

ANALISIS RISIKO KEBOCORAN GAS SULFUR DIOKSIDA DENGAN PENDEKATAN *QUANTITATIVE RISK ANALYSIS* (QRA)

M. Isanaini Hidayatulloh¹, Agung Nugroho², dan Novi Eka Mayangsari³

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

^{2,3}Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS,
Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: mochisanainihidayatulloh@gmail.com

Abstract

Sulfur dioxide considered as toxic by inhalation (TIH) and corrosive gas that is dangerous to health, environment and equipment. High process temperature combined with acidity of sulfur dioxide caused component failure that resulting toxic gas release. Emergency response plan plays an important role in handling toxic gas release. Comprehensively, the evacuation routes were designed based on the risk assessment using failure modes effect and critical analysis (FMECA) and dispersion model with ALOHA software. Flange leakage failure on sulfur furnace (B.1101-1.1) become critical risk with failure rate is 2.931/year, warm zone 1.8 kilometers and the total duration of leakage is 12 minutes

Keywords: ALOHA, FMECA, sulphur dioxide, risk

Abstrak

Sulfur dioksida (SO₂) tergolong sebagai gas *toxic by inhalation* (TIH) dan korosif yang dapat menimbulkan bahaya bagi kesehatan, lingkungan serta peralatan. Temperatur proses yang tinggi serta sifat keasaman gas SO₂ menjadi faktor utama penyebab kegagalan komponen yang berakhir pada pelepasan gas ke lingkungan. Sistem tanggap darurat memainkan peranan penting dalam penanganan pelepasan gas beracun. Secara komprehensif, rute evakuasi dirancang berdasarkan penilaian risiko menggunakan *failure mode effect and critically analysis* (FMECA) dan permodelan dispersi dengan perangkat lunak ALOHA. Hasilnya mode kegagalan *flange leakage* pada *sulphur furnace* (B.1101-1.1) menjadi risiko kritical dengan *failure rate* sebesar 2.931/tahun, *warm zone* sepanjang 1.8 kilometer serta durasi kebocoran total 12 menit.

Kata Kunci: ALOHA, FMECA, sulfur dioksida, risiko

PENDAHULUAN

Asam sulfat merupakan bahan baku dari asam fosfat, dimana dalam proses pembuatannya melibatkan gas sulfur dioksida (SO₂) yang bersifat *toxic* hasil pembakaran belerang cair. Sifat dasar gas SO₂ yang asam ditambah dengan temperatur proses yang tinggi (mencapai 1042 °C), merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan kebocoran gas dari peralatan. Gas SO₂ sendiri tergolong sebagai salah satu gas *toxic by inhalation* (TIH) yang dapat menimbulkan bahaya kesehatan. Sejalan dengan *exposure limitnya* yang rendah, pada konsentrasi 0.6 – 2.0 ppm gas sulfur dioksida dapat menimbulkan rasa terbakar di tenggorokan, batuk, rasa pedih di mata, iritasi kulit hingga konstriksi jalan napas pada kasus penderita asma (U.S. Department Of Health and Human Services, 1998; Crowl and Louvar, 2002; Brown and Dunn, 2007; Mahony dkk., 2008; Zhu and Chen, 2010; Vale, 2011). Berdasarkan uraian fakta diatas maka sangat penting dilakukan penilaian risiko kebocoran gas sulfur dioksida dengan metode *quantitative risk analysis* (QRA). Fokus utama analisis risiko pada penelitian kali ini adalah komponen yang mengalirkan gas SO₂ pada sistem SO₂ *generation* di industri asam fosfat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan QRA menggunakan FMECA dan permodelan dispersi dengan *software* ALOHA. Metode FMECA dipilih untuk melakukan penilaian probabilitas sekaligus penentuan risiko kritikal kebocoran gas SO₂ dalam sistem. Lembar kerja FMECA yang digunakan sesuai dengan *Technical Manual* (TM 5-698-4) (*Headquarters Department of The Army*, 2006). Sedangkan penilaian konsekuensi dilakukan dengan membuat permodelan dispersi tiap-tiap mode kegagalan yang menyebabkan kebocoran gas SO₂. Hasil dari permodelan berupa peta area terdampak (*threat zone*), kemudian diplotkan pada sumber kebocoran. Panjang *warm zone* (dibatasi oleh ERPG-2) serta durasi kebocoran merupakan kriteria yang diamati untuk menentukan nilai konsekuensi (Tseng dkk., 2012). Selanjutnya proses penentuan risiko kritikal dilakukan dengan bantuan *risk mapping* menggunakan matriks risiko perusahaan. Adapun kuantifikasi matriks risiko yang digunakan sebagai dasar penilaian probabilitas dan konsekuensi seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1
 Kuantifikasi matriks risiko perusahaan

PROBABILITAS			KONSEKUENS		
Nilai	Penjelasan	Failure rate/tahun	Penjelasan	Durasi kebocoran	Panjang <i>warm zone</i>
1	Sangat jarang terjadi	≤ 0.333	Tidak berarti	< 5	< 0.694 km
2	Kecil kemungkinan terjadi	≤ 1	Minor	< 5	< 1.09 km
3	Mungkin dapat terjadi	≤ 12	Serius	≥ 5	< 1.09 km
4	Cenderung untuk terjadi	≤ 30	Hampir fatal	< 5	≥ 1.09 km
5	Hampir pasti akan terjadi	≤ 356	Kasastropi	≥ 5	≥ 1.09 km

Sumber: Data sekunder yang diolah, 2017

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian probabilitas dengan metode FMECA diawali dengan melakukan klasifikasi mode kegagalan berdasarkan *record maintenance* perusahaan selama 13,135 jam waktu operasi. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk melengkapi lembar kerja FMECA seperti ditabulasikan pada Tabel 2. Hasil perhitungan berupa nilai *failure rate* (λ), *failure mode ratio* (α) dan *failure effect probability* (β) digunakan sebagai input untuk menghitung nilai *modal critically number* (Cm). Nilai β merupakan hasil *judgement* yang besarnya adalah 1 (satu) untuk seluruh mode kegagalan. Waktu operasi total (ttot) dari awal *commissioning* s/d 2017 adalah 22,200 jam. Nilai Cm sendiri sejatinya digunakan untuk melakukan perangkaan risiko, namun tidak cukup hanya dengan nilai ini. Nilai konsekuensi suatu mode kegagalan juga harus dipertimbangkan, sehingga perangkaan risiko dapat dilanjutkan dengan proses *risk mapping*. Sebagai contoh berikut merupakan perhitungan nilai Cm untuk mode kegagalan *flange leakage* pada

sulphur furnace (B1101-1.1):

$$m = (\lambda)(\alpha)(\beta)(ttot) = (5.329 \times 10^{-4})(0.57)(1)(22,200) = 6.743$$

Tahap berikutnya adalah membuat model dispersi kebocoran gas masing-masing mode kegagalan dengan menggunakan perangkat lunak ALOHA. Data atmosferik diolah dengan *software* WRPLOT dan skenario kebocoran ditentukan terlebih dahulu untuk menyelesaikan *source model* tiap mode kegagalan. Berikutnya dapat dibuat model area terdampak (*threat zone*) dan diplotkan pada sumber kebocoran dengan bantuan *Google Earth* seperti tampak pada Gambar 1. Terdapat 3 (tiga) zona sesuai *toxic exposure limit* (ERPG), dimana zona dengan konsentrasi gas > 25 ppm dikategorikan sebagai ERPG-1 dan ditandai dengan zona berwarna merah (*hot zone*). Sedangkan zona dengan konsentrasi gas > 3 ppm dikategorikan sebagai ERPG-2 dan ditandai dengan warna orange (*warm zone*). Terakhir zona dengan konsentrasi gas > 0,3 ppm dikategorikan sebagai ERPG-3 dan ditandai dengan warna kuning (*cold zone*). Proses penilaian konsekuensi sendiri didasarkan pada panjang *warm zone* (ERPG-2) dan durasi kebocoran yang disesuaikan dengan matriks risiko perusahaan (Tabel 1). Terdapat 5 (lima) mode kegagalan yang tidak dibuat model kebocorannya karena merupakan kejadian hampir terjadi kebocoran, sehingga nilai konsekuensinya adalah 1 (Tabel 3).

Setelah dilakukan penilaian probabilitas dan konsekuensi, terakhir dapat dilakukan analisis risiko dengan *risk mapping* seperti ditampilkan pada Gambar 2. Nilai risiko sendiri diperoleh dari hasil perkalian antara nilai probabilitas dan nilai konsekuensi yang terlebih dahulu ditentukan pada Tabel 3. Hasilnya mode kegagalan *flange leakage* pada *sulphur furnace* (B1101-1.1) menjadi risiko kritikal kebocoran gas SO₂ dengan nilai risiko 15 dan berada pada zona merah (risiko tinggi). Mode kegagalan tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menyusun sistem tanggap darurat dan *emergency action plan* yang sesuai mengingat dampak yang ditimbulkan dari kejadian tersebut adalah yang paling besar. Selain itu, fakta yang menarik adalah durasi kebocoran rata-rata terjadi ≤ 1 (satu) menit. Sedangkan selama ini proses deteksi dan *emergency shutdown* memerlukan waktu > 1 (satu) menit. Rekomendasi yang dapat diusulkan adalah meningkatkan sistem otomatisasi seperti pemasangan sistem monitoring (sensor) dan penambahan *interlock system* sehingga proses *emergency shutdown* dapat berlangsung cepat dan dampak kebocoran dapat diminimalisir.

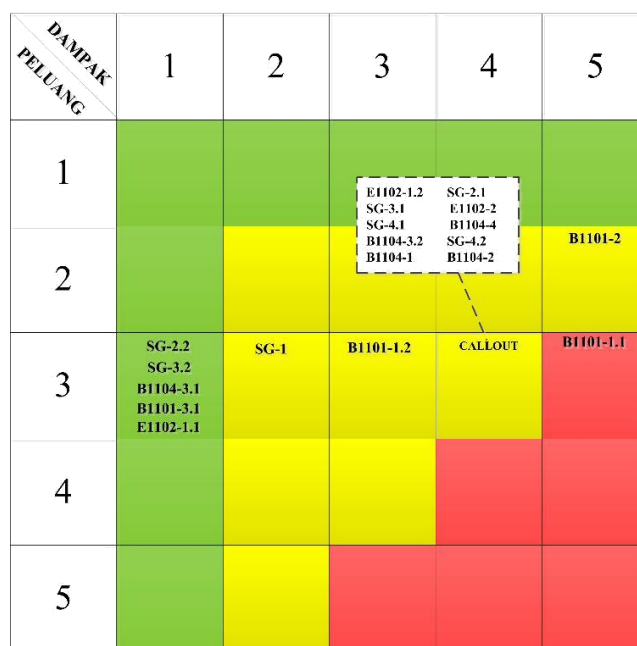
Tabel 2
 Klasifikasi mode kegagalan sistem SO₂ generation (periode 2016 s/d 2017)

No.	Item	Mode Kegagalan	Jumlah Kegagalan (n)	Jumlah Kegagalan tiap mode (x)	Failure mode ratio ($\alpha=x/n$)	Failure rate/jam ($\lambda=n/t$)
Sulphur furnace (B-1101)						
1.	Flange	Leakage	7	4	0.57	5.329 x10 ⁻⁴
		Baut lepas sambungan		3	0.43	
2.	Gasket	Leakage	2	2	1	1.523 x10 ⁻⁴
3.	Manhole	Fire brick rusak	4	2	0.50	3.045 x10 ⁻⁴
		Leakage		2	0.50	
Waste Heat Boiler (B-1104)						
1.	Flange	Leakage	1	1	1	7.612 x10 ⁻⁴
2.	Gasket	Leakage	3	3	1	2.284 x10 ⁻⁴
		Fire brick rusak		1	0.33	
3.	Manhole	Leakage	3	2	0.77	2.284 x10 ⁻⁴
4.	Drain valve	Rupture	3	3	1	2.284 x10 ⁻⁴
Steam Superheater (E-1102)						
1.	Shell	Crack	8	1	0.12	6,091 x10 ⁻⁴
		Leakage		7	0.88	
2.	Manhole	Leakage	3	3	1	2.284 x10 ⁻⁴
Piperwork (SG)						
1.	Jug damper	Leakage	4	2	1	3.045 x10 ⁻⁴
2.	Damper	Leakage	11	7	0.63	8.374 x10 ⁻⁴
		Leak through		4	0.37	
3.	Ducting	Leakage	10	6	0.60	7.613 x10 ⁻⁴
		Crack		4	0.40	
4.	Expansion joint	Leakage	5	3	0.60	3.807 x10 ⁻⁴
		Rupture		2	0.40	

Sumber: Data sekunder yang diolah, 2017



Gambar 1. Permodelan kritikal kebocoran gas sulfur dioksida B.1101-1.1 dengan ALOHA Sumber: Data sekunder yang diolah, 2017



Gambar 2. Risk mapping kebocoran gas SO₂ generation section Sumber: Data sekunder yang diolah, 2017

Tabel 3
 Perhitungan risiko kebocoran gas SO₂ generation section

Nomor Item	Mode kegagalan	Probabilitas / Peluang		Konsekuensi / Dampak			Nilai Risiko
		λ / tahun	Nilai	Warm zone (km)	Durasi kebocoran (min)	Nilai	
E1102-1.2	Shell leakage	3,350	3	1.2	1	4	12
SG-2.1	Damper leakage	4,606	3	1.73	1	4	12
SG-3.1	Ducting leakage	4,187	3	1.73	1	4	12
SG-2.2	Damper leak through	4,606	3	-	-	1	3
SG-1	Jug dumper leakage	1,675	3	0.906	1	2	6
SG-3.2	Ducting crack	4,187	3	-	-	1	3
B1101-1.1	Flange leakage	2,931	3	1.8	12	5	15
B1101-1.2	Flange lepas sambungan	2,931	3	0.881	47	3	9
E1102-2	Manhole leakage	1,256	3	1.2	1	4	12
SG-4.1	Expansion joint leakage	2,094	3	1.73	1	4	12
B1104-4	Drain valve rupture	1,256	3	1.3	4	4	12
B1104-3.2	Manhole leakage	1,675	3	1.4	1	4	12
SG-4.2	Expansion joint rupture	2,094	3	1.2	1	4	12
B1101-2	Gasket leakage	0,838	2	1.8	12	5	10
B1104-3.1	Manhole fire brick rusak	1,256	3	-	-	1	3
B1101-3.2	Manhole leakage	1,256	3	2.4	1	4	12
B1101-3.1	Manhole fire brick rusak	1,675	3	-	-	1	3
B1104-1	Flange leakage	1,675	3	1.3	4	4	12
B1104-2	Gasket leakage	1,675	3	1.3	4	4	12
E1102-1.1	Shell crack	3,350	3	-	-	1	3

Sumber: Data sekunder yang diolah, 2017

KESIMPULAN

Bedasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Penilaian risiko kebocoran gas sulfur dioksida dilakukan dengan FMECA untuk analisis probabilitas, permodelan disperse kebocoran dengan ALOHA untuk analisis konsekuensi dan *risk mapping* untuk penilaian risiko kritikal. Mode kegagalan *flange leakage* pada *sulphur furnace* (B.1101-1.1) menjadi risiko kritikal dengan nilai 15.
2. Permodelan dispersi kebocoran dilakukan dengan skenario *realistic case*. Setiap mode kegagalan dimodelkan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan berupa zona bahaya (*threat zone*). Hasilnya mode kegagalan *flange leakage* pada *sulphur furnace* memiliki konsekuensi paling kritikal dengan *hot zone* sepanjang 0,584 kilometer, *warm zone* sepanjang 1,8 kilometer dan *cold zone* sepanjang 6,1 kilometer serta durasi kebocoran total 12 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Arendt, J. & Lorenzo, D., 2000. *Evaluating Process Safety in the Chemical Industry, A User's Guide to Quantitative Risk Analysis*. New York: AIChE-CCPS.
- Brown, D. F. & Dunn, W. E., 2007. Application of a quantitative risk assessment method to emergency response planning. *Computers & Operations Research*, Volume 34, pp. 1243-1256.
- Crowl, D. A. & Louvar, J. F., 2002. *Chemical Process Safety: Fundamental with Applications*. 2nd penyunt. s.l.:Prentice Hall PTR.
- Headquarters Department of The Army, 2006. *Failure Modes, Effects And Criticality Analysis (FMECA) For Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, And Reconnaissance (C4iSR) Facilities*. 2nd penyunt. Washington DC: Department of The Army.
- Mahony, M. T., Doolan, D., O'Sullivan, A. & Hession, M., 2008. Emergency planning and the Control of Major Accident Hazards (COMAH / Seveso II) Directive : An approach to determine the public safety zone for toxic cloud releases. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 154, pp. 355-365.
- Tseng, J. M., Su, T. S. & Kuo, C. Y., 2012. Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. *Procedia Engineering*, Volume 45, pp. 384-389.
- U.S Department of Health and Human Services, 1998. *Toxicological Profile for Sulfur Dioxide*. Georgia: Agency for Toxic Substance and Disease Registry.
- Vale, A., 2011. Sulphur dioxide. *Medicine*, 40(3), p. 158.
- Zhu, Y. & Chen, G., 2010. Simulation and assessment of SO₂ toxic environment after ignition of uncontrolled sour gas flow of well blowout in hills. *Journal*, Volume 178, p. 144-151.

(Halaman ini sengaja dikosongi)