

## MANAJEMEN RISIKO OPERASIONAL *AMMONIA RECOVERY PLANT* DI PLTU PAITON DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RISK FAILURE MODE & EFFECT ANALYSIS* DAN *FAULT TREE ANALYSIS*

Rieza Pahlevi<sup>1</sup>, A. A. B. Dinariyana Dwi P.<sup>2</sup>

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia<sup>1,2</sup>

Email: riezap@gmail.com<sup>1</sup>

### Abstrak

Dalam industri pembangkitan listrik, kepatuhan terhadap regulasi lingkungan terkait kualitas buangan air limbah sangat penting, khususnya parameter ammonia. Fasilitas *Ammonia Recovery Plant (ARP)* di PLTU Paiton berfungsi sebagai tahap pengolahan intermediate dari *Wastewater Treatment Plant (WWTP)* untuk mengatasi air limbah dengan kandungan ammonia tinggi. Kegagalan operasional ARP dapat mempengaruhi kualitas *effluent* dari WWTP, yang dipantau sesuai *dumping permit* dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) RI. Dari 2020 hingga 2023, tercatat 79 *fault work order* untuk memperbaiki masalah dalam sistem ARP di sistem MAXIMO CMMS, beberapa di antaranya menyebabkan ARP tidak beroperasi lebih dari 1 bulan. Masalah utama adalah kurangnya suku cadang akibat kerusakan berulang pada peralatan yang sama. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi risiko kritis kegagalan operasional ARP dan menentukan solusi pencegahannya. Proses penelitian diawali dengan identifikasi risiko kegagalan operasional menggunakan metode *Risk Failure Modes and Effects Analysis (RFMEA)*, yang menyederhanakan pencarian penyebab kegagalan operasional berdasarkan kriteria penilaian sehingga dapat dilakukan seleksi kegagalan operasional yang pernah terjadi (*risk mapping*). Analisa dilanjutkan dengan metode *Fault Tree Analysis (FTA)* untuk menentukan *basic event* dari kegagalan operasional tersebut. Sebanyak 34 mode kegagalan diidentifikasi, dan dari analisa RFMEA diperoleh 4 mode kegagalan kritis: *Inaccurate pH reading*, Valve Leaks, *WWFD pipeline leaks* pada *Feed Pre-Adjust Systems*, dan *acid injection failure* pada *Chemical Injection Systems*. Risiko kritis ini kemudian dianalisis menggunakan FTA untuk menentukan *basic event* dan langkah mitigasi risiko dalam bentuk *risk control options (RCO)*. Diharapkan mitigasi risiko yang lebih baik dapat mengurangi atau menghindari kerugian dari kegagalan operasional pabrik di masa depan, sebagai bagian dari penerapan manajemen risiko yang efektif.

**Kata Kunci:** Manajemen Risiko, *Ammonia Recovery Plant*, RFMEA, FTA, *Risk Control Options*.

### Abstract

In the power generation industry, compliance with environmental regulations regarding wastewater discharge quality is crucial, particularly concerning ammonia parameters. The Ammonia Recovery Plant (ARP) at the Paiton Power Plant serves as an intermediate treatment stage for the Wastewater Treatment Plant (WWTP) to manage wastewater with high ammonia content. Operational failures of the ARP can negatively impact the effluent quality from the WWTP, which is monitored according to the dumping permit from the Ministry of Environment and Forestry (KLHK) of the Republic of Indonesia. From 2020 to 2023, 80 fault work orders were recorded in the MAXIMO CMMS system to fix issues in the ARP system, some of which caused the ARP to be non-operational for more than a month. One of the main issues was the lack of spare parts due to repeated failures of the same operational equipment. This forms the basis for this study, which aims to identify critical risks of ARP operational failures and determine solutions to prevent their recurrence. The research process began with identifying operational failure risks using the Risk Failure Modes and Effects Analysis (RFMEA) method. This method simplifies the process of finding the causes of operational failures based on required assessment criteria, allowing for the selection of past operational failures (risk mapping). This was followed

---

**How to cite:** Pahlevi, R. & Dwi, A. A. B. D. P. (2024). Manajemen Risiko Operasional *Ammonia Recovery Plant* di PLTU Paiton dengan Menggunakan Metode *Risk Failure Mode & Effect Analysis* dan *Fault Tree Analysis*. *Syntax Literate*. (9)8. <http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i8>

**E-ISSN:** 2548-1398

---

by analysis using the Fault Tree Analysis (FTA) method to identify the basic events from the selected operational failures. A total of 34 failure modes were identified, and RFMEA analysis revealed 4 critical failure modes: inaccurate pH reading, valve leaks, WWFD pipeline leaks in the Feed Pre-Adjust Systems, and acid injection failure in the Chemical Injection Systems. These critical risks were then analyzed using FTA to determine the basic events and develop risk control options (RCO) to mitigate the risks of operational failures. Better risk mitigation is expected to reduce or even prevent losses from operational failures of the plant in the future, as part of effective risk management implementation.

**Keywords:** Risk Management, *Ammonia* Recovery Plant, RFMEA, FTA, Risk Control Options.

## Pendahuluan

Dalam proses industri pembangkitan listrik, kualitas buangan air limbah menjadi salah satu poin kepatuhan perusahaan terhadap ketentuan pemerintah terkait dampak terhadap lingkungan, baik air limbah tersebut merupakan buangan sisa proses maupun bagian dari *auxiliary system* yang harus dibuang ke lingkungan (Kementerian LHK Republik Indonesia, 2009). PT. Paiton Energy (PTPE) sebagai *owner* dari PLTU Paiton Unit 3,7 dan 8 senantiasa menjalankan proses bisnis yang berpedoman pada peraturan dan perundangan yang berlaku di Republik Indonesia dalam segala aspek termasuk kepatuhan lingkungan (*environmental compliance*). Dalam operasional pembangkitannya, PTPE menyerahkan tanggung jawab tersebut kepada PT. Paiton O&M Indonesia (POMI) sebagai perusahaan O&M (*operation & maintenance*) yang menjalankan operasional pembangkitan serta memastikan segala aspek kepatuhan yang terkait dipatuhi dengan baik sehingga operasional bisnis berjalan dengan lancar.

Salah satu parameter kimia yang menjadi bagian dari pengamatan buangan air limbah yang ditetapkan untuk fasilitas *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) PLTU Paiton Unit 3,7 dan 8 adalah *ammonia*. Menyadari kondisi tersebut maka dilakukan pembangunan fasilitas *Ammonia Recovery Plant* (ARP) di PLTU Paiton berfungsi sebagai *intermediate treatment* dari fasilitas WWTP yang digunakan untuk mengolah air limbah dari proses pembangkitan listrik dengan kadar *ammonia* tinggi, mengingat sistem WWTP sendiri tidak didesain bisa digunakan untuk mengolah limbah dengan parameter kimia tersebut.

Kondisi operasi ideal dari sistem tersebut adalah dapat beroperasi sesuai dengan desain yang ditetapkan yaitu minimal 8 jam per hari, dengan berhenti beroperasi apabila dilakukan perawatan yang terjadwal secara sistematis pada *software* IBM® MAXIMO *Computerized Maintenance Management Systems* (MAXIMO), yang digunakan didalam internal POMI untuk melakukan manajemen pemeliharaan terhadap semua aset operasional pembangkitan di PLTU Paiton Unit 3, 7 dan 8. Namun dalam realita di lapangan seringkali ARP mengalami kegagalan operasional yang tidak diharapkan. Selama kurun waktu 2020 – 2023 ada 80 *fault work order* untuk perbaikan berbagai masalah pada sistem tersebut yang tercatat di MAXIMO. Beberapa diantaranya bahkan menyebabkan ARP tidak beroperasi dalam jangka waktu lebih dari 1 bulan. Salah satu penyebab utama dari masalah tersebut adalah *spare parts* yang tidak tersedia akibat dari kerusakan berulang yang terjadi pada peralatan operasional yang sama (George, 2020; Mirboroon & Razavi, 2020).

Kegagalan operasional tersebut tentunya berpengaruh secara langsung terhadap kualitas dari *effluent* WWTP yang merupakan salah satu titik pantau buangan air limbah perusahaan. Sesuai dengan *dumping permit* yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia. Kondisi tersebut tentunya berpengaruh secara langsung terhadap persepsi publik maupun *stake holder* terkait komitmen perusahaan terhadap *environmental compliance*, dan bagaimana penanganan terhadap dampak operasional perusahaan ke lingkungan (Nugroho et al., 2021; Srinivas, 2019).

Keuntungan dari penggunaan metode ini adalah fokus dari Analisa lebih kepada kejadian yang memberikan jumlah kerugian yang besar kemudian dikembangkan *risk control option* (RCO) untuk menghindari kerugian lebih besar di kemudian hari (Firdaus & Irawan, 2017). Didalam proses RFMEA *critical risk score & critical risk value* akan menjadi dua variabel yang

dilakukan deduksi menggunakan *scatter diagram* untuk memilih mana yang memiliki risiko paling tinggi dan mendesak untuk segera dilakukan penanganan, sehingga dapat memudahkan manajemen untuk melakukan pengaturan terkait finansial maupun faktor operasional yang lain. Namun disisi lain penyusunan RCO sebagai langkah evaluasi maupun mitigasi tentunya membutuhkan analisa yang lebih mendalam terkait apa sebenarnya penyebab dari risiko kritikal operasi yang telah diperoleh dari analisa menggunakan metode RFMEA, agar RCO yang disusun tepat saran dan efektif. Kurang komprehensif nya metode RFMEA ini dapat dilihat pada penelitian Purwanggono dan Margarete (2017) yang menggunakan RFMEA sebagai metode penilaian risiko terhadap proyek infrastruktur *underpass*. Dimana setelah proses RFMEA dan risiko kritikal diperoleh, kesimpulan yang kemudian diambil hanya pada perubahan SOP (*Standard Operating Procedure*) saja. Sedangkan dalam penerapan analisa risiko pada sistem industri yang kompleks maka dibutuhkan analisa yang lebih komprehensif untuk memperoleh penyebab utama dari *failure mode* yang dihasilkan dari analisa RFMEA. Sehingga keputusan terkait RCO yang diambil kemudian adalah yang paling sesuai diterapkan (Freeman, 1990; Surange & Bokade, 2022).

Untuk mengakomodasi kekurangan tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan proses analisa tambahan yaitu metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode FTA digunakan untuk menganalisis, menilai, dan mengilustrasikan secara grafik aliran hirarkis dari insiden atau situasi potensial yang dapat berdampak negatif terhadap keandalan dan kegunaan sistem sehingga dapat ditentukan penanganan preventif dari risiko yang terjadi (Mutlu & Altuntas, 2019). Hasil dari analisa FTA memberikan gambaran secara lebih detail mengenai sumber masalah dari risiko kritikal (*TOP Event*) yang terjadi, yang kemudian dilakukan proses deduksi menggunakan bagan detail yang bertujuan memunculkan *basic event* dari sebuah *fault*. *Basic event* sendiri merupakan batas akhir dari proses deduktif bagan FTA yang menunjukkan penyebab utama terjadinya *TOP Event* tersebut (Dytha & Taufik, 2022; Vesely et al., 1981).

Penggunaan kedua metode tersebut juga sejalan dengan tujuan kuantifikasi risiko (*Quantitative Risk Analysis/QRA*) sebagai bentuk dari penerapan manajemen risiko. Dimana penerapan tersebut jamak digunakan pada pabrik kimia untuk membantu mencegah peristiwa yang berpotensi menyebabkan terjadinya kegagalan proses (Berg, 2010; Coleman, 2012). Dengan tahapan mengidentifikasi area-area di mana operasi, teknik, atau sistem manajemen dapat dimodifikasi untuk mengurangi risiko dengan cara yang paling efisien. Tujuan utamanya adalah menyusun tindakan pengelolaan yang tepat berdasarkan perolehan hasil studi dan memastikan fasilitas yang menangani bahan kimia berbahaya dioperasikan secara aman (Freeman, 1990; Yang et al., 2019).

Namun dikarenakan kompleksitas dari proses kimia yang dijalankan maupun sumber daya finansial yang dibutuhkan cukup tinggi, maka diperlukan penyusunan berdasarkan prioritas dari risiko yang berhasil dinilai. Hal ini untuk menghindari ketidaksesuaian penerapan manajemen risiko pada peralatan yang memiliki risiko lebih rendah dibandingkan yang memiliki nilai risiko lebih tinggi (Van Sciver, 1990). Sehingga, tujuan penelitian adalah;

- 1) Melakukan Identifikasi risiko kritikal operasional *Ammonia Recovery Plant* di PLTU Paiton (*Risk Mapping*) beserta dengan level dari risiko tersebut menggunakan metoda RFMEA. Hasil identifikasi tersebut kemudian dilakukan penentuan ranking risiko berdasarkan perhitungan RPN (*Risk Priority Number*) yang dikombinasi dengan perhitungan *Risk Score* untuk menentukan risiko yang bersifat kritikal.
- 2) Melakukan Identifikasi penyebab dari risiko kritikal yang tervalidasi dengan RFMEA dalam bentuk *basic event* dengan menggunakan metoda FTA.
- 3) Menyusun *Risk Control Option* (RCO) terhadap penyebab risiko kritikal yang teridentifikasi, kemudian dilakukan validasi bersama dengan manajemen perusahaan sebagai dasar untuk pencegahan terhadap kegagalan operasional kembali di masa depan.

### **Metode Penelitian**

Data primer dan sekunder adalah dua jenis data yang akan dikumpulkan dan digunakan dalam penelitian ini. Data primer adalah informasi yang dikumpulkan langsung oleh peneliti dari sumber utama di lapangan. Untuk tujuan penelitian ini, data primer termasuk wawancara dan kuesioner dengan karyawan dan staf yang bertanggung jawab untuk menjalankan ARP di PLTU Paiton. Hal tersebut dilakukan sebagai bagian dari internal review agar diperoleh masukan terkait variabel risiko yang bisa diambil untuk penelitian ini.

### **Identifikasi Kegagalan Operasi / Risk Event**

Data lapangan akan digunakan untuk membuat variabel penelitian yang berfokus pada risiko operasional, dan berupa jenis kegagalan operasional yang pernah terjadi selama periode penelitian. Variabel-variabel ini akan diklasifikasikan menurut kategori subsistem yang ada pada ARP.

Setelah berbagai jenis mode kegagalan operasional telah ditemukan dari informasi yang dikumpulkan. Kemudian untuk memahami hubungan dan urutan mode kegagalan yang terkait dengan kegagalan operasional unit, mode mode kegagalan ini akan diklasifikasikan sebagai variabel yang akan dievaluasi untuk menentukan variabel mana yang merupakan risiko kritis. Berikut ini adalah daftar kategori variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini, yang mengikuti daftar peralatan utama dalam subsistem yang terdapat dalam ARP.

- 1) Kegagalan pada *feed pre-adjust system*.
- 2) Kegagalan pada *RCAST system*.
- 3) Kegagalan pada *Ammonum Hydroxide recovery system*.
- 4) Kegagalan pada *membrane contactor system*.
- 5) Kegagalan pada *membrane concentrator system*.
- 6) Kegagalan pada *process cooling system*.
- 7) Kegagalan pada *process heating system*.
- 8) Kegagalan pada *chemical injection system*.
- 9) Kegagalan pada *aqueous ammonia storage tank system*.
- 10) Kegagalan pada *programmable logic controller system*.
- 11) Kegagalan pada *power supply system*.

### **Pemberian Nilai**

Pada langkah ini, diberikan tiga nilai yang esensial. Pertama, nilai *Occurrence / Likelihood* yang bergantung pada seberapa sering mode kegagalan tertentu terjadi. Kedua, nilai *Severity / Impact* yang mencerminkan sejauh mana dampak dari mode kegagalan tersebut. Terakhir, nilai *Detection* yang mengindikasikan sejauh mana tingkat kemudahan dalam mendeteksi kemungkinan terjadinya mode kegagalan. Semua nilai-nilai ini akan diperoleh melalui data lapangan, hasil wawancara, dan juga kuesioner.

### **Pengolahan dan Analisa Data**

Dari data yang berisikan nilai *Occurrence, Severity, Detection* tersebut kemudian digunakan sebagai poin untuk perhitungan *Risk score* dan *Risk priority Number (RPN)* menggunakan perhitungan berikut:

$$RPN = S \times O \times D \quad (3.1)$$

Dimana :

*S* : *Severity Rating*

*O* : *Occurrence Rating*

*D* : *Detection Rating*

Sedangkan *Risk score* diperoleh dari perkalian *Severity* dan *Occurrence*. Dari data kalkulasi tersebut kemudian dilakukan *pareto analysis* untuk mengetahui risiko mana saja yang nilainya melebihi *critical value*. Dimana *critical value* diperoleh dari kalkulasi:

$$\text{Critical Value RPN} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Total Risk}} \quad (3.2)$$

Risiko yang memiliki nilai RPN melebihi *critical value* kemudian dilakukan analisa perbandingan *risk score* dan RPN menggunakan *scatter plot diagram*. Nilai yang paling penting dari kedua diagram Pareto tersebut diidentifikasi, dan kemudian dicari titik pertemuan dari nilai kritikal ini di dalam *Scatter plot*. Dari proses tersebut diperoleh *critical risk event* dari operasional ARP yang membutuhkan mitigasi lebih lanjut untuk pengendalian risiko tersebut.

### Penyusunan Mitigasi Risiko

Dari hasil analisa diatas kemudian dilakukan penyebab kejadian dari risiko kritikal yang berhasil diperoleh dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis*. Setelah penyebab kejadian (*basic event*) diperoleh kemudian disusun *risk control options* yang berisi berbagai metode yang dapat digunakan sebagai mitigasi terhadap risiko yang diperoleh agar tidak terjadi masalah serupa di masa depan.

*Fault Tree Analysis* akan diawali dengan penyusunan model grafis FTA untuk memperoleh gambaran detail dari penyebab kegagalan dari critical risk event yang dianalisa. Setelah membuat model grafis, langkah selanjutnya adalah menganalisa *Fault Tree* secara kualitatif dengan menggunakan Aljabar *Boolean*. Tujuannya adalah *minimal cut set* yaitu basic event (kejadian dasar) yang bila terjadi akan mengakibatkan terjadinya *Top event*. Suatu *cut set* dianggap sebagai minimal jika tidak dapat disederhanakan tanpa menghilangkan sifatnya.

Dari basic event yang diperoleh kemudian dilakukan penyusunan *Risk Control Option* (RCO) dengan menggunakan prinsip hirarki *risk control*, sehingga diperoleh solusi yang dapat diterapkan sebagai mitigasi risiko dari *critical risk event* yang diperoleh dari RFMEA. Validasi *Risk Control Option* (RCO) yang disusun dalam penelitian ini akan dilakukan bersama dengan manajemen terkait, namun untuk implementasi RCO yang disusun dan tervalidasi sepenuhnya hanya dapat diputuskan oleh manajemen internal perusahaan dan berada diluar tanggung jawab peneliti. Hal ini lebih disebabkan perlunya penyusunan ulang Annual Operational dan Capital expenditure oleh manajemen perusahaan.

Untuk memastikan bahwa setiap solusi yang telah disetujui oleh semua pihak dapat diterapkan secara menyeluruh, maka harus dilakukan komunikasi dengan pengambil keputusan (*Decision Maker*) tentang jenis *risk control option* yang akan digunakan untuk melakukan pengendalian risiko. Dengan tujuan untuk mengendalikan dan mencegah setiap risiko yang diidentifikasi dan menghindari kerugian yang mungkin terjadi.

## Hasil dan Pembahasan

### Analisa Data FMEA

Setelah penentuan kriteria untuk perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan *brainstorming* dan pengisian kuosioner berisi 34 mode kegagalan yang kemudian ditentukan *severity*, *occurrence* & *detection rating* nya. *Brainstorming* dan pengisian kuosioner dilakukan bersama seluruh operator WWTP dan *Shift leader* yang dibantu pengisiannya oleh penulis dengan hasil perhitungan RPN dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

**Tabel 1. Perhitungan Risk Priority Number ARP**

Kode	Mode Kegagalan	Severity	Occurrence	Detection	RPN
F3	Valve Leaks	4	3	3	36
F4	WWFD Pipeline leak	4	3	3	36
F9	RCAST Valve stuck	3	3	4	36
F10	Instrument air junction box leaks	3	3	3	27
F15	Membrane Contactor Failure	3	3	3	27

<b>Kode</b>	<b>Mode Kegagalan</b>	<b>Severity</b>	<b>Occurrence</b>	<b>Detection</b>	<b>RPN</b>
F1	<i>Inaccurate Reading of pH</i>	3	4	2	24
F30	<i>Acid Injection Failure</i>	4	3	2	24
F5	<i>Inlet CF Control Valve Stuck</i>	3	2	3	18
F11	<i>RCAST Circulation Pump Problem</i>	3	3	2	18
F16	<i>Membrane Contactor System Pump Failure</i>	3	3	2	18
F20	<i>Concentrate Pump Problem</i>	3	2	3	18
F22	<i>Concentrate Return Control Valve Problem</i>	3	2	3	18
F24	<i>Primary Chilled Water Pump Failure</i>	3	2	3	18
F6	<i>Level Transmitter Problem</i>	3	4	1	12
F12	<i>pH reading failed</i>	3	4	1	12
F13	<i>Bottom Pressure Transmitter Problem</i>	3	4	1	12
F19	<i>Cartridge Filter Blocked</i>	3	2	2	12
F23	<i>pH Reading Problem</i>	3	4	1	12
F26	<i>HX Valve Problem</i>	3	2	2	12
F28	<i>Caustic Pump Failure</i>	3	2	2	12
F29	<i>Acid Pump Failure</i>	3	2	2	12
F33	<i>AAST Line Leakage</i>	4	1	3	12
F2	<i>WWFD Pump not running</i>	3	3	1	9
F7	<i>Temperature Gauge Broken</i>	3	1	3	9
F8	<i>Instrument Air leaks</i>	3	1	3	9
F17	<i>Pressure Transmitter Problem</i>	3	3	1	9
F18	<i>Valve Instrument Air Problem</i>	2	2	2	8
F14	<i>Pump Discharge Flow Transmitter Problem</i>	3	2	1	6
F21	<i>Concentrate Inlet ISV Problem</i>	3	2	1	6
F25	<i>AUX Chiller Temperature Problem</i>	3	1	2	6
F27	<i>Heating Process Control Malfunction</i>	3	2	1	6
F31	<i>Transfer Pump Failure</i>	3	2	1	6
F32	<i>Circulation Pump Failure</i>	3	1	2	6
F34	<i>Circulation Pump Problem</i>	3	2	1	6

Dengan data tersebut, dapat diambil risiko kritis dari operasional yaitu suatu risiko yang memiliki nilai diatas *critical value*. Didalam penelitian ini *critical value* sendiri diperoleh dari perhitungan berikut:

$$Critical\ Value\ RPN = \frac{Total\ RPN}{Total\ Risk} = \frac{512}{34} = 15,06 \tag{4.2}$$

Dari data risiko kegagalan diatas diperoleh 13 mode kegagalan yang memiliki nilai RPN diatas *critical value* sebesar 15,06 yang dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

**Tabel 2. Tabel risiko kritis berdasarkan FMEA**

<b>Kode</b>	<b>Mode Kegagalan</b>	<b>Severity</b>	<b>Occurrence</b>	<b>Detection</b>	<b>RPN</b>
F3	<i>Valve Leaks</i>	4	3	3	36
F4	<i>WWFD Pipeline leak</i>	4	3	3	36
F9	<i>RCAST Valve stuck</i>	3	3	4	36
F10	<i>Instrument air junction box leaks</i>	3	3	3	27

Manajemen Risiko Operasional *Ammonia Recovery Plant* di PLTU Paiton dengan Menggunakan Metode *Risk Failure Mode & Effect Analysis* dan *Fault Tree Analysis*

Kode	Mode Kegagalan	Severity	Occurrence	Detection	RPN
F15	Membrane Contactor Failure	3	3	3	27
F1	Inaccurate Reading of pH	3	4	2	24
F30	Acid Injection Failure	4	3	2	24
F5	Inlet CF Control Valve Stuck	3	2	3	18
F11	RCAST Circulation Pump Problem	3	3	2	18
F16	Membrane Contactor System Pump Failure	3	3	2	18
F20	Concentrate Pump Problem	3	2	3	18
F22	Concentrate Return Control Valve Problem	3	2	3	18
F24	Primary Chilled Water Pump Failure	3	2	3	18

**Analisa Data RFMEA**

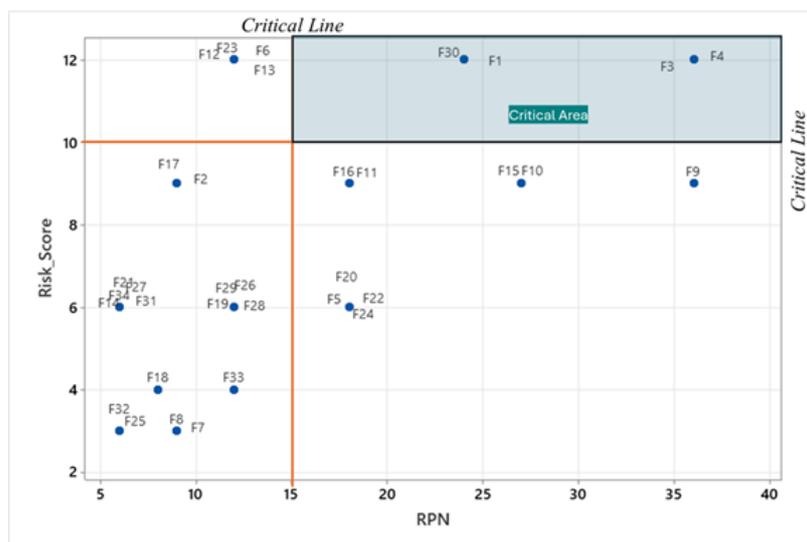
Setelah diperoleh data risiko kritical dari perhitungan FMEA, maka dilanjutkan dengan proses analisa RFMEA. Untuk kalkulasi dengan RFMEA dibutuhkan nilai *risk score* dari masing-masing mode kegagalan, yang diperoleh dari perkalian antara *severity* dengan *occurrence*. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3. Tabel perhitungan risk score**

Kode	Mode Kegagalan	Severity	Occurrence	Risk score
F1	Inaccurate Reading of pH	3	4	12
F2	WWFD Pump not running	3	3	9
F3	Valve Leaks	4	3	12
F4	WWFD Pipeline leak	4	3	12
F5	Inlet CF Control Valve Stuck	3	2	6
F6	Level Transmitter Problem	3	4	12
F7	Temperature Gauge Broken	3	1	3
F8	Instrument Air leaks	3	1	3
F9	RCAST Valve stuck	3	3	9
F10	Instrument air junction box leaks	3	3	9
F11	RCAST Circulation Pump Problem	3	3	9
F12	pH reading failed	3	4	12
F13	Bottom Pressure Transmitter Problem	3	4	12
F14	Pump Discharge Flow Transmitter Problem	3	2	6
F15	Membrane Contactor Failure	3	3	9
F16	Membrane Contactor System Pump Failure	3	3	9
F17	Pressure Transmitter Problem	3	3	9
F18	Valve Instrument Air Problem	2	2	4
F19	Cartridge Filter Blocked	3	2	6
F20	Concentrate Pump Problem	3	2	6
F21	Concentrate Inlet ISV Problem	3	2	6
F22	Concentrate Return Control Valve Problem	3	2	6
F23	pH Reading Problem	3	4	12
F24	Primary Chilled Water Pump Failure	3	2	6
F25	AUX Chiller Temperature Problem	3	1	3
F26	HX Valve Problem	3	2	6
F27	Heating Process Control Malfuction	3	2	6

Kode	Mode Kegagalan	Severity	Occurrence	Risk score
F28	Caustic Pump Failure	3	2	6
F29	Acid Pump Failure	3	2	6
F30	Acid Injection Failure	4	3	12
F31	Transfer Pump Failure	3	2	6
F32	Circulation Pump Failure	3	1	3
F33	AAST Line Leakage	4	1	4
F34	Circulation Pump Problem	3	2	6

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisa perbandingan antara *critical value* yang diperoleh dari perhitungan FMEA berupa RPN dengan *critical value* pada perhitungan *risk score*. Proses analisa perbandingan ini menggunakan bantuan *scatter plot* diagram dengan membandingkan kode kegagalan yang memiliki **RPN diatas *critical value*** sebesar **15,06** dan **risk score minimal 10**. Dengan hasil dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Scatter Plot RPN vs Risk Score

Dari diagram *scatter plot* diatas dapat diketahui bahwa ada 4 mode kegagalan yang masuk dalam kategori kritikal bagi ARP system, dimana pada saat analisa dengan FMEA jumlah mode kegagalan mencapai 13. Hal ini membuktikan bahwa dengan analisa lanjutan yang lebih baik maka dapat diambil prioritas penanganan mode kegagalan yang paling kritikal bagi sebuah sistem. 4 Mode kegagalan tersebut dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Daftar risiko kritikal hasil analisa RFMEA

Kode	Mode Kegagalan	RPN	Risk Score
F1	Inaccurate Reading of pH	24	12
F3	Valve Leaks	36	12
F4	WWFD Pipeline leak	36	12
F30	Acid Injection Failure	24	12

Keempat risiko kritikal tersebut kemudian akan dilakukan analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengetahui penyebab kegagalan tersebut sehingga dapat disusun rencana penanganan berupa *risk control option* agar risiko dapat ditangani dengan baik.

**Analisa FTA untuk menentukan basic event dari risiko kritikal beserta Risk Control Options.**

Fault tree analysis adalah model grafis yang menggambarkan berbagai kombinasi kesalahan/kegagalan (*fault*) secara paralel dan berurutan yang dapat menyebabkan timbulnya peristiwa kegagalan (*failure event*) yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam FTA yang dibuat, setiap risiko kritis ditetapkan sebagai peristiwa utama (*top event*). Proses ini kemudian menghasilkan *basic event* yang merupakan penyebab terjadinya peristiwa utama yang telah dikategorikan sebagai risiko kritis dari sebuah sistem, sehingga langkah-langkah yang tepat dapat diambil untuk mencegah terjadinya risiko kritis tersebut (*risk control options*). *Basic event* yang diidentifikasi mempertimbangkan penyebab masalah dari berbagai sisi (personil, metode kerja, peralatan, dan sebagainya).

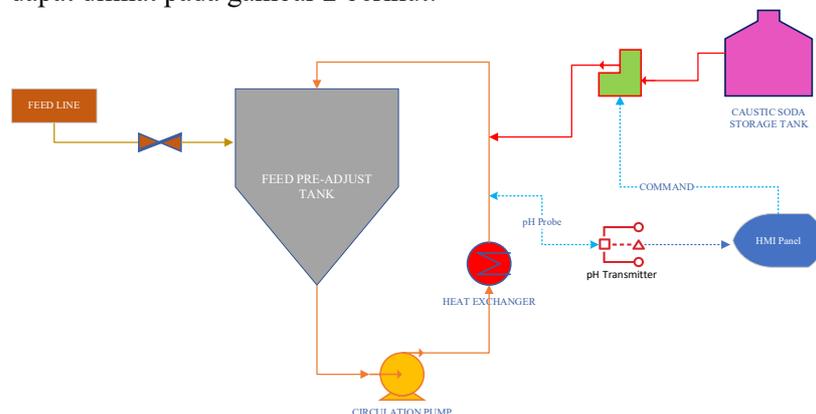
Dari proses analisa awal menggunakan metode RFMEA diperoleh 4 mode kegagalan yang masuk kategori risiko kritikal bagi ARP systems, keempat mode tersebut kemudian dilanjutkan dengan analisa FTA menggunakan pendekatan *qualitative* untuk memberikan penggambaran *top to down event* secara visual sehingga mempermudah pemahaman terkait *basic event (E)* dari mode kegagalan yang terjadi. Data terkait berbagai *event* yang dapat menyebabkan *top event (T)* terjadi penulis dapatkan dari laporan perbaikan yang tercatat pada CMMS, untuk mempersempit fokus pencarian *basic event*.

***Inaccurate Reading of pH pada Feed Pre-Adjust systems.***

Feed pre-adjust system, merupakan skid/bagian awal dari ARP system dimana dalam sistem tersebut ada proses pengaturan pH di kisaran 10,5 hingga 11,5. Metode pengaturan dilakukan dengan injeksi caustic soda pada jalur WWFD *circulation pipe*. Tujuan dari pengaturan pH ini adalah memastikan fasa *ammonium* yang didalam limbah berubah menjadi fasa gas *ammonia* terlarut sesuai dengan reaksi berikut:



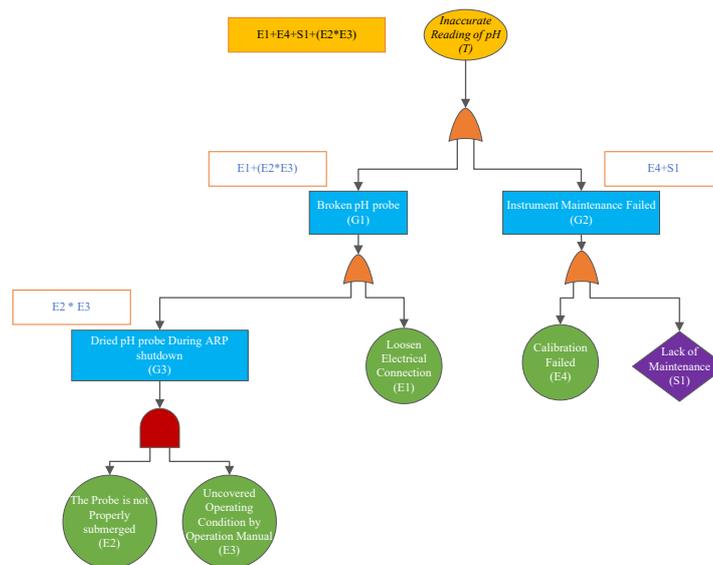
Kontrol terhadap besaran *caustic soda* yang diinjeksikan sangat bergantung pada akurasi dari pembacaan online pH meter, sehingga apabila pembacaan tidak akurat maka kesetimbangan reaksi diatas tidak dapat terjadi. Secara sederhana alur operasional proses injeksi caustic soda pada WWFD dapat dilihat pada gambar 2 berikut:



**Gambar 2. Alur Proses Injeksi Caustic Soda di Feed Pre-Adjust Systems**

Kondisi tersebut dapat mengakibatkan *impurities* dalam limbah seperti *NaCl*, *NaSO<sub>4</sub>* akan berikatan secara kuat dengan *soluble ammonia* yang akan mengalami proses distilasi di R-CAST *skid*. Sehingga akan ada kenaikan *impurities* di *recovered ammonia* yang bisa melebihi batas dan menyebabkan hasil produksi *ammonia* cair tidak dapat digunakan kembali di proses siklus kimia Unit 7&8.

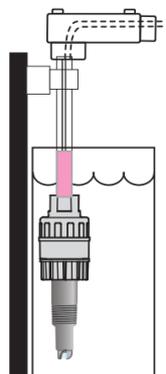
Hasil analisa FTA untuk problem tersebut dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



**Gambar 3. Diagram FTA *Inaccurate pH Reading***

Dari hasil analisa FTA sesuai gambar 3 diatas diperoleh 4 *minimum cut-set (MCS)* yang menjadi kemudian menjadi *basic event* yaitu  $\{E3\}, \{E4\}, \{S1\}, \{E1, E2\}$ . *Risk control options* yang dapat digunakan untuk *basic event* tersebut sebagai berikut:

- 1) Sambungan elektronik yang kurang rapat pada *pH probe* dapat diatasi dengan melakukan pengencangan ulang pada koneksi kabel, jika nantinya problem tersebut masih terjadi kembali maka dapat diatasi dengan penggantian kabel set yang digunakan dengan ukuran yang lebih panjang kemudian ditempatkan dalam *conduit* yang lebih kuat dan melindungi kabel dari gangguan fisik yang mungkin terjadi (*engineering control*).
- 2) Kegagalan proses kalibrasi dan kemungkinan perawatan yang kurang dapat diatasi dengan memastikan bahwa proses kalibrasi dilakukan secara sistematis (terjadwal dan termonitor melalui *CMMS*) dan dilaksanakan dengan merujuk pada buku manual yang disediakan pabrikan (*administrative control*).
- 3) *pH probe* yang tidak terendam dalam larutan ketika *ARP shutdown* dapat diatasi dengan modifikasi *connection port* dari *pH probe* ke pipa *circulation line*. Dari yang semula terpasang langsung pada pipa, maka akan dirubah dengan fabrikasi *probe canister* yang berfungsi sebagai tempat dimana probe akan dipasang. Gambaran sederhana rancangan instalasi dapat dilihat pada gambar 4 berikut:

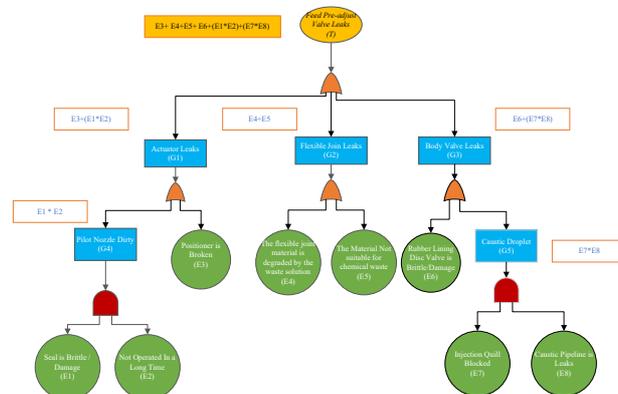


**Gambar 4. Rancangan Instalasi *Probe pH* di *WWFD Circulation Line***

- 1) Dengan instalasi yang baru tersebut diharapkan meskipun ARP dalam kondisi *shutdown* maka *probe* akan tetap terendam larutan sehingga mencegah elektroda menjadi kering dan kemudian rusak (*engineering control*).
- 2) Kondisi operasional yang tidak tercover dengan lengkap pada *operating procedure* dapat diatasi dengan melakukan review ulang seluruh prosedur terkait operasional ARP dan dilakukan penambahan langkah mitigasi operasional untuk kondisi – kondisi yang dapat terjadi ketika *ARP shutdown* (*administrative control*).

**Valve Leak pada Feed Pre-Adjust systems.**

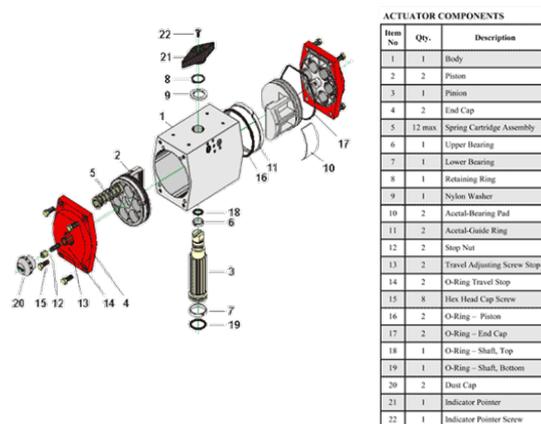
Seperti yang dijelaskan pada bagian proses pengkondisian limbah pada *Feed Pre-Adjust systems* dilakukan secara otomatis. Sehingga berbagai *valve* yang berkaitan langsung dengan proses pengkondisian juga akan bekerja dengan cara yang sama. Namun kondisi operasional ARP yang beberapa kali *shutdown* karena berbagai masalah menyebabkan *valve* tersebut dalam kondisi *standby* (tidak bekerja) sehingga kondisi komponen dari *valve* tersebut akhirnya mengalami degradasi dan berpengaruh langsung pada kinerja *valve*, sedangkan secara desain ARP beroperasi selama 8 jam perhari. Hasil analisa FTA untuk mode kegagalan tersebut dapat dilihat pada gambar 5 berikut:



**Gambar 5. Diagram FTA Feed Pre-Adjust Valve Leaks**

Dari analisa FTA diatas diperoleh 4 MCS yaitu {E3}, {E4}, {E5}, {E1,E2}, {E7,E8}. *Risk control options* yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) *Valve* yang lama tidak beroperasi dapat mengalami degradasi pada komponen, terutama pada *sealing systems* yang berfungsi untuk menahan *debris/dust* dari luar masuk kedalam *body actuator* dan menyebabkan kerusakan pada komponen penting lain seperti *pilot nozzle*, *positioner*, *spring*, *bearing*, dan sebagainya. Penampang detail dari *valve actuator* dapat dilihat pada gambar 6 berikut:



**Gambar 6. Detail komponen pada valve actuator (pneumatic)**

Selain itu, kondisi lingkungan yang rentan adanya bahan/uap kimia juga dapat menyebabkan kerusakan yang sama. Solusi yang dapat diterapkan pada mode kegagalan diatas dengan melakukan *individual skid operations* pada saat ARP *shutdown* dengan tujuan *valve* yang bekerja pada saat *skid* aktif dapat beroperasi dengan normal sehingga terhindar dari kerusakan. Selain itu dapat ditambahkan juga *valve-valve* lain yang bisa dijalankan secara manual menggunakan *valve solenoid* untuk menjadi *item routine preventive maintenance* pada ARP *systems (administrative control)*

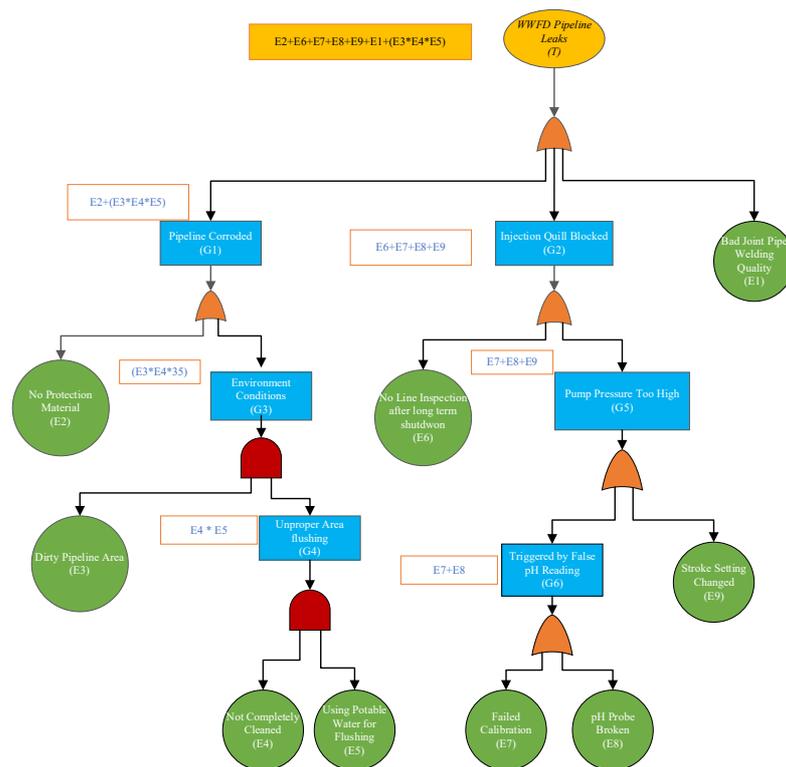
- 2) Selain kerusakan yang terjadi pada *actuator*, pada *body valve* sendiri juga terdapat kerusakan yang disebabkan oleh *rubber lining* yang getas karena kondisi lingkungan, serta kerusakan yang diakibatkan tetesan dari jalur *caustic soda* karena terjadinya buntu pada *injection quill (nozzle)* sehingga muncul rembesan pada koneksi *nozzle* tersebut dan menetes pada *body valve*. Solusi yang dapat diambil untuk kegagalan tersebut adalah melakukan inspeksi dan pengecekan berkala pada *valve* terkait kondisi fisiknya, serta pengecekan pada jalur *caustic soda injection* sehingga dipastikan terhindar dari kebocoran yang diakibatkan *over pressure* karena *injection quill* yang buntu (*administrative control*).
- 3) Pada saat *shutdown*, air limbah yang akan secara proses normal dikondisikan sebelum diolah, mengisi seluruh *pipeline* pada *feed pre-adjust system*. Limbah tersebut memiliki nilai pH <6 (asam), sehingga ketika air tersebut berdiam pada waktu lama dapat menyebabkan degradasi pada bahan-bahan yang kurang resisten terhadap paparan kondisi asam dalam waktu lama. Salah satu komponen yang teridentifikasi pada FTA ini adalah *flexible joint* (sambungan fleksibel antar dua *equipment flange*) yang berbahan karet sintesis. Solusi yang dapat diterapkan adalah dengan mengganti sistem *flexible joint* dengan fabrikasi *rigid flange connection* menggunakan bahan PVC (*Polyvinyl Chloride*) yang lebih resisten terhadap bahan kimia anorganik dengan berbagai kondisi pH. Modifikasi ini telah dilakukan selama proses penelitian dan hasil instalasi dapat dilihat pada gambar 7 berikut (*subtitution control*):



**Gambar 7. Ilustrasi pvc connection flange yang digunakan**

#### ***WWFD Pipeline leak pada Feed Pre-Adjust systems.***

Sebuah proses yang melibatkan cairan limbah kimia serta proses penambahan bahan kimia lain dengan konsentrasi tinggi dan bersifat korosif tentunya memiliki risiko tinggi untuk terjadinya kebocoran pada jalur perpipaan nya. Masalah tersebut juga terjadi pada ARP terutama pada *feed pre-adjust systems*, dimana beberapa kali problem tersebut terjadi dan menyebabkan ARP harus shutdown untuk perbaikan kebocoran baik berupa penambalan, re-coating hingga penggantian sambungan antar pipa. Hasil analisa FTA untuk risiko kritikal tersebut dapat dilihat pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Diagram FTA *WWFD Pipeline leak*

Dari diagram FTA diatas diperoleh 7 MCS yaitu {E2},{E6},{E7},{E8},{E9},{E1},{E3,E4,E5}. *Risk control options* yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah sebagai berikut:

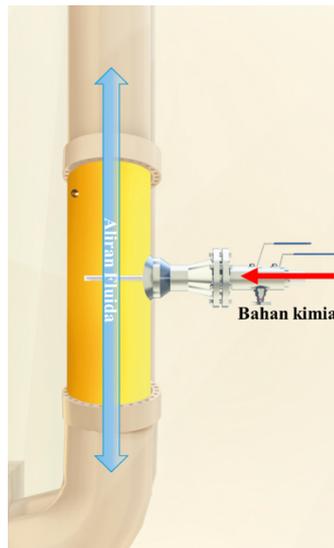
- 1) *Basic event* awal yang teridentifikasi langsung adalah terjadinya kebocoran pada welding (pengelasan) pada sambungan pipa. Hasil dari laporan perbaikan yang ada pada CMMS menunjukkan bahwa kualitas pengelasan pada *ARP systems* banyak yang kurang baik, sedangkan kondisi ini terjadi setelah sistem beroperasi lebih dari masa garansi yang diberikan pabrikan, sehingga perbaikan harus dilakukan oleh internal PT. POMI sendiri. Solusi yang diambil yaitu melakukan pengelasan ulang (*rewelding*) pada titik pengelasan yang bermasalah dengan menggunakan metode SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), kemudian dilakukan *penetrant test* dan *bump test* untuk memastikan hasil pengelasan optimal. Kemudian pada tiap *joint connection* yang memiliki risiko untuk mengalami kebocoran dilakukan *coating* menggunakan cat *coating* logam berbahan *polyurethane* atau *epoxy phenolic* untuk mencegah korosi dan memberi daya tahan dari perubahan kondisi lingkungan (*engineering control*).
- 2) Korosi yang terjadi pada perpipaan juga menyebabkan kebocoran. Sebagian besar kondisi korosi terjadi karena kondisi lingkungan maupun kebocoran bahan kimia dari proses kegagalan sebelumnya. Sedangkan bahan kimia yang digunakan bersifat korosif sehingga mempercepat terjadinya korosi. Kondisi tersebut diperparah dengan proses *flushing* bekas kebocoran dengan tidak benar dan tuntas. *Flushing* hanya dilakukan secukupnya tanpa memastikan bahwa semua bocoran bahan kimia telah dibersihkan dengan tuntas, dan hanya menggunakan *potable water* (yang memiliki kandungan *chlorine* meskipun jumlah rendah). Solusi yang dapat dilakukan adalah mengganti penggunaan *potable water* untuk proses *flushing* pada saat terjadi kebocoran bahan kimia dengan *demin water* yang tidak memiliki kandungan bahan kimia yang memperparah korosi (*subtitution control*). Kemudian pada perpipaan yang memiliki potensi korosi selain penggunaan *insulator* untuk proteksi dari kondisi perubahan suhu eksternal seperti yang dapat dilihat pada gambar 9 berikut:



**Gambar 9. Perpipaan yang dilengkapi insulator**

Maka sebaiknya dilakukan *re-coating* pada perpipaan tersebut menggunakan bahan cat *coating* logam berbahan *polyurethane* atau *epoxy phenolic (engineering control)*.

- 3) Terjadinya kebuntuan pada *chemical injection quill* dari hasil penelitian lebih banyak disebabkan oleh aspek operasional. Dimana tidak adanya inspeksi atau *line pressure test* setelah ARP mengalami *long-term shutdown* sehingga ketika ARP dijalankan maka jalur menuju titik injeksi mengalami buntu. Ilustrasi aplikasi *injection quill* pada perpipaan dapat dilihat pada gambar 10 berikut:

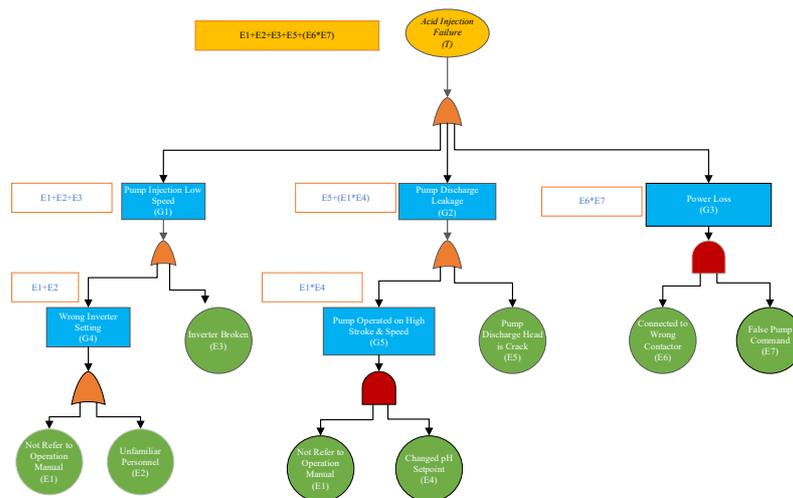


**Gambar 10. Ilustrasi aplikasi injection quill pada perpipaan**

Kondisi tersebut secara langsung juga menyebabkan terjadinya pompa injeksi bahan kimia yang mengalami *pressure* tinggi. Solusi yang dapat diambil adalah melakukan *injection line inspection* maupun *bump test* sebelum ARP dijalankan setelah *long-term shutdown (administrative control)*

- 4) Disisi lain, terjadinya pompa injeksi yang mengalami *pressure* tinggi juga disebabkan oleh adanya pembacaan yang keliru dari *pH probe transmitter* sehingga ketika pH terbaca lebih rendah dari *setpoint* maka pompa akan terus bekerja mengikuti *variabel target* pH. Ketika target tidak terpenuhi juga, maka solusi lain dilakukan adalah merubah setting frekuensi dan *stroke* injeksi pompa lebih tinggi dari *standard* sehingga pompa bekerja lebih keras dari kondisi normal. Solusi dari hal tersebut adalah melakukan verifikasi dan kalibrasi ulang terhadap seluruh *pH transmitter* yang terkoneksi dengan pompa injeksi bahan kimia sebelum





Gambar 12. Diagram FTA acid injection failure

Dari hasil analisa FTA diatas diperoleh 5 MCS yaitu  $\{E1\}, \{E2\}, \{E3\}, \{E5\}, \{E6, E7\}$ . Risk control options yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Pada permasalahan *pump injection low speed*, ditemukan *basic event* dari penelusuran laporan pada CMMS adanya kesalahan pengaturan setting, sehingga pompa tidak bekerja sesuai dengan settingan awal yaitu 4-20 mA. Kondisi ini menyebabkan pompa bekerja dibawah kemampuan optimalnya dan proses pengaturan pH menjadi lebih lambat karena distribusi *sulfuric acid* lebih rendah. Dari data CMMS juga ditemukan bahwa *inverter* dalam kondisi rusak sehingga harus dilakukan penggantian pompa. Solusi yang dapat diterapkan adalah pemasangan tagging tambah berisi *setting default inverter* dan *stroke* pada setiap pompa yang memiliki VFD sehingga kesalahan *setting* oleh operator dapat dihindari (*administrative control*).
- 2) Solusi untuk kerusakan pada head pump discharge yang retak adalah dengan melakukan penggantian head pump yang baru, atau jika hasil investigasi performa pompa kurang optimal maka dilakukan penggantian jenis metering pump dengan *output setting* yang lebih tinggi (*substitution control*). Adanya kerusakan pada *head pump* yang mengakibatkan kebocoran *sulfuric acid* ini harus menjadi perhatian bagi operator untuk menggunakan PPE (*personal protective equipment*) yang sesuai dengan bahan kimia tersebut pada saat bekerja dengan peralatan terkait. Meskipun secara sistem di *local* telah dilengkapi dengan *chemical resistance curtain* untuk mencegah kebocoran menyebar ke area sekitar (*PPE control*).
- 3) Hasil penelusuran data CMMS pada permasalahan *power loss*, ditemukan bahwa yang menjadi penyebab adalah kesalahan pemasangan *electrical contactor* yang berfungsi memberikan perintah kepada pompa. Ketika pompa yang seharusnya bekerja pada saat CPA-P-560 (*membrane contactor pump*) aktif menjadi tidak bekerja karena *permissive command* terpasang pada *membrane concentrator pump* CPA-P-480, kesalahan ini terjadi setelah penggantian VFD *sulfuric acid pump*. Solusi dari permasalahan yang terjadi karena *human error* ini adalah memastikan *electrical drawing* digunakan sebagai referensi saat bekerja sehingga kesalahan pemasangan dapat dihindari di kemudian hari. Selain itu juga setiap *technical drawing* sebaiknya harus dilakukan *review* setiap 5 tahun sekali untuk memastikan segala perubahan pada sistem terdata dengan baik (*administrative control*).

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada BAB IV, maka diperoleh berbagai data terkait risiko operasional *Ammonia Recovery Plant* (ARP) di PLTU Paiton dengan

menggunakan metode RFMEA dan FTA. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) ARP berperan dalam operasional PLTU Paiton terutama pada pengolahan air limbah operasional yang memiliki kadar *ammonia* tinggi, sehingga utilitas *sub-system* ini penting bagi perusahaan dalam memenuhi kepatuhan terhadap peraturan pemerintah terkait dampak lingkungan yang ditimbulkan dari operasi PLTU.
- 2) Dari hasil identifikasi ditemukan 34 mode kegagalan yang terjadi di ARP, kemudian dilakukan analisa dengan metode RFMEA dan diperoleh 4 mode kegagalan yang masuk dalam kategori kritikal yaitu *innacurate pH reading*, *valve leaks*, *WWFD pipeline leaks* pada *Feed Pre-Adjust Systems* dan *acid injection failure* pada *Chemical Injection Systems*.
- 3) Kemudian untuk menentukan *basic event* dari 4 risiko kritikal tersebut digunakan metode FTA. Dengan hasil analisa metode FTA yaitu *innacurate pH reading* disebabkan oleh sambungan elektronik yang kurang rapat pada *pH probe*, kegagalan proses kalibrasi, kurangnya perawatan berkala, *pH probe* yang tidak terendam larutan ketika shutdown, dan kondisi operasional yang tidak tercover pada *operating procedure*. *Valve Leak* pada *Feed Pre-Adjust systems* disebabkan oleh *sealing systems* rusak, tidak beroperasi dalam waktu lama, *postitioner* pada *valve actuator* rusak, *flexible joint material* terdegradasi, material tidak sesuai untuk limbah kimia, kerusakan *rubber lining*, *injection quill* buntu dan jalur *caustic soda* bocor. *WWFD Pipeline leak* pada *Feed Pre-Adjust systems* disebabkan oleh kebocoran pengelasan sambungan pipa, korosi pada perpipaan dan tidak ada material untuk proteksi, proses *flushing* kebocoran yang tidak tuntas dan menggunakan *potable water*, tidak adanya inspeksi pada jalur perpipaan setelah *long-term shutdown*, kalibrasi *pH probe* gagal atau *probe* mengalami kerusakan, perubahan *setting stroke* pompa. *Acid Injection Failure* pada *Chemical Injection systems* disebabkan oleh kesalahan pengaturan *setting* pompa, *inverter* rusak, *head pump discharge* rusak, kesalahan pemasangan *electrical contactor*.
- 4) Dari *basic event* yang diperoleh kemudian disusun *risk control options* antara lain; Solusi untuk *innacurate pH reading* yaitu penggantian kabel set dan penambahan *conduit*, proses kalibrasi sistematis, modifikasi *probe canister*, *review procedure*. *Valve Leak* pada *Feed Pre-Adjust systems* diatasi dengan *individual skid operations*, inspeksi berkala pada valve dan jalur *caustic soda*, penggantian *flexible joint* dengan *rigid flange* dari bahan PVC. *WWFD Pipeline leak* pada *Feed Pre-Adjust systems* dapat diatasi dengan rewelding dengan metode SMAW, *coating* dengan bahan PU dan *epoxy phenolic*, *flushing* dengan *demin water*, *re-coating perpipaan* dengan bahan PU dan *epoxy phenolic*, *injection line inspection* dan *bump test*, kalibrasi ulang *pH meter*, revisi PCS. *Acid Injection Failure* pada *Chemical Injection systems* dapat diatasi dengan pembuatan *tangging setting default inverter* dan *stroke pompa*, penggantian *head pump* baru atau pompa dengan kapasitas lebih besar, penggunaan PPE, *review technical drawing* setiap 5 tahun sekali.

## BIBLIOGRAFI

- Berg, H.-P. (2010). Risk management: procedures, methods and experiences. *Reliability: Theory & Applications*, 5(2 (17)), 79–95.
- Coleman, T. S. (2012). *Quantitative risk management: a practical guide to financial risk*. John Wiley & Sons.
- Dytha, B. W., & Taufik, T. A. (2022). Risk Analysis using Risk Failure Mode and Effect in Implementation of Integrated Digital Reporting with Power Bi Dashboard. *Jurnal Teknobisnis*, 8(2), 32–43.
- Firdaus, I. A., & Irawan, I. (2017). *Manajemen Risiko Operasional Onshore Processing Facility Dengan Menggunakan Risk Failure Mode And Effect Analysis Dan Fault Tree Analysis (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember)*.

- Freeman, R. A. (1990). CCPS guidelines for chemical process quantitative risk analysis. *Plant/Operations Progress*, 9(4), 231–235.
- George, C. (2020). The essence of risk identification in project risk management: An overview. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(2), 1553–1557.
- Kementerian LHK Republik Indonesia. (2009). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.08 - 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal*. Kementerian LHK Republik Indonesia, Jakarta.
- Mirboroon, L., & Razavi, H. (2020). A case study of risk management of automotive industry projects using RFMEA method. *Mapta Journal of Mechanical and Industrial Engineering (MJMIE)*, 4(1), 42–50.
- Mutlu, N. G., & Altuntas, S. (2019). Risk analysis for occupational safety and health in the textile industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 72, 222–240.
- Nugroho, M. J., Bahartyan, E., Raymond, R., Hidayat, B., & Irawan, M. I. (2021). Root cause analysis of fires in coal power plants using RFMEA methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1096(1), 12100.
- Purwanggono, B., & Margarette, A. (2017). Risk assessment of underpass infrastructure project based on ISO 31000 and ISO 21500 using fishbone diagram and RFMEA (project risk failure mode and effects analysis) method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 277(1), 12039.
- Srinivas, K. (2019). Process of risk management. In *Perspectives on Risk, Assessment and Management Paradigms*. IntechOpen.
- Surange, V. G., & Bokade, S. U. (2022). *Critical Risk Factors In The Industrial Sector: A Review*.
- Van Sciver, G. R. (1990). Quantitative risk analysis in the chemical process industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 29(1), 55–68.
- Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault Tree Handbook*, US Nuclear Regulatory Commission, Rep. NUREG-0492, Jan, 397.
- Yang, X., Duke, M., & Zhang, J. (2019). Modeling of heat and mass transfer in vacuum membrane distillation for ammonia separation. *Separation and Purification Technology*, 224, 121–131.

---

**Copyright holder:**

Rieza Pahlevi, A. A. B. Dinariyana Dwi P. (2024)

**First publication right:**

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

**This article is licensed under:**

