

# Penilaian Risiko dengan Metode Layer of Protection Analysis pada Unit Proses Oksidasi di Perusahaan Kimia

Febriano Tri Adinda Putra<sup>1</sup>, Agung Nugroho<sup>2\*</sup> dan Galih Anindita<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: agung.nugroho@ppns.ac.id

## Abstrak

Proses pembuatan *Phthalic Anhydride* (PA) menggunakan bahan baku utama yaitu *Ortho Xylene* (OX) dan udara. Salah satu proses penting dari pembuatan PA adalah unit proses oksidasi. Reaktor pada proses oksidasi memiliki tingkat risiko bahaya yang tinggi karena bahan baku, oksidan dan produk yang terlibat dalam proses oksidasi memiliki karakteristik mudah terbakar dan meledak. Sehingga diperlukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui frekuensi skenario yang terjadi dan kecukupan perlindungan. Penelitian ini menggunakan metode Hazard and Operability (HAZOP) untuk mengidentifikasi potensi risiko yang mungkin terjadi dan nilai risiko paling tinggi akan dilanjutkan dengan metode *Layer Of Protection Analysis* (LOPA) untuk mengevaluasi kecukupan lapisan perlindungan yang sudah ada. Hasil dari analisis menggunakan HAZOP yang dilakukan terdapat 6 *consequence* dengan risiko tertinggi dan dari 6 *consequence* terdapat 2 *consequence* yang perlu dilakukan pengendalian setelah dilakukan analisis LOPA. Pengendalian dapat dilakukan dengan penambahan IPL berupa SIF dan dilakukan inspeksi secara berkala serta *maintenance*.

**Kata Kunci:** HAZOP, LOPA, IPL

## Abstract

*The process of making Phthalic Anhydride (PA) uses the main raw materials, Ortho Xylene (OX) and air. One of the important processes of PA manufacturing is the oxidation process unit. The reactor in the oxidation process has a high level of hazard risk because the raw materials, oxidants and products involved in the oxidation process have flammable and explosive characteristics. So that research is needed that aims to determine the frequency of scenarios that occur and the adequacy of protection. This research uses the Hazard and Operability (HAZOP) method to identify potential risks that may occur and the highest risk value will be followed by the Layer Of Protection Analysis (LOPA) method to evaluate the adequacy of existing layers of protection. The results of the analysis using HAZOP conducted there are 6 consequences with the highest risk and of the 6 consequences there are 2 consequences that need to be controlled after the LOPA analysis. Control can be done by adding IPL in the form of SIF and periodic inspection and maintenance.*

**Keywords:** HAZOP, LOPA, IPL

## 1. PENDAHULUAN

Perusahaan yang bergerak dibidang industri kimia di Gresik merupakan satu-satunya industri di Indonesia yang menghasilkan *Phthalic Anhydride* (PA). PA merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku bagi industri plastik dan bahan pembuat cat. Sejak awal produksi pada tahun 1989 sampai dengan sekarang perusahaan tersebut telah memiliki tiga plant PA yang didirikan atas dasar perkembangan teknologi dan permintaan pasar yang cukup tinggi. Proses produksi *Plant PA3*, yaitu unit proses oksidasi adalah salah satu tahap proses produksi yang juga merupakan tahap awal dalam proses produksi *Phthalic Anhydride* (PA). Pada unit proses oksidasi terjadi proses pencampuran bahan baku *Phthalic Anhydride* (PA) yaitu *Ortho Xylene* (OX) dengan udara secara homogen di *air mixer*.

Selanjutnya campuran dari OX dan udara dimasukkan ke dalam reaktor oksidasi yang telah berisi katalis *vanadium pentoksida* sehingga terjadi oksidasi secara parsial dengan suhu 450°C (reaksi eksotermis). Karena reaksi bersifat eksotermis, maka untuk menjaga suhu reaksi digunakan campuran leburan garam yang dipompa menggunakan *Molten Salt Pump*.

Produksi bahan kimia yang dioperasikan dalam kondisi ekstrem (tekanan tinggi, suhu tinggi) memerlukan analisis terperinci tentang semua situasi yang berpotensi berbahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan industri besar dan dengan demikian menyebabkan hilangnya nyawa dan harta benda (Labovská Z, *et al*, 2014). Reaktor pada proses oksidasi memiliki tingkat risiko bahaya yang tinggi karena bahan baku, oksidan dan produk yang terlibat dalam proses oksidasi memiliki karakteristik mudah terbakar dan meledak. Jika terjadi suhu tinggi, gesekan, benturan dan sebagainya, mudah menyebabkan kecelakaan kebakaran dan ledakan, yang mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar dan menyebabkan korban jiwa. (M N Wie, *et al*, 2018). Maka dari itu keselamatan suatu proses dan juga manajemen risiko sangat diperlukan untuk mencegah kecelakaan terjadi (Ejjas Ahammed, *et al*, 2022). Salah satu upaya untuk manajemen risiko dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP (*Hazard and Operability*). Tujuan dari penggunaan HAZOP sendiri adalah untuk meninjau suatu proses atau operasi pada suatu sistem secara sistematis untuk menentukan apakah proses penyimpangan dapat mendorong kearah kejadian atau kecelakaan yang tidak diinginkan. (Erviando, dkk, 2020)

HAZOP secara sistematis mengidentifikasi setiap kemungkinan penyimpangan (*deviation*) dari kondisi operasi yang telah ditetapkan dari suatu plant, mencari berbagai faktor penyebab (*cause*) yang memungkinkan timbulnya kondisi abnormal tersebut dan menentukan konsekuensi yang merugikan sebagai akibat terjadinya penyimpangan serta memberikan rekomendasi atau tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak dari potensi risiko yang telah berhasil diidentifikasi (Nur, 2020). Setelah dilakukan identifikasi, selanjutnya dilakukan analisis risiko dengan menggunakan metode LOPA. *Layer of Protection Analysis* (LOPA) merupakan metode untuk menentukan *Safety Integrity Level* (SIL) dari suatu *Safety Instrumented function* (SIF) dan mengevaluasi lapisan perlindungan lainnya secara individual dengan melihat mitigasi risiko yang ditimbulkannya (Lassen C.A, 2008).

Integrasi HAZOP dengan LOPA akan menjadikan analisis terhadap nilai kecukupan lapisan pelindung yang ada dapat dikuantifikasi secara semi kuantitatif melalui serangkaian perhitungan nilai OCF (*overall consequences frequency*) yang diperoleh dari perkalian nilai initiating event frequency (IEF) dengan nilai PFD setiap lapisan pelindung yang ada. (Nurjaman, dkk, 2021). Penelitian ini akan menggunakan metode HAZOP untuk identifikasi bahaya kemudian dilakukan analisis menggunakan LOPA.

## 2. METODE

### *Hazard and Operability* (HAZOP)

HAZOP digunakan sebagai metode untuk meninjau suatu proses atau operasi pada suatu sistem secara sistematis untuk menentukan apakah proses penyimpangan dapat mendorong kearah kejadian atau kecelakaan yang tidak diinginkan (Munawir, 2010). Metode ini bersifat kualitatif dan melibatkan penyelidikan mengenai suatu rancangan sistem atau proses yang mungkin menyimpang dari tujuan perancangan yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan penyelidikan tersebut, akan diperoleh gambaran apakah penyimpangan atau deviasi yang terjadi dapat mendorong ke arah kejadian yang tidak diharapkan atau potensi bahaya.

Pada tahap ini dilakukan identifikasi bahaya pada alat methanator yang bertujuan untuk mengetahui tingkat risiko bahaya. Sebelum menentukan tingkat bahaya dari penilaian risiko, berikut adalah langkah-langkah dalam menentukan potensi bahaya yaitu :

1. Persiapan Identifikasi HAZOP

Mengumpulkan data dan informasi yang diperlukan untuk dasar pemeriksaan awal. Data yang diperlukan berupa *Process Diagram Flow* (PFD), *Piping and Instrument Diagram* (P&ID) dan sitem komponen.

2. Pemeriksaan HAZOP

Menentukan *study node* dalam subsistem untuk mengetahui bagian apa yang akan dilakukan identifikasi, kemudian menentukan deviasi yang mungkin terjadi. Deviasi dapat diilustrasikan dengan cara menggabungkan *guide word* dan parameter proses. Setelah menentukan deviasi yang dapat menggabungkan *guide word* dan parameter proses, selanjutnya menentukan *safeguard* dan melakukan analisis risiko dari deviasi yang mungkin terjadi dari setiap node. Analisis risiko secara kualitatif dengan menggunakan matrik risiko *likelihood* dan *severity*. Penilaian matrik risiko *likelihood* dan *severity* dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 sebagai berikut :

**Tabel 1.** Skala Frekuensi (*Likelihood*)

Tingkat	Deskripsi	Keterangan	
		Kualitatif	Kuantitatif
5	<i>Almost Certain</i>	Dapat dipikirkan tetapi tidak hanya saat keadaan yang ekstrim	Kurang dari 1 kali per 10 tahun
4	<i>Likely</i>	Belum terjadi tetapi bisa muncul / terjadi pada suatu waktu	Terjadi 1 kali per 10 tahun
3	<i>Possible</i>	Seharusnya terjadi dan mungkin telah terjadi /muncul disini	1 kali per 5 tahun sampai 1 kali per tahun
2	<i>Unlikely</i>	Dapat terjadi dengan mudah, mungkin muncul dalam keadaan yang paling banyak terjadi	Lebih dari 1 kali per tahun sampai 1 kali per bulan
1	<i>Rare</i>	Sering terjadi, di harapkan muncul dalam keadaan yang paling banyak terjadi	Lebih dari 1 kali per bulan

(UNSW Health and Safety, 2008)

**Tabel 2.** Klasifikasi Tingkat Keparahan (*Severity*)

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
1	<i>Insignificant</i>	Tidak terjadi cedera, kerugian finansial sedikit
2	<i>Minor</i>	Cedera ringan, kerugian finansial sedang
3	<i>Moderate</i>	Cedera sedang, perlu penanganan media, kerugian finansial besar
4	<i>Major</i>	Cedera berat $\geq$ 1 orang, kerugian besar, gangguan produksi
5	<i>Catastrophic</i>	Fatal $\geq$ 1 orang, kerugian sangat besar dan dampak sangat luas, terhentinya seluruh kegiatan

(UNSW Health and Safety, 2008)

**Tabel 3.** Risk Matrix

<i>Severity of Consequence</i>	<i>Likelihood of Consequence</i>				
	1 <i>Likely</i>	2 <i>May occur</i>	3 <i>Not likely</i>	4 <i>Very Unlikely</i>	5 <i>Not Probable</i>
A	1	1	2	3	NP
B	1	2	3	4	NP
C	3	3	4	4	NP
D	4	4	4	4	NP
E	NH	NH	NH	NH	NH

Sumber : Data Perusahaan, 2024

### **Layer of Protection Analysis(LOPA)**

Berdasarkan CCPS (2001) LOPA merupakan alat semi kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis dan menilai risiko. LOPA digunakan dalam mengevaluasi kecukupan lapisan pelindung dan dapat menentukan kinerja langkah alternatif yang diperlukan diluar SIS, serta memberikan dasar yang konsisten untuk menilai apakah lapisan pelindung yang ada sudah memadai untuk mencapai pengurangan risiko (CCPS, 2001). LOPA dapat secara efektif digunakan pada tiap poin siklus dari sebuah proses atau fasilitas.

LOPA digunakan dalam mengevaluasi kecukupan lapisan pelindung dan dapat menentukan kinerja langkah alternatif yang diperlukan diluar SIS, dan memberikan dasar yang konsisten untuk menilai apakah lapisan pelindung yang ada sudah memadai untuk mencapai pengurangan risiko (CCPS, 2015). Terdapat 5 langkah-langkah dalam penerapan LOPA, yaitu:

1. Mengembangkan Skenario Pada tahap ini adalah pengembangan skenario atau mengurutkan kejadian dari peristiwa kecelakaan, yang meliputi *Initiating Event* kegagalan dari IPL (*Independent Protection Layer*) yang memicu terjadinya konsekuensi yang tidak diharapkan.
2. Identifikasi Frekuensi *Initiating Event* Mengetahui Frekuensi *initiating event* secara normal *Initiating Event Consequence* dinyatakan dalam kejadian per tahun dengan rumus sebagai berikut :  $F_i = \text{failure rate (per tahun)} \times \text{time at risk}$
3. Mengidentifikasi *Independent Protection Layers* (IPL) Pengertian dari *Independent Protection Layers* (IPL) adalah sebuah bagian, sistem atau tindakan yang mampu mencegah skenario/peristiwa yang menyebabkan konsekuensi yang tidak diharapkan atau tindakan dengan memberikan lapisan pelindung pada sistem. Mengidentifikasi IPL pada *safeguard* yang terpasang.
4. Menghitung Frekuensi Skenario Tahap ini merupakan pengidentifikasian skenario dan IPLs (*Independent Protection Layer*) untuk menghitung skenario pada saat mitigasi. Untuk mengetahui frekuensi skenario yaitu  $F_i^c = f_i^1 \times PFD_{IPL} \times \dots \times PFD_{IPL}$
5. Keputusan Skenario Pada tahap ini merupakan kelanjutan dari hasil perhitungan dari tahap sebelumnya dalam membuat keputusan risiko. Keputusan risiko ini sebisa mungkin dibuat untuk mencapai tingkat risiko yang "*As Low As Reasonably Practicable*" (ALARP)

Consequence Category Frequency of Consequence (per year)	Category 1 (E)	Category 2 (D)	Category 3 (C)	Category 4 (B)	Category 5 (A)
10 <sup>-0</sup>	Optional (evaluate alternatives)	Optional (evaluate alternatives)	Action at next opportunity (notify corporate management)	Immediate action (notify corporate management)	Immediate action (notify corporate management)
10 <sup>-1</sup>	Optional (evaluate alternatives)	Optional (evaluate alternatives)	Optional (evaluate alternatives)	Action at next opportunity (notify corporate management)	Immediate action (notify corporate management)
10 <sup>-2</sup>	No further action	Optional (evaluate alternatives)	Optional (evaluate alternatives)	Action at next opportunity (notify corporate management)	Action at next opportunity (notify corporate management)
10 <sup>-3</sup>	No further action	No further action	Optional (evaluate alternatives)	Optional (evaluate alternatives)	Action at next opportunity (notify corporate management)
10 <sup>-4</sup>	No further action	No further action	No further action	Optional (evaluate alternatives)	Optional (evaluate alternatives)
10 <sup>-5</sup>	No further action	No further action	No further action	No further action	Optional (evaluate alternatives)
10 <sup>-6</sup>	No further action	No further action	No further action	No further action	No further action
10 <sup>-7</sup>	No further action	No further action	No further action	No further action	No further action

Gambar 1 Risk Matrix with Individual Action Zone  
Sumber : Center for Chemical Process Safety, 2001

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Evaluasi HAZOP

Pada proses unit oksidasi dilakukan peninjauan bahaya secara bekal, Evaluasi HAZOP dilakukan untuk mengevaluasi potensi bahaya sebelumnya untuk memperhitungkan pengalaman operasional yang terjadi sejak start-up (CCPS, 2008). Berikut pembagian node serta hasil dari evaluasi

HAZOP seperti pada Tabel 3

**Tabel 3.** Evaluasi HAZOP

No	Study Nodes	Deviation	Consequence	Risk
1.	Air mixer dan reaktor oksidasi	5	6	2 (Resiko sedang) dan 4 (Resiko rendah)
2.	Salt system	9	17	2 (Resiko sedang) dan 15 (Resiko rendah)
3.	Reaktor boiler	6	16	16 (Resiko rendah)
4.	Reaktor outlet cooling system	8	14	1 (Resiko sedang) dan 13 (Resiko rendah)
5.	Boiler feed water	9	27	4 (Resiko sedang) dan 23 (Resiko rendah)

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat HAZOP pada unit proses oksidasi dibagi menjadi 5 *study node*. Pada *study node* 1 sampai dengan 5 terdapat 80 *consequence* dimana 9 diantaranya termasuk risiko sedang dan 71 termasuk risiko rendah.

Analisis LOPA

Hasil evaluasi HAZOP didapatkan skenario dengan kategori risiko sedang dan tinggi. Skenario adalah suatu kejadian atau rangkaian kejadian yang tidak direncanakan yang menimbulkan akibat yang tidak diinginkan (CCPS, 2001), Skenario setidaknya memiliki *initiating event* dan *consequence*. Risiko bahaya yang telah teridentifikasi menggunakan metode HAZOP pada unit proses oksidasi selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode LOPA untuk mengetahui kecukupan lapisan pelindung yang ada. Skenario yang dipilih yaitu skenario dengan tingkat risiko tertinggi didapatkan 6 skenario :

1. Skenario 1 *Less/no flow* karena *block valve* pada *NL line* pada reaktor salah menutup
2. Skenario 2 *Wrong flow* pada saluran masuk reaktor yang disebabkan karena kesalahan membuka 1 1/2" *block valves*
3. Skenario 3 *Less/no flow* pada sirkulasi *salt* yang disebabkan karena kegagalan pada pompa *salt*
4. Skenario 4 *Contamination* karena *rupture disc* terbuka saat tidak dibutuhkan
5. Skenario 5 *Less/no flow* pada *WBF deaeration system* yang disebabkan karena kesalahan pompa WBF
6. Skenario 6 *Contamination* karena kebocoran tabung pada pemanas awal

**Tabel 4.** Hasil dari Frekuensi *Initiating Event*, Frekuensi Skenario, dan *Risk Matrix* LOPA

Skenario	Frekuensi <i>Initiating Event</i> (/thn)	Frekuensi Skenario	<i>Risk Matrix</i> LOPA
1	$0,84 \times 10^{-1} \times 1 = 0,84 \times 10^{-1}$	$0,84 \times 10^{-2}$	Action at next opportunity
2	$0,84 \times 10^{-1} \times 1 = 0,84 \times 10^{-1}$	$0,84 \times 10^{-2}$	Action at next opportunity
3	$2,04 \times 10^{-1} \times 1 = 2,04 \times 10^{-1}$	$2,04 \times 10^{-4}$	Optional (evaluate alternative)
4	$0,4 \times 10^{-1} \times 1 = 0,4 \times 10^{-1}$	$0,4 \times 10^{-3}$	Optional (evaluate alternative)
5	$1,2 \times 10^{-1} \times 1 = 1,2 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-4}$	Optional (evaluate alternative)
6	$1,63 \times 10^{-1} \times 1 = 1,63 \times 10^{-1}$	$1,63 \times 10^{-4}$	Optional (evaluate alternative)

Berdasarkan tabel 4 dapat diambil keputusan risiko sebagai berikut

1. Nilai frekuensi pertahun untuk Skenario 1 sebesar  $0,84 \times 10^{-2}$  dengan *severity* kategori 4 termasuk dalam kategori *Action at next opportunity* sehingga perlu ditambahkan IPL dan dilakukan *maintenance*.
2. Nilai frekuensi pertahun untuk Skenario 2 sebesar  $0,84 \times 10^{-2}$  dengan *severity* kategori 4 termasuk dalam kategori *Action at next opportunity* sehingga perlu ditambahkan IPL dan dilakukan *maintenance*.
3. Nilai frekuensi pertahun untuk Skenario 3 sebesar  $2,04 \times 10^{-4}$  dengan *severity* kategori 4 termasuk dalam kategori *Optional (evaluate alternative)* sehingga tidak perlu ditambahkan IPL, alternatif untuk pengurangan risiko dilakukan *maintenance*.
4. Nilai frekuensi pertahun untuk Skenario 4 sebesar  $0,4 \times 10^{-3}$  dengan *severity* kategori 4 termasuk dalam kategori *Optional (evaluate alternative)* sehingga tidak perlu ditambahkan IPL, alternatif untuk pengurangan risiko dilakukan *maintenance*.
5. Nilai frekuensi pertahun untuk Skenario 5 sebesar  $1,2 \times 10^{-4}$  dengan *severity* kategori 4 termasuk dalam kategori *Optional (evaluate alternative)* sehingga tidak perlu ditambahkan IPL, alternatif untuk pengurangan risiko dilakukan *maintenance*.
6. Nilai frekuensi pertahun untuk Skenario 6 sebesar  $163 \times 10^{-5}$  dengan *severity* kategori 4 termasuk dalam kategori *Optional (evaluate alternative)* sehingga tidak perlu ditambahkan

IPL, alternatif untuk pengurangan risiko dilakukan *maintenance*.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu pada identifikasi bahaya dengan menggunakan metode HAZOP terdapat 9 *consequence* yang termasuk dalam resiko tertinggi karena terdapat *consequence* yang sama sehingga yang dilakukan analisis menggunakan LOPA yaitu 6 *consequence*. *Consequence* yang dipilih yaitu *less/no flow* karena *block valve* pada *NL line* pada reaktor salah menutup, *wrong flow* pada saluran masuk reaktor yang disebabkan karena kesalahan membuka 1 1/2" *block valves*, *less/no flow* pada sirkulasi *salt* yang disebabkan karena kegagalan pada pompa *salt*, *contamination* karena *rupture disc* terbuka saat tidak dibutuhkan, *less/no flow* pada WBF *deaeration* system yang disebabkan karena kesalahan pompa WBF, *contamination* karena kebocoran tabung pada pemanas awal. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode LOPA dapat diambil kesimpulan bahwa skenario 1 dan 2 termasuk dalam kategori *Action at next opportunity* sehingga risiko berada pada level yang harus dikurangi. Skenario 3,4,5 dan 6 termasuk dalam kategori *Optional (evaluate alternative)* sehingga hanya diperlukan *maintenance*. Pada skenario yang termasuk kategori *Action at next opportunity*, pengurangan risiko dapat dilakukan dengan penambahan IPL berupa SIF dan dilakukan inspeksi secara berkala serta *maintenance*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Center for Chemical Process Safety (2001). *Layer of protection analysis - simplified process risk assessment*. American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Centre for Chemical Process Safety (CCPS). 3 Park Avenue, New York.
- Center for Chemical Process Safety. (2008). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. New York: American Institute of Chemical Engineers.
- Danko, Matej. dkk. (2019). *Use of LOPA and HAZOP Concepts for Complex Automated Hazard Identification*. DOI: 10.3303/CET1977135
- Darwish, A. S, dkk. (2021). *Applying LOPA and fuzzy logic to identify SIL requirement for safety critical functions in a direct reduction iron industry*.
- Efendi, M. A., Anindita, G., Mayangsari, N. K. (2018). Evaluasi Hazop Untuk Analisis Kebutuhan *Safety Integrity Level* Dengan Metode (Flopa) *Fuzzy Layer Of Protection Analysis* Pada *Waste Heat Boiler Di Industri Asam Fosfat*. Proceeding 2 nd Conference On Safety Engineering, 2581, 630-634
- Ejjas Ahammed, A. R. Soman, B. Gopakumar, V. R. Pramod, G. Madhu,. (2022). *Covariate model-base fault tree analysis for risk assessment in chemical process industries: A case study of a chlorine manufacturing facility*
- Kundari, Noor Anis (2022). *HAZOP Study and SIL Assessment on Yellow Cake Dissolution Process at BATAN's Uranium Refining and Conversion Facility*. AIP Conference Proceedings 2501, 030003 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0095772>
- Labovská, Z, dkk (2014). *Model-based hazard identification in multiphase chemical reactors*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries.
- Lassen, C. A. (2008). *Layer of Protection Analysis (LOPA) for Determination of Safety Integrity Level (SIL)*. Master Project. Departement of Production and Quality Engineering. The Norwegian University of Science of Technology. Snarøya, Norway
- M. N. Wei, L.J Zhang, G. Tao, (2018) *Fire and Explosion Risk Analysis of Oxidation Process Based on FFTA-LOPA Method*
- Munawir, A.(2010). HAZOP, HAZID, VS JSA. Migas Indonesia
- Nur, M. (2020). *Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode Hazard And Operability Study (HAZOP) Di PT. XYZ*, Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri, 4(2), p. 133. doi:10.24014/jti.v4i2.6627.
- Nurjaman, J, Sri Agustina, Widya Ernayati Kosimaningrum. (2021). *Studi analisis risiko pada fasilitas pencampuran dan pengisian di industri minyak pelumas menggunakan integrasi hazop (hazard and operability) dengan lopa (layer of protection analysis)*. Jurnal Integrasi Proses Vol. 10, No. 2 (Desember 2021) 109 – 114

- R. Erviando, I. Safi'i, H. S.-J. J. Manajemen, and undefined (2020). *Analisis Resiko Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Pada PG. Pesantren Baru Menggunakan Metode Hazop*, ojs.unik-kediri.ac.id
- Samia Hariz, Fares Telli. (2019). *The Evaluation of Safety Barriers Using the Method Lopa Case: Haoud Berkaoui in Sonatrach. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. Vol. 7, No. 3, 2019, pp. 68-74. doi: 10.11648/j.ijema.20190703.12
- UNSW health and safety (2008) *Risk Management Program*. Canberra: University of New South Wales.