

## STUDI LOPA (LAYER OF PROTECTION ANALYSIS) PADA EVAPORATION PROCESS PERUSAHAAN BIOETHANOL

**Emerald Edo Pradana Asmono<sup>1)</sup>, Priyo Agus Setiawan<sup>2)</sup>, Mey Rohma Dhani<sup>3)</sup>**

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

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

E-mail: edo.emerald07@gmail.com

### Abstract

This research identifies the hazard of the evaporation process on bioethanol company, because of frequent of deviation in the form of less flow on heat exchanger component due to blocked drain. This study uses the HAZOP (Hazard and Operability Procedure) method to determine the process hazard deviation and determine the risk level of the process hazard. Then the risks that fall into the extreme category will be transformed into the Layer of Protection Analysis (LOPA). After that the LOPA method is used to assess the adequacy of existing IPL (Independent Protection Layer) in mitigating process risk. Based on the result of hazard identification with HAZOP is obtained 4 consequences which have extreme ratio. The four consequences are used as scenarios in the work of LOPA. From the calculation of the four scenarios, one scenario is included in the moderate zone risk level which means that risk is at the level to be reduced, in other words, the existing IPL is insufficient to mitigate the risk. The recommended recommendations for this scenario are the addition of SIF (Safety Instrument Function) to the scenario. In addition, review of scheduling preventive maintenance and regularly do inspection for the components in the evaporation process may also be considered so as to prevent failure that could endanger workers in bio-ethanol companies.

**Keywords:** *Deviation , HAZOP, IPL, LOPA, SIF*

### Abstrak

Penelitian ini melakukan identifikasi bahaya pada proses evaporasi perusahaan bioethanol, karena seringnya terjadi *deviation* (penyimpangan) yang berupa *less flow* pada komponen *heat exchanger* akibat saluran tersumbat. Penelitian ini menggunakan metode (*Hazard and Operability Procedure*) HAZOP untuk mengetahui deviasi bahaya proses dan menentukan tingkat risiko dari bahaya proses tersebut. Kemudian risiko yang termasuk kedalam kategori *extreme* akan ditransformasikan ke dalam *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Setelah itu metode LOPA digunakan untuk menilai kecukupan (*Independent Protection Layer*) IPL yang sudah ada dalam memitigasi risiko proses.. Berdasarkan hasil identifikasi bahaya dengan HAZOP di dapatkan 4 *consequence* memiliki rasio *extreme*. Keempat *consequence* tersebut dijadikan skenario dalam pengerjaan LOPA. Hasil dari perhitungan keempat skenario tersebut, diperoleh 1 skenario yang termasuk ke dalam level risiko *moderate zone* yang berarti risiko berada pada level yang harus dikurangi, dengan kata lain IPL yang sudah ada tidak mencukupi untuk memitigasi risiko. Rekomendasi yang dapat dilakukan terhadap skenario ini adalah dengan cara penambahan SIF (*Safety Instrument Function*) pada skenario tersebut. Selain itu peninjauan ulang terhadap penjadwalan *preventive maintenance* dan inspeksi secara berkala terhadap komponen-komponen pada proses evaporasi dapat pula dipertimbangkan sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan yang dapat membahayakan pekerja di perusahaan bioethanol.

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

## PENDAHULUAN

Perusahaan bioethanol ini merupakan bentuk diversifikasi produk dari pabrik gula milik BUMN yang dibangun dengan tujuan memperbesar pendapatan usaha dan mampu memberi kontribusi positif dalam upaya dalam pemenuhan energi alternatif terbarukan di Indonesia. Pendirian pabrik ini diharapkan mengurangi ketergantungan pada keberadaan bahan bakar minyak (BBM) dengan memanfaatkan energi alternatif. Divisi *refinery* merupakan divisi utama pada proses produksi dimana didalamnya terdapat proses pemisahan yang nantinya akan menghasilkan fuel grade bioethanol. Divisi *refinery* memiliki resiko bahaya yang tinggi karena didalam prosesnya telah terdapat ethanol yang merupakan bahan yang sangat mudah terbakar. Di divisi *refinery* terdapat 3 proses yaitu proses evaporasi, destilasi, dan dehidrasi. Ketiga proses ini memiliki peran yang sangat vital dalam menunjang jalannya proses produksi. Disini yang menjadi sorotan yaitu proses evaporasi karena seringkali terjadi *deviation* (penyimpangan) yang berupa *overheat* dan *less flow* pada komponen *heat exchanger* akibat saluran tersumbat. Kondisi ini sangat berbahaya dan berisiko menimbulkan bahaya ledakan dan terbakar, mengingat terdapat ethanol yang berperan sebagai bahan bakar dan merupakan salah satu unsur dalam segitiga api. Selain itu sistem *protection* yang ada hanya berupa alarm dan sistem kendali manual langsung pada komponen. Karena ketika risiko kegagalan tersebut terjadi pada proses ini, akan memberikan konsekuensi yang buruk bagi perusahaan. Baik konsekuensi dari segi keselamatan pekerja, lingkungan, komersial, mutu, hingga reputasi dari perusahaan tersebut yang akan dipertaruhkan. Sehingga analisis lapisan perlindungan penting dilakukan untuk memastikan bahwa telah terdapat lapisan perlindungan yang cukup untuk memitigasi risiko dari skenario kejadian yang telah ditentukan.

Dari kebutuhan sistem keselamatan pada proses evaporasi inilah, peneliti melakukan penelitian dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Karena dengan metode ini, penelitian bukan hanya dapat menentukan kecukupan dari IPL (*Independent Protection Layer*) namun juga dapat menentukan lapisan perlindungan yang tepat untuk mencegah konsekuensi dari risiko yang tinggi tersebut terjadi (CCPS, 2001). Sebelum melakukan analisis semi-kuantitatif dengan menggunakan metode LOPA, dilakukan identifikasi risiko secara kualitatif dengan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*) untuk mengetahui penyebab kegagalan komponen dari peralatan dan penyimpangan yang terjadi. Pemilihan HAZOP dalam identifikasi bahaya karena objek yang penulis amati adalah objek operasional dan berhubungan dengan proses, selain itu HAZOP merupakan salah satu metode yang mengidentifikasi potensi bahaya yang mengancam keselamatan maupun lingkungan (CCPS, 1992)

## METODE PENELITIAN

### HAZOP (*Hazard and Operability Procedure*)

Dalam penelitian ini metode identifikasi bahaya yang digunakan adalah HAZOP. HAZOP menurut *Center For Chemical Process Safety* (1992), merupakan suatu metode identifikasi bahaya yang sistematis, teliti dan terstruktur untuk identifikasi berbagai penyimpangan yang mengganggu jalannya proses atau operasi dan risiko-risiko yang terdapat pada suatu peralatan yang dapat menimbulkan konsekuensi yang tidak diharapkan, baik bagi manusia, lingkungan maupun fasilitas *plant* atau sistem yang ada. Metode HAZOP memerlukan informasi antara lain PFD (*Process Flow Diagram*), P&ID (*Process and Instrumentation Diagram*), detail dari peralatan, dan proses yang ada dalam sistem.

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

*Layer of Protection Analysis* (LOPA) merupakan alat semikuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis dan menilai risiko. LOPA digunakan untuk mengevaluasi kecukupan lapisan pelindung dan memberikan dasar yang konsisten untuk menilai apakah lapisan pelindung yang ada sudah memadai untuk memitigasi risiko (CCPS, 2001).

### OREDA (*Offshore Reliability Data*)

OREDA *Handbook* tahun 2002 merupakan dokumen yang dimaksudkan untuk perijinan data peralatan yang menarik evaluasi dan meningkatkan keselamatan dan keandalan pada industri minyak dan gas (eksploitasi dan produksi). Kebenaran dari daftar data yang terdapat pada dokumen dijamin hanya pada batas bahwa produsen setiap bab individu, dan sumber – sumber yang lain dapat meyakinkan kebenaran tersebut. Dokumen ini hanya digunakan dengan ruang lingkup dari negara tujuan yang mengadopsi dokumen ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HAZOP (*Hazard and Operability Study*)

Identifikasi bahaya dilakukan dengan menggunakan HAZOP yang dapat mengidentifikasi dan menginvestigasi secara terstruktur pada potensi deviasi operasi-operasi dari kondisi desain yang dapat menimbulkan permasalahan.

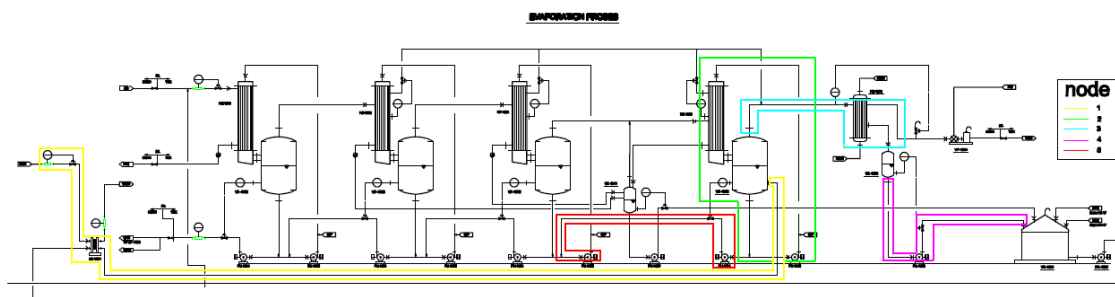
### Penentuan Node HAZOP

Studi HAZOP fokus pada poin spesifik suatu proses atau yang disebut *study nodes* (titik studi) ". Penentuan *node* berasal dari *Process Flow Diagram* PFD dari *Evaporation Process*. Pembagian *nodes* pada *Evaporation Process* dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1  
 Pembagian Study Node HAZOP proses Evaporasi

No.	Keterangan
1.	Transferring Liquid (MBr) dari tanki storage melalui heat exchanger HE-1601 menuju ke Evaporator 4 VE-1642
2.	Transferring Liquid (Mbr) dari Evaporator 4 VE-1642 melalui heat exchanger HE-1641 kembali ke evaporator 4 VE-1642
3.	Transferring Vapour MBr dari Evaporator 4 VE-1641 melalui Heat Exchanger HE-1651 menuju kondensate VE-1552
4.	Transferring Liquid dari kondensat VE-1552 menuju tanki destilasi VE-1681
5.	Transferring Liquid dari pompa PU-1644 menuju pompa sirkulasi PU-1633

Sumber : Data sekunder yang diolah, 2018



Gambar 1. Proses Evaporasi

Sumber : Data sekunder perusahaan bioethanol, 2018

### Pengerjaan HAZOP

- **Study Node 1** : Transferring Liquid (MBr) dari tanki storage melalui heat exchanger HE-1601 menuju ke Evaporator 4 VE-1642

Pada node 1 terdapat 9 deviasi proses yang terdiri dari 1 yang merupakan kategori resiko *extreme* (warna merah), 5 kategori resiko *moderate* (warna kuning), dan 3 *high* (warna orange) .

- **Study Node 2** : Transferring Liquid (Mbr) dari Evaporator 4 VE-1642 melalui heat exchanger HE-1641 kembali ke evaporator 4 VE-1642

Pada node 2 terdapat 8 deviasi proses yang terdiri dari 2 yang merupakan kategori resiko *extreme* (warna merah) 1 kategori resiko *low* (warna hijau), 2 kategori resiko *moderate* (warna kuning), dan 3 kategori resiko *high* (warna orange).

- **Study Node 3** : Transferring Vapour MBr dari Evaporator 4 VE-1641 melalui Heat Exchanger HE-1651 menuju kondensate VE-1552

Pada node 3 terdapat 4 deviasi proses yang terdiri dari 1 resiko yang merupakan kategori resiko *extreme* (warna merah), 2 kategori resiko *moderate* (warna kuning) dan 1 kategori resiko *high* (warna orange).

- **Study Node 4** : Transferring Liquid dari kondensat VE-1552 menuju tanki destilasi VE-1681

Pada node 4 terdapat 6 deviasi proses yang terdiri dari 2 kategori resiko *low* (warna hijau) dan 4 kategori resiko *moderate* (warna kuning).

- **Study Node 5** : Transferring Liquid dari pompa PU-1644 menuju pompa sirkulasi PU-1633

Pada node 5 terdapat 5 deviasi proses yang terdiri dari 1 kategori resiko *low* (warna hijau), 3 kategori resiko *moderate* (warna kuning), dan 1 kategori resiko *high* (warna orange).

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

Identifikasi skenario ini dimulai berdasarkan informasi yang disediakan oleh HAZOP dan menghubungkan skenario berdasarkan informasi dari dokumen lain yaitu PFD (*Process Flow Diagram*) dari *evaporation process*. Dalam sebuah LOPA, skenario adalah penyebab awal yang merupakan *possible consequence* pada HAZOP yang memiliki nilai dari *risk rank* yang tergolong kategori tinggi atau *extreme*

(berwarna merah). Di dalam skenario LOPA pada penelitian ini, terdapat 5 skenario yang merupakan transformasi dari HAZOP yaitu:

1. Aliran Mbr pada pipa transfer kurang
2. *Overheating* pada HE-1641 akibat pompa PU-1643 mati
3. *Overheating* pada HE-1641 akibat pipa jalur Mbr pada HE-1641 buntu
4. Tanki kondensate tidak terisi

Identifikasi frekuensi *initiating Events*

- Aliran Mbr pada pipa transfer kurang

*Initiating event* dari Aliran Mbr pada pipa transfer kurang adalah kandungan organik Mbr mengendap di dalam HE-1601 . Klasifikasi *initiating event* ini dapat merujuk pada tabel OREDA tahun 2002 pada item *machinery and compressors*, dengan nilai *failure rate* ( $\mu$ ) yang didapatkan sebesar 64,65 per 10<sup>6</sup> jam. Dengan menggunakan persamaan Daniel A. Crowl dan Joseph F. Louvar tahun 2002 didapatkan:

$$Failure\ rate\ (\mu) = \frac{64,65}{10^6\ jam} \times \frac{24\ jam}{1\ hari} \times \frac{365\ hari}{1\ tahun} = \frac{0,566334}{tahun}$$

$$Reliability\ (R) = e^{-\mu t};\ dengan\ asumsi\ t = 1\ tahun$$

$$(R) = e^{-\frac{0,566334}{tahun} \times 1\ tahun} = 0,567602459$$

$$Probability\ (P) = 1 - R$$

$$(P) = 1 - 0,567602459 = 0,43239754$$

*Existing IPL (Independent Protection Layer)* pada skenario ini adalah BPCS ( Basic Process Control System) yang berupa Flow Indicator Control (FIC). Nilai PFD yang diberikan untuk FIC ini adalah sebesar 0,1.

Pada skenario ini, *conditional modifier* yang digunakan adalah *probability of ignition* (Pi) dengan nilai Pi sebesar 0,5 yang disesuaikan dengan klasifikasi umum yang mengacu pada penelitian yang dilakukan Lassen pada tahun 2008, dengan asumsi aliran mudah terbakar namun bukan karena penyalaaan sendiri sebagai sebab utamanya.

Perhitungan nilai frekuensi terjadinya skenario digunakan untuk mengetahui seberapa sering skenario terjadi saat operasi normal, sehingga dapat dijadikan sebagai masukan pada pihak perusahaan untuk melakukan pencegahan yang berhubungan dengan keselamatan proses. Nilai skenario yaitu :

$$f^c = f^i \times PFD_{fic} \times PFD_{pi}$$

$$f^c = 0,43239754 \times 0,1 \times 0,5$$

$$f^c = 2,16 \times 10^{-2}$$

Dari hasil perhitungan skenario berada pada level *moderate zone (Action at next opportunity)* yang berarti risiko berada pada level yang harus dikurangi, tindakan pengurangan Dengan dilakukannya penambahan SIF yang memiliki nilai PFD sebesar  $1 \times 10^{-2}$  (CCPS, 2001) maka frekuensi skenario menjadi  $= 2,16 \times 10^{-2} \frac{per\ tahun}{per\ tahun} \times 1 \times 10^{-2} = 2,16 \times 10^{-4} \frac{per\ tahun}{per\ tahun}$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa penambahan SIF dapat mereduksi frekuensi skenario dari  $2,16 \times 10^{-2} \frac{per\ tahun}{per\ tahun}$  yang berada pada level risiko *moderate zone* menjadi *low zone* yaitu sebesar  $2,16 \times 10^{-4} \frac{per\ tahun}{per\ tahun}$ . selain rekomendasi berupa penambahan SIF, peninjauan ulang terhadap jadwal *preventive maintenance* dan inspeksi pada proses evaporasi dapat pula dipertimbangkan sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan yang dapat membahayakan pekerja perusahaan bioethanol.

Untuk hasil perhitungan frekuensi skenario yang lain dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2

Hasil perhitungan frekuensi skenario		
Skenario	Frekuensi Skenario	Level Risiko
2	$1,92 \times 10^{-5}$	Low Zone (Optimal)
3	$5,93 \times 10^{-4}$	Low Zone (Optimal)
4	$1,92 \times 10^{-5}$	Low Zone (Optimal)

Sumber : Data primer yang diolah, 2018

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa pada skenario 2, 3, dan 4 berada pada level risiko *Low Zone (Optimal)* yang berarti risiko berada pada level yang dapat diterima.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis dan pembahasan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :  
 Terdapat 5 *node* dari identifikasi deviasi proses yang dihasilkan dari HAZOP.

- a. Pada *node* 1 terdapat 9 deviasi proses, terdiri dari 5 kategori resiko *moderate*, 3 *high*, dan 1 *extreme*.
- b. Pada *node* 2 terdapat 8 deviasi proses, terdiri dari 1 kategori resiko *low*, 2 *moderate*, 3 *high*, dan 2 *extreme*.
- c. Pada *node* 3 terdapat 4 deviasi proses, terdiri dari 2 kategori resiko *moderate*, 1 *high*, dan 1 *extreme*.
- d. Pada *node* 4 terdapat 6 deviasi proses, terdiri dari 2 kategori resiko *low*, dan 4 *moderate*.
- e. Pada *node* 5 terdapat 5 deviasi proses, terdiri dari 1 kategori resiko *low*, 3 *moderate*, dan 1 *high*.

Terdapat 4 skenario yang ditransformasikan ke dalam LOPA. Satu skenario termasuk ke dalam level resiko *moderate zone* yang berarti risiko berada pada level yang harus dikurangi, dengan kata lain IPL yang sudah ada tidak dapat mencukupi untuk memitigasi resiko. Tiga Skenario termasuk ke dalam level resiko *low zone* yang berarti risiko berada pada level yang masih dapat diterima, dengan kata lain IPL yang sudah ada dan telah mencukupi untuk memitigasi resiko.

Rekomendasi yang dapat dilakukan terhadap skenario yang berada pada level resiko *moderate zone* adalah dengan cara penambahan SIF (*Safety Instrument Function*), selain itu peninjauan ulang terhadap jadwal *preventive maintenance* dan inspeksi pada komponen-komponen pada proses evaporasi dapat pula dipertimbangkan sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan yang dapat membahayakan pekerja perusahaan bioethanol.

#### DAFTAR PUSTAKA

- AS/NZS 4360. (2004). **Risk management**. Australia Standard / New Zealand Standard. Standards Australia International Ltd. Australia
- Center Chemical Process Safety. (1992). **Hazard Evaluation Procedure. Second Edition**. American Institut Of Chemical Engineerin. New York.
- Center Chemical Process Safety.(2001). **Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment, Second Edition**. American Institut of Chemical Engineering. New York.
- Crowl and Louvar. (2002).**Chemical Proses Safety Fundamental With Aplication Second Edition**. Prentice Hall PTR. New Jersey.
- Dowell, Arthur M.(1998). Layer of Protection Analysis for Determining Safety Integrity Level. **ISA Transactions**, 37, 155-165. United State of America: Elsevier Science Ltd.
- Kruger, T. J. (2003). **Cryogenic Air Separation**. University Of Pretoria. Afrika Selatan
- 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.
- SINTEF Industrial Management. (2002). **Offshore Reliability Data Handbook Fourth Edition**. OREDA Participants. Norway.
- Vincoli, Jeffrey W. (2006). **Basic Guide to System Safety Second Edition**. Wiley-Interscience. Florida.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)