembentukan Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) dalam *sulfur furnace* pabrik asam sulfat adalah kebocoran gas beracun berupa SO<sub>2</sub>. Pada kasus kegagalan proses di Pabrik General Chemical Corp, Richmond pada 2 Mei tahun 2001 yang mengakibatkan sejumlah 506 pon sulfur dioksida terlepas ke atmosfer yang mengakibatkan lebih dari 100 orang penduduk sekitar terpapar dan harus mendapat perawatan di rumah sakit karena mengeluhkan mata dan sistem pernapasan (Sarkar, DelVecchio, Fagan, & Chronicle, 2001).

Terlepasnya gas sulfur dioksida di *sulfur furnace* pabrik asam sulfat pada perusahaan penghasil pupuk memiliki kemungkinan konsekuensi yang sama dengan kejadian di Pabrik General Chemical Corp, Richmond. Konsekuensi berupa kebocoran gas SO<sub>2</sub> yang terjadi pada *sulfur furnace* dapat menyebabkan terganggunya proses pembentukan asam sulfat sebagai bahan baku pupuk di perusahaan penghasil pupuk sehingga dapat menimbulkan kerugian materi yang tidak sedikit. Selain itu bahaya kebocoran gas SO<sub>2</sub> terhadap manusia juga akan mengakibatkan kejadian dan dampak yang fatal, terlebih jarak pekerja dengan *sulfur furnace* sangat dekat. Maka dari itu, penelitian ini difokuskan pada penentuan bahaya dan risiko kebocoran serta penyebab terjadinya kebocoran pada *sulfur furnace* pabrik asam sulfat untuk mendapatkan hasil sebagai upaya pengendalian agar tidak terjadi kasus kebocoran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bahaya pada *sulfur furnace* pabrik asam sulfat, menentukan skenario kebocoran, mengidentifikasi tingkat risiko kebocoran serta menentukan tindakan pengendalian setelah penilaian risiko.

## METODE PENELITIAN

### 2.1 Sulfur Dioksida

SO<sub>2</sub> (*Sulfur Dioxide*) merupakan zat kimia yang berwujud gas tidak berwarna, mudah larut dalam air, korosif, berbau sangat tajam, iritan pada sistem pernafasan pada manusia bahkan dalam konsentrasi yang tinggi bersifat beracun (Carson, 2002). Cidera yang dapat dialami manusia akibat paparan SO<sub>2</sub> adalah iritasi pada hidung dan tenggorokan pada konsentrasi 6 ppm sampai dengan 12 ppm, cidera pada sistem pernafasan yang bersifat *reversible* pada konsentrasi 20 ppm, iritasi pada mata, pembengkakan paru-paru dan kelumpuhan sistem pernapasan pada konsentrasi lebih dari 20 ppm.

### 2.2 Sulfur Furnace

Di dalam *sulfur furnace* terjadi proses pembentukan gas SO<sub>2</sub> (*Sulfur Dioxide*) yang dihasilkan dari pembakaran belerang cair. Kandungan gas SO<sub>2</sub> terbesar berada dalam *sulfur furnace*. Adapun tabel neraca komposisi dari *sulfur furnace* pabrik asam sulfat pada perusahaan penghasil pupuk :

Tabel 1  
Neraca Komposisi Sulfur Furnace

Deskripsi	Prosentase (%)
SO <sub>2</sub>	10,70
SO <sub>3</sub>	0,00
O <sub>2</sub>	10,30
N <sub>2</sub>	79,00

Sumber : Perusahaan Penghasil Pupuk, 2017

### 2.3 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya adalah suatu cara untuk mengidentifikasi suatu material, sistem, proses dan karakteristik *plant* yang dapat menghasilkan konsekuensi yang tidak diinginkan yang diakibatkan dari kecelakaan (AIChE-CCPS, 1992). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah HAZOP (*Hazard and Operability*) untuk mengetahui bahaya-bahaya pada *sulfur furnace* dan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) yang digunakan untuk mengetahui penyebab dasar terjadinya kebocoran gas SO<sub>2</sub> pada sambungan pipa dengan *sulfur furnace* yang selanjutnya digunakan sebagai acuan peneliti menentukan tindakan pencegahan kebocoran.



## 2.4 Wind Rose Plot

Program ini memberikan gambaran kejadian angin pada kecepatan tertentu dari berbagai arah, presentase kecepatan angin serta kecepatan angin minimum dan maksimum.

## 2.5 QRA

QRA merupakan suatu metode yang digunakan untuk analisis risiko dengan cara menggabungkan antara frekuensi dengan konsekuensi dari suatu potensi kecelakaan pada suatu komponen atau sistem operasi. Adapun langkah-langkah utama dalam studi QRA berdasarkan AIChE-CCPS (2000) sebagai berikut :

1. Menentukan runtutan kejadian potensial dan potensial insiden.
2. Evaluasi konsekuensi kejadian dengan *dispersion modelling*. - *Source model*

Digunakan untuk mendeskripsikan laju alir kebocoran, jumlah material yang bocor (atau total waktu kebocoran) dan keadaan material yang bocor.

Laju aliran massa gas yang terlepas dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$Q_m = C_s A P_o \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o} \left[ \left( \frac{P}{P_o} \right)^2 - \left( \frac{P}{P_o} \right)^{2/\gamma} \right]} \quad (1)$$

### - Dispersion model

Pemodelan disperse yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Plume with Continuous Steady-State Source at Height H<sub>s</sub> above Ground Level and Wind Moving and x Direction at Constant Velocity u*

$$(C)_{(x,0,0)} = \frac{Q_m}{u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 - \frac{1}{2} \left( \frac{z}{\sigma_z} \right)^2\right] \quad (2)$$

3. Menentukan frekuensi kejadian

Penentuan frekuensi kebocoran pada penelitian ini dengan berdasarkan *generic database OGP (Oil and Gas Procedures)*. Tabel 2.2 di bawah merupakan data kegagalan untuk *process release pipe frequencies* (permeter year) berdasarkan OGP (2010).

Tabel 2  
Steel Process Pipes

Diameter lubang (mm)	Diameter pipa (inchi)					
	2"	6"	12"	18"	24"	36"
1 s.d 3	5,5E-05	2,6E-05	2,3E-05	2,3E-05	2,3E-05	2,3E-05
3 s.d 10	1,8E-05	8,5E-06	7,6E-06	7,5E-06	7,4E-06	7,4E-06
10 s.d 50	7,0E-06	2,7E-06	2,4E-06	2,4E-06	2,4E-06	2,3E-06
50 s.d 150	0,0E+00	6,0E-07	3,7E-07	3,6E-07	3,6E-07	3,6E-07
> 150	0,0E+00	0,0E+00	1,7E-07	1,7E-07	1,6E-07	1,6E-07
Total	8,0E-05	3,8E-05	3,4E-05	3,3E-05	3,3E-05	3,3E-05

4. Menentukan dampak kejadian terhadap manusia, lingkungan dan properti.
5. Menentukan risiko dengan cara kombinasi antara dampak atau konsekuensi dengan frekuensi.
6. Mengevaluasi risiko yang telah ditentukan.

## 2.6 Probit Analysis

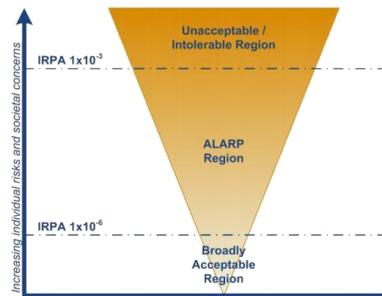
Probit analisis merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan hubungan konsentrasi (dosis) material yang terlepas dengan tingkat bahayanya (Crowl & Louvar, 2002). variabel probit Y dapat ditentukan melalui persamaan:

$$Y = k_1 + k_2 \ln V \quad (3)$$

## 2.7 Penilaian Risiko

Risiko merupakan suatu ukuran dari kerugian yang dialami manusia, kerusakan lingkungan atau kerugian ekonomi dan bahkan gabungan dari seluruhnya yang mungkin terjadi sebagai hasil dari kecelakaan.

*Risiko = Probabilitas x Konsekuensi* (4) Setelah nilai risiko diketahui, maka dilakukan penilaian risiko berdasarkan konsep ALARP (*as low as reasonably practicable*). Gambar 2.1 merupakan piramida terbalik dari kriteria risiko pada ALARP.



**Gambar 1 Kriteria Risiko pada ALARP**  
 Sumber : NOPSEMA, 2015

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Hasil Review HAZOP**

Dari hasil *review* HAZOP pada *sulfur furnace* yang telah ada di perusahaan, diperoleh bahwa kebocoran gas SO<sub>2</sub> merupakan konsekuensi dengan tingkat risiko yang paling tinggi, sehingga konsekuensi tersebut akan dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini.

**3.2 Pemilihan Skenario Kebocoran**

Skenario kebocoran pada *sulfur furnace* menggunakan kasus *realistic case*, kebocoran terjadi pada sambungan pipa 1800-AA(H)-A3-1001-H2 dan pipa 2130/2000-SG-A5-1001 dengan *sulfur furnace* B-1101. Skenario diameter lubang kebocoran sebesar 180mm dan 170mm serta kecepatan angin sebesar 2,1 m/s ke arah timur dan stabilitas atmosfer F.

**3.3 Penentuan Frekuensi Kebocoran**

Penentuan besar frekuensi kebocoran pada sambungan pipa dengan *sulfur furnace* dengan menggunakan data OGP ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3  
 Hasil Penentuan Frekuensi Kebocoran

Skenario Kebocoran	Diameter			Golongan	Frekuensi Kebocoran (permeter tahun)
	Lubang Bocor (mm)	Diameter Pipa (mm)	Diameter Pipa (inch)		
1. Sambungan pipa 1800-AA(H)-A3-1001-H2 ke furnace B-1101	180	900	36"	<i>Steel process pipe</i>	$1,6 \times 10^{-7}$
1. Sambungan pipa 2130/2000-SG-A5-1001 ke furnace B-1101	170	850	33,46"	<i>Steel process pipe</i>	$1,6 \times 10^{-7}$

Sumber : Penulis, 2018

**3.4 Probit Analysis**

Hasil Analisa probit pada diameter kebocoran 180mm menunjukkan bahwa pada radius 23,4m dengan nilai konsentrasi sebesar 17247,82ppm maka nilai *fatality* sebesar 100%. Pada radius 100m dengan konsentrasi sebesar 2583,47ppm maka nilai *fatality* sebesar 74,76%. Pada radius 200m dan nilai konsentrasi 730,94ppmmaka nilai *fatality* sebesar 2,35% serta 0% *fatality* pada radius 219,36m. sedangkan pada diameter kebocoran 170mm menunjukkan bahwa pada radius 42,6m dengan nilai konsentrasi 4733,90ppm maka nilai *fatality* sebesar 99,73%. Pada radius 100m dengan konsentrasi sebesar 2014,66ppm maka nilai *fatality* sebesar 55,64%. Pada radius 200m dan nilai konsentrasi 627,69ppmmaka nilai *fatality* sebesar 1,08% serta 0% *fatality* pada radius 205,9m.

### 3.5 Penentuan dan Penilaian Risiko

Risiko diperoleh dari hasil kali antara nilai frekuensi dari data OGP dengan probabilitas yang diperoleh dari analisa probit.

Tabel 4  
 Hasil Perhitungan Risiko Kebocoran

Skenario	Diameter Lubang Kebocoran	Radius Paparan	C(ppm)	Risiko (Pertahun)
180mm		23,4m	17247,82	1,60 x 10
		100m	2583,47	1,1947 x10
		200m	730,94	3,7600 x10
170mm		42,6m	4733,90	1,59 x 10
		100m	2014,66	8,9024 x10
		200m	627,69	1,7280 x10

Sumber : Penulis, 2018

### 3.6 Rekomendasi

- Tindakan pencegahan

Tindakan pencegahan yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kebocoran adalah pengecatan (*coating*) untuk mencegah korosi, kontrol terhadap kualitas sambungan pengelasan pipa dan pembuatan dokumen hasil inspeksi, *preventive maintenance* dan inspeksi secara berkala pada sambungan pipa dengan *sulfur furnace*, kalibrasi terhadap komponen-komponen pada *sulfur furnace*.

- Mitigasi

Tindakan mitigasi yang dilakukan adalah memasang *wind shock* di area pabrik, memasang detektor gas untuk mendeteksi gas SO<sub>2</sub>

### KESIMPULAN

Hasil *review HAZOP* pada *sulfur furnace* pabrik asam sulfat menunjukkan bahwa potensi bahaya yang memiliki risiko tertinggi adalah pelepasan gas beracun berupa SO<sub>2</sub>. Skenario kebocoran pada *sulfur furnace* menggunakan kasus *realistic case*, kebocoran terjadi pada sambungan pipa 1800-AA(H)-A3-1001-H2 dan pipa 2130/2000-SG-A5-1001 dengan *sulfur furnace* B-1101. Skenario diameter lubang kebocoran sebesar 180mm dan 170mm serta kecepatan angin sebesar 2,1 m/s ke arah timur dan stabilitas atmosfer F. Tingkatan risiko tertinggi akibat kebocoran gas SO<sub>2</sub> adalah kebocoran dengan skenario diameter lubang sebesar 180mm dan paparan gas SO<sub>2</sub> yang terlepas berada pada radius 23,40 m dengan nilai risiko  $1,60 \times 10^{-7}$  pertahun dan pada lubang kebocoran 170mm nilai risiko sebesar  $1,59 \times 10^{-7}$ . Kedua nilai risiko tersebut termasuk dalam kategori risiko dapat diterima berdasarkan konsep ALARP.

Upaya pengendalian untuk kasus kebocoran gas SO<sub>2</sub> antara lain :

- Pencegahan kebocoran gas SO<sub>2</sub> dilakukan dengan melakukan pengecatan (*coating*) untuk mencegah korosi, kontrol terhadap kualitas sambungan pengelasan pipa dan pembuatan dokumen hasil inspeksi, *preventive maintenance* dan inspeksi secara berkala pada sambungan pipa dengan *sulfur furnace*, kalibrasi terhadap komponen-komponen pada *sulfur furnace*.
- Tindakan mitigasi yang dilakukan adalah memasang *wind shock* di area pabrik, memasang detektor gas untuk mendeteksi gas SO<sub>2</sub>.

### DAFTAR PUSTAKA

- AICHe-CCPS. (1992). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* (2nd ed.). New York: American Institute of Chemical Engineers.
- Carson, P. (2002). *Hazardous Chemicals Handbook* (2nd ed.). United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2002). *Chemical Process Safety* (2nd ed.). United States of America: Prentice Hall PTR.
- Fadholi, A. (2012). Analisa Pola Angin Permukaan di Bandar Udara Depati Pangkal Pinang Periode Januari 2000 - Desember 2011. *Jurnal Statistika*, 12(1), 19-28.
- NOPSEMA. (2015). *Guidance Note ALARP*. National Offshore Petroleum Safety and Environmental Management Authority.
- Perusahaan Penghasil Pupuk. (2017). *Standar Operasional Prosedur Pabrik Asam Sulfat*. Gresik.
- Sarkar, P., DelVecchio, R., Fagan, K., & Chronicle. (2001). *SFGATE*. Retrieved December 18, 2017, from <http://www.sfgate.com/bayarea/article/Industrial-accident-releases-toxic-gas-Sulfur-2923960.php> Winardi. (2014). Analisis Dispersi Gas Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) dari Sumber Transportasi di Kota Pontianak.

*Jurnal Teknik Lingkungan.*