

## STUDI *LAYER OF PROTECTION* (LOPA) PADA *STEAM DRUM* DAN *SUPERHEATER* UNTUK PERUSAHAAN PEMBANGKIT BERKAPASITAS 600 MW

Naura' Abida Djamil<sup>1)</sup>, Priyo Agus Setiawan<sup>2)</sup>, dan Arief Subekti<sup>3)</sup>

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

<sup>2,3</sup> Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

E-mail: nauradjamil@gmail.com

### Abstract

One of the important components of a power plant is a boiler. Boilers are directly related to steam drum components and superheater. Examples of cases that have occurred at the Kanci Cirebon PLTU. Boilers at this plant experienced an explosion which was thought to be due to one of the valves in the pipe connected to the boiler which could not withstand high water pressure. The occurrence of failure on the function of the Valve impact on the homes of residents who are in the vicinity. This final project aims to provide recommendations with HAZOP for hazard identification as well as LOPA method for evaluating potential hazards, developing accident scenarios, frequency identification, identification of protection layers to determine whether the risk decision can be tolerated or corrective action must be taken. From the HAZOP evaluation on the steam drum and superheater, there are several consequences that have the highest risk level, ie study node 2 No. 2 occurs less level on the steam drum and study node 3 No. 18 overpressure occurred in the main steam outlet superheater. In study node 2 No. 2, SIL value obtained is SIL 0 and study node 3, SIL value obtained is SIL 0. Both do not require further evaluation, but require additional IPL.

**Keywords:** HAZOP, LOPA, IPL, SIL, Boiler

### Abstrak

Salah satu komponen penting dari pembangkit listrik adalah boiler. Boiler secara langsung terkait dengan komponen *steam drum* dan *superheater*. Contoh kasus yang pernah terjadi di PLTU Kanci Cirebon. Boiler di pabrik ini mengalami ledakan yang diduga karena salah satu katup di pipa yang terhubung ke boiler yang tidak dapat menahan tekanan air yang tinggi. Terjadinya kegagalan fungsi pada Valve berdampak pada rumah-rumah penduduk yang berada di sekitarnya. Proyek akhir ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi dengan HAZOP untuk identifikasi bahaya serta metode LOPA untuk mengevaluasi potensi bahaya, mengembangkan skenario kecelakaan, identifikasi frekuensi, identifikasi lapisan perlindungan untuk menentukan apakah keputusan risiko dapat ditoleransi atau tindakan korektif harus diambil. Dari evaluasi HAZOP pada *steam drum* dan *superheater*, ada beberapa *consequences* yang memiliki tingkat risiko tertinggi, yaitu studi node 2 No. 2 terjadi *less level* pada steam drum dan pada studi node 3 No. 18 *overpressure* terjadi pada *main steam outlet superheater*. Dalam studi node 2 No 2, nilai SIL yang didapat adalah SIL 0 dan studi node 3, nilai SIL yang didapat adalah SIL 0. Keduanya tidak memerlukan evaluasi lebih lanjut, tetapi membutuhkan tambahan IPL.

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

### PENDAHULUAN

Salah satu komponen penting pada PLTU adalah boiler. Di dalam boiler terjadi proses pembakaran yang sedikit banyak memiliki efek yang berimbas pada komponen lain. Contoh kasus yang pernah terjadi pada PLTU Kanci Cirebon. Boiler pada pembangkit ini mengalami ledakan yang diduga akibat salah satu *Valve* di pipa yang terhubung dengan boiler tidak bisa menahan tekanan air yang tinggi. Terjadinya

kegagalan pada fungsi *Valve* tersebut berimbas pada rumah warga yang berada di sekitarnya. Hal ini mengharuskan boiler dilengkapi dengan berbagai *safeguard* yang harus bekerja dengan fungsinya agar boiler dapat bekerja dengan normal dan aman. Jika terjadi kegagalan pada fungsi *safeguard*, kerja boiler akan terganggu, proses produksi bisa terhenti dan permintaan konsumen tidak tercapai, ditambah dengan kerugian yang lain.

*Hazard and Operability Study* (HAZOP) bertujuan untuk meninjau suatu proses atau operasi pada suatu sistem secara sistematis untuk menentukan apakah ada penyimpangan yang dapat mendorong kearah kejadian atau kecelakaan yang tidak diinginkan.

*Layer of Protection Analysis* (LOPA) bertujuan untuk memastikan bahwa telah ada lapisan perlindungan untuk melawan kecelakaan pada skenario yang ditentukan. Penggunaan metode LOPA dapat digunakan sebagai solusi untuk menentukan lapisan perlindungan apa saja yang harus ada pada boiler.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu adanya cara untuk meminimalkan dan menghindari kemungkinan-kemungkinan penyebab terjadinya bencana kebakaran dan ledakan, tugas akhir ini bertujuan memberikan rekomendasi dengan HAZOP dilakukan identifikasi bahaya serta metode LOPA dilakukan evaluasi potensi bahaya, pengembangan skenario kecelakaan, identifikasi frekuensi, identifikasi lapisan perlindungan hingga penentuan keputusan risiko apakah dapat ditolerir atau harus dilakukan tindakan perbaikan.

## **METODE PENELITIAN**

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

HAZOP merupakan metode untuk mengidentifikasi permasalahan dengan cara yang terstruktur dari pengujian operasi proses yang ada. HAZOP memiliki tujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi dari permasalahan yang dapat menggambarkan risiko untuk personel atau peralatan. Setelah dilakukan objek penelitian, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *review* dan revisi dari hasil sesuai dengan kondisi sekarang atau perlu dilakukan revisi pada metode HAZOP yang telah dilakukan. *Review* dan revisi meliputi semua elemen-elemen pada HAZOP *worksheet* dengan menghubungkan skenario berdasarkan informasi dari dokumen lain yaitu PFD dan P&ID yang telah di *update*.

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

LOPA adalah suatu metode atau 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).

LOPA bisa jadi dianggap sebagai bentuk sederhana dari penilaian risiko kuantitatif yang bisa digunakan setelah analisis bahaya dan operabilitas (HAZOP), dan sebelum risiko kuantitatif analisis (QRA). Perbedaan antara LOPA dan alat lainnya adalah LOPA menganalisis berbagai lapisan perlindungan secara terpisah, dan mitigasi yang mereka timbulkan. LOPA terutama digunakan untuk menentukan tingkat integritas keselamatan (SIL) fungsi instrumentasi keselamatan bersama dengan IEC 61511, namun juga sebagai risiko umum. Alat penilaian untuk mengevaluasi apakah lapisan proteksi dalam suatu sistem cukup memuaskan. Selain itu, beberapa aplikasi lainnya sebagai perencanaan peningkatan modal, investigasi insiden dan pengelolaan perubahan dapat ditemukan.

### ***Offshore Reliability Data* (OREDA)**

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**

### **Pengerjaan HAZOP pada *Steam Drum* dan *Superheater***

Berdasarkan data-data dan analisis yang telah dilakukan, maka di dapat tabel HAZOP *worksheet* untuk komponen *steam drum* terdapat dua komponen *steam drum* memiliki kriteria risiko *high*, satu komponen *extreme risk*, satu komponen *moderate*, dan satu *low risk*.

Berdasarkan data-data dan analisis yang telah dilakukan, maka di dapat tabel HAZOP *worksheet* untuk komponen *superheater* satu komponen *extreme risk*, delapan komponen *high risk*, lima komponen *moderate*, dan sembilan komponen *low risk*.

#### Identifikasi Skenario

Pemilihan skenario ini diambil dari proses *hazard evaluation* yang dilakukan. Skenario yang dipilih pada penelitian ini yaitu skenario dengan tingkat risiko paling tinggi (*Extreme Risk*). Di dalam skenario LOPA pada penelitian ini terdapat 2 skenario.

1. *Level transmitter. Initiating Cause* air umpan dari *economizer* berkurang dan air yang masuk ke dalam *steam drum* telah banyak yang berubah menjadi steam sehingga menyebabkan *overheating* pada dinding pipa air dalam *steam drum* sehingga dapat terjadi kebakaran atau explosion akibat pemanasan terus-menerus.
2. *Pressure Transmitter Main steam outlet Superheater. Initiating Cause* laju aliran superheated vapor yang terlalu cepat, *Temperature* tinggi, sehingga tekanan juga tinggi. Sehingga menyebabkan gangguan atau kerusakan pada pipa-pipa, merusak blade turbin jika tekanan terlalu tinggi dan dapat terjadi kebakaran pada pipa main steam menuju turbin.

#### Identifikasi Initiating Cause & Likelihood (ICL)

Pada *study node* 2 No. 2, yakni pada *steam drum*, terdapat skenario LOPA dengan *Initiating Cause* adalah *Level Transmitter Failure* (kegagalan fungsi level transmitter) termasuk dalam kategori BPCS *instrument loop failure* dengan *initiating likelihood* 0.1 per tahun. (CCPS 2001)

Pada *study node* HAZOP 3, yakni pada *superheater*, terdapat skenario LOPA dengan *Initiating Cause* adalah *Pressure Transmitter Failure* pada *Main steam outlet Superheater* termasuk dalam kategori BPCS *instrument loop failure* dengan *initiating likelihood* 0.1 per tahun. (CCPS 2001)

#### Identifikasi IPL

1. *Study node* 2 No. 2 (Level Transmitter)
  - ✓ *Additional Mitigation Dike* (Bunds), penginstalan *Control Valve to Drain* yang memiliki fungsi sebagai alat pelindung ketika terjadi deviasi berupa *less level* terhadap *steam drum*, sehingga PFD yang diberikan 0.01.
  - ✓ Penginstalan *Level Switch* sehingga PFD yang diberikan sebesar 0.01 yang berfungsi sebagai pengaman saat deviasi *less level* terjadi.
2. *Study node* 3 No. 18 (Pressure Transmitter)
  - ✓ *Additional Mitigation Dike* (Bunds), *Pressure Relief* berupa penginstalan *Pressure Safety Valve* (PSV) yang memiliki fungsi sebagai alat pelindung ketika terjadi deviasi berupa *overpressure* terhadap main steam outlet *superheater*. PFD yang diberikan sebesar 0.01.
  - ✓ Penginstalan *Vent* sehingga PFD yang diberikan sebesar 0.01 yang berfungsi sebagai pengaman saat deviasi *overpressure* terjadi.

#### Identifikasi Conditional Modifier

1. *Study node* 2 No. 2 (Level Transmitter)  
*Probability of Ignition=1*  
*Probability of personal present=0.5*  
*Probability of Fatal Injury=1*
2. *Study node* 3 No. 18 (Pressure Transmitter)  
*Probability of Ignition=1*  
*Probability of personal present=0.5*  
*Probability of Fatal Injury=1*

#### Perhitungan IEL (**Intermediate Event Likelihood**)

1. Skenario *Study node* 2 No.2  
*Initiating Cause* level transmitter gagal  

$$IEL_t = ICL \times PFD_{Control Valve} \times PFD_{level switch} \times P_i \times P_p \times P_{tr}$$

$$= 0.1 \times 0.01 \times 0.01 \times 1.0 \times 0.5 \times 1$$

$$= 5 \times 10^{-6}$$

Dari perhitungan didapatkan  $IEL_t$  sebesar  $5 \times 10^{-6}$  lebih besar dari  $TMEL$  yang nilai  $1 \times 10^{-6}$ . Sehingga lapisan pelindung yang ada dianggap telah ditetapkan oleh perusahaan yaitu belum memadai untuk mitigasi risiko.

$\frac{TMEL}{IEL_t} = \frac{1 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^{-1} (SIL 0)$ . SIL 0 berarti tidak membutuhkan evaluasi lebih jauh namun dibutuhkan untuk menambahkan lapisan pelindung IPL berupa Alarm dengan  $PF_{Alarm} = 1 \times 10^{-1}$  dibutuhkan untuk mampu memitigasi risiko.

2. Skenario *Study node 3 No.18*

*Initiating Cause pressure transmitter gagal*

$$IEL_t = ICL \times PFD_{PSV} \times PFD_{vent} \times P_i \times P_p \times P_{tr}$$

$$= 0.1 \times 0.01 \times 0.01 \times 1.0 \times 0.5 \times 1$$

$$= 5 \times 10^{-6}$$

Dari perhitungan didapatkan  $IEL_t$  sebesar  $5 \times 10^{-6}$  lebih besar dari  $TMEL$  yang nilai  $1 \times 10^{-6}$ . Sehingga lapisan pelindung yang ada dianggap telah ditetapkan oleh perusahaan yaitu belum memadai untuk mitigasi risiko.

$\frac{TMEL}{IEL_t} = \frac{1 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^{-1} (SIL 0)$ . SIL 0 berarti tidak membutuhkan evaluasi lebih jauh namun dibutuhkan untuk menambahkan lapisan pelindung IPL berupa *Rupture Disc* dengan  $PF_{rupture disc} = 1 \times 10^{-2}$  dibutuhkan untuk mampu memitigasi risiko.

**KESIMPULAN**

1. Terdapat beberapa *consequence* yang memiliki tingkat risiko tertinggi, yaitu:
  - a. *Study node 2 No. 2* terjadi *less level* pada *steam drum*
  - b. *Study node 3 No. 18* terjadi *overpressure* pada *main steam outlet superheater*.
2. Frekuensi suatu scenario kecelakaan dapat dihitung dengan menghitung *initiating Event* likelihood (IEL), IEL didapatkan dari perkalian *initiating cause* likelihood dikalikan dengan *probability additional modifier*, dikalikan dengan PFD dari IPL yang terdapat pada masing-masing skenario.
3. Skenario kecelakaan dipilih berdasarkan hasil evaluasi bahaya dengan risiko tertinggi, dan terdapat 2 skenario yang ditransformasikan ke dalam LOPA yaitu skenario pada *study node 2 No. 2* nilai IEL adalah sebesar  $5 \times 10^{-6}$  > dari TMEL yaitu  $1 \times 10^{-6}$  sehingga diperlukan menentukan nilai SIL yang dibutuhkan dan *study node 3 No. 18* nilai IEL adalah sebesar  $5 \times 10^{-6}$  > dari TMEL yaitu  $1 \times 10^{-6}$  sehingga juga diperlukan menentukan nilai SIL yang dibutuhkan.
4. Pada *study node 2 No. 2* dan *study node 3 No. 18* berdasarkan *integrity level* maka SIL yang dibutuhkan adalah SIL 0.

**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.

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.

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.

(halaman ini sengaja dikosongkan)