

ANALISIS MITIGASI RISIKO PADA PRIMARY REFORMER DENGAN PENERAPAN *BOWTIE DIAGRAM* DI PT TX

Maria Benedikta Mizi A.B. Yargandana Lalamafu^{1*}, Annasit¹, Teguh Selamat Aprianto¹

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu, 58312

*E-mail: missyargandana@gmail.com

ABSTRAK

Primary reformer adalah komponen utama dalam unit *reforming* yang dapat mengubah gas alam menjadi gas sintesis melalui proses reformasi uap. Reformer ini beroperasi pada kondisi ekstrem, yang melibatkan tekanan tinggi dan suhu tinggi sehingga potensi risiko sangat signifikan. Salah satu metode yang semakin populer adalah *Bowtie Diagram* menawarkan pendekatan yang sistematis untuk memetakan risiko. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini dengan *bowtie diagram* selain menggunakan metode analisis *Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC) disusun pula metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP), *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA). Teknik dengan memberikan analisis kualitatif dari identifikasi bahaya dan penilaian secara detail kuantitatif dari kemungkinan dari kejadian yang tidak diinginkan. Hasil studi yang diperoleh unit *primary reforming* PT TX mengubah metana menjadi gas sintesis yang terdiri dari hidrogen (H₂) untuk produksi ammonia. Proses ini melibatkan reaksi endotermis antara uap air dan metana menggunakan katalis nikel. Diagram *bowtie* mengidentifikasi bahaya hidrogen dan kegagalan kontrol suhu. Konsekuensi potensial meliputi kerusakan peralatan cedera pekerja, emisi gas berbahaya, dan sistem kontrol yang andal. HIRADC digunakan untuk mengidentifikasi bahaya dan risiko *primary reformer* dan analisis HAZOP mengidentifikasi potensi deviasi dalam *flowrate*, suhu, dan tekanan yang dapat menyebabkan masalah seperti kerusakan mekanis serta *bowtie diagram* menjadi media visualisasi potensi risiko yang terjadi.

Kata kunci: *Primary Reformer, Bowtie Diagram, Analisis Risiko*

1. PENDAHULUAN

Primary reformer adalah komponen utama dalam unit *reforming* yang berfungsi untuk mengubah gas alam menjadi gas sintesis melalui reformasi uap. Reformer ini beroperasi pada kondisi ekstrem, yang melibatkan tekanan tinggi dan suhu tinggi sehingga potensi risiko seperti ledakan, kebocoran gas, dan kerusakan peralatan sangat signifikan. Oleh karena itu, mitigasi risiko di sekitar *primary reformer* sangat penting untuk menjaga keselamatan operasional dan keberlangsungan produksi [1]

Reforming melibatkan reaksi gas dan katalis dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi, yang intrinsik memiliki risiko operasional signifikan. Kegagalan dalam proses *reforming* dapat menyebabkan kerusakan besar, baik dari segi keselamatan manusia maupun kerugian finansial. Salah satu metode yang semakin populer adalah *Bowtie Diagram* menawarkan pendekatan yang sistematis untuk memetakan risiko, menilai kontrol yang ada, dan merancang strategi mitigasi yang komprehensif. Metode ini membantu dalam visualisasi hubungan antara penyebab, konsekuensi dan kontrol mitigasi untuk setiap risiko [2].

Data pabrik 1 di perusahaan pupuk menunjukkan, selama beberapa tahun terakhir di unit *primary reformer* terjadi kebakaran sebanyak 4 kasus dari tahun 2014 hingga bulan September 2017 yang dapat mengakibatkan kerugian waktu produksi, kerusakan peralatan, dan kerugian finansial yang signifikan. Meskipun perusahaan telah menerapkan berbagai tindakan pencegahan, evaluasi menyeluruh terhadap efektivitas sistem proteksi yang ada masih belum dilakukan. Oleh karena itu, analisis risiko menggunakan metode *bowtie diagram* dilakukan

untuk mengidentifikasi tingkat bahaya ledakan dan kebakaran pada primary reformer. Hasil analisis berikut ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam meningkatkan sistem keselamatan di unit reforming [3].

PT TX adalah salah satu perusahaan yang terlibat dalam industri pupuk dan kimia di Indonesia, dengan unit *reforming* P-IV yang memainkan peran penting dalam proses produksinya menunjukkan pentingnya *primary reformer* dalam unit ini dan potensi risiko yang terlibat, penggunaan *bowtie diagram* di PT TX dapat memberikan wawasan yang berharga mengenai efektivitas strategi mitigasi risiko yang ada. Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas penerapan diagram *bowtie* dalam mengelola risiko pada unit *primary reformer* P-IV di PT TX. Dengan kata lain, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik diagram *bowtie* dapat digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi, menilai, dan mengurangi risiko yang terkait dengan operasi unit *primary reformer*. Studi ini berupaya untuk menganalisis bagaimana penerapan *bowtie diagram* dapat meningkatkan risiko pada *primary reformer* di unit *reforming* P-IV dan mengevaluasi potensi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keselamatan dan keandalan operasional.

Adapun tujuan khusus pada studi ini adalah untuk mengidentifikasi risiko dan mengukur frekuensi keparahan setiap risiko melalui analisis HIRADC dan HAZOP, menyusun diagram *bowtie* yang komprehensif untuk memodelkan risiko pada unit *primary reformer* P-IV, menganalisis mitigasi risiko yang tepat untuk diterapkan, dan memberikan rekomendasi perbaikan terhadap sistem manajemen risiko pada unit *primary reformer* P-IV.

2. METODE

Analisis risiko digunakan untuk menganalisis suatu sistem dan merupakan alat yang efisien untuk mengidentifikasi faktor risiko dan mengembangkan strategi untuk mencegah kegagalan. Ini termasuk identifikasi kegagalan, frekuensi dan analisis konsekuensi. Implementasi dari analisis risiko ini membantu membuat keputusan untuk mengatasi risiko tersebut. Dalam menggunakan sumber daya secara efektif untuk mengurangi dampak unsur ketidakpastian dengan penerapan langkah-langkah sistematis mengidentifikasi dan menganalisa suatu permasalahan yang muncul kemudian dilakukan Tindakan pengendalian preventif dengan mentransfer, mengeliminasi, substitusi, maupun rekayasa Teknik terhadap suatu permasalahan [4].

Dalam penyusunan *bowtie diagram* selain menggunakan metode analisis HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control*) disusun pula metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*), merupakan metode analisis risiko yang sistematis dan terstruktur digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi bahaya serta masalah operabilitas yang mungkin terjadi dalam suatu system atau proses [5]. Metode ini biasanya diterapkan pada desain system baru atau modifikasi system yang sudah ada untuk memastikan bahwa semua risiko dan telah menjadi standar dalam industry proses, khususnya dalam industry kimia perminyakan [6].

Bowtie analysis (disebut juga analisis “sebab-akibat”) menyediakan visualisasi yang mudah dipahami, idenya cukup sederhana dengan menggabungkan penyebab atau FTA (*Fault Tree Analysis*) dan konsekuensi atau ETA (*Event Tree Analysis*). FTA dan ETA merupakan dua Teknik secara individual membantu risiko penilaian dengan memberikan analisis kualitatif dari identifikasi bahaya dan penilaian secara detail kuantitatif dari kemungkinan dari kejadian yang tidak diinginkan maka FTA digambarkan pada sisi kiri dan ETA digambarkan pada sisi kanan dengan top event ditarik sebagai “simpul” ditengah-tengah diagram terlihat sedikit seperti *bowtie* [7].

Bowtie analysis dimulai dari titik pusat/simpul yaitu top event yang merupakan kejadian dari pelepasan bahaya, lalu kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan penyebab dan

konsekuensi dari kejadian tersebut, lalu kemungkinan kejadian tersebut (kontrol mitigasi). Metode analisis menggunakan matriks risiko untuk kategori berbagai scenario dan kemudian dilakukan analisis lebih rinci (dalam bentuk FTA dan ETA) pada risiko tertinggi. Kelebihan lain dari bowtie diagram adalah integrasinya yang efektif antara pengendalian pencegahan dan pengendalian mitigasi. Diagram ini memungkinkan perusahaan melihat dengan jelas di mana pengendalian telah diterapkan, baik sebelum peristiwa kritis terjadi (preventive controls) maupun setelah peristiwa tersebut terjadi (mitigative controls) [8]. Hal ini tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi kelemahan dalam sistem pengendalian, tetapi juga memberikan panduan yang lebih baik dalam merencanakan langkah-langkah mitigasi. Bowtie diagram juga memiliki fleksibilitas tinggi yang memungkinkan adaptasi dalam berbagai konteks industri dapat digunakan dalam berbagai analisa atau fase proyek, mulai dari desain awal hingga operasi sehari-hari dan mendeskripsikan dan menganalisis jalur risiko mulai dari penyebab hingga dampak [9].

Primary reformer merupakan komponen vital dalam produksi amonia dengan melibatkan proses pembakaran suhu tinggi di dalamnya mengubah gas alam menjadi gas sintetis yakni hidrogen. Namun, kondisi operasi yang ekstrem dan komponen-komponen sensitive membuatnya rentan terhadap ledakan dan kebakaran. Kegagalan fungsi ID fan (Induce draft fan), overheating pada tube, dan kebocoran gas merupakan beberapa penyebab utama terjadinya di primary reformer [10].

3. PEMBAHASAN

A. Unit *Primary Reforming*

Produk utama dari unit *primary reforming* adalah gas sintetis, komposisi gas sintetis bervariasi tergantung pada kondisi operasi dan jenis bahan baku yang digunakan. Namun, komponen utama gas sintetis adalah hidrogen (H_2). Selain itu, terdapat sejumlah produk samping seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), dan sejumlah kecil metana (CH_4) yang belum bereaksi. Proses *primary reforming* melibatkan reaksi antara uap air (*steam*) dan metana (CH_4) pada suhu dan tekanan tinggi dengan bantuan katalis nikel, reaksi ini dikenal sebagai *steam reforming*.

Tahapan-tahapan dalam proses *primary reforming* yaitu pemanasan awal yang dilakukan dengan campuran uap air dan metana dipanaskan hingga suhu tertentu sebelum masuk ke reformer. Pemanasan awal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi reaksi. Reaksi *steam reforming* berupa campuran uap air dan metana yang telah dipanaskan kemudian dialirkan melalui *tube* reformer yang berisi katalis nikel. Di dalam *tube* reformer, terjadi reaksi endotermis antara uap air dan metana yang akan menghasilkan gas sintetis. Pendinginan gas sintetis yang keluar dari reformer memiliki suhu yang sangat tinggi.

Oleh karena itu, gas sintetis perlu didinginkan untuk menurunkan suhunya dan mempermudah proses selanjutnya pemurnian gas sintetis yang telah didinginkan kemudian dimurnikan untuk menghilangkan komponen-komponen tidak diinginkan seperti karbon dioksida (CO_2), sulfur dan senyawa organik. Proses pemurnian ini biasanya melibatkan penyerapan, adsorpsi, atau pemisahan membran. Proses *primary reforming* merupakan tahapan awal yang sangat penting dalam produksi ammonia. Gas sintetis yang dihasilkan dari proses ini akan digunakan sebagai bahan baku untuk sintesis amonia.

B. Metode HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control*)

Analisis HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control*) merupakan Langkah penting dalam memastikan keselamatan dan Kesehatan pekerja di unit reforming. Mengidentifikasi potensi bahaya terkait dengan peralatan di unit *reforming*. Hal ini tidak hanya mencakup bahaya fisik seperti kebocoran atau malfungsi bahaya mekanis, tetapi

juga bahaya kimia, radioaktif, dan lingkungan. Setelah bahaya diidentifikasi, Langkah selanjutnya adalah menilai risiko yang terkait dengan masing-masing risiko bahaya.

Berdasarkan hasil penilaian risiko, dapat ditentukan Tindakan pengendalian yang tepat guna mengurangi risiko sebanyak mungkin. Metode ini bisa menjadi sebuah kemajuan desain prosedur kerja yang diperbaharui, pelatihan karyawan atau penggunaan peralatan yakni alat pelindung diri (APD). Dapat disimpulkan metode HIRADC telah berhasil mengidentifikasi sejumlah risiko signifikan dalam proses produksi. Risiko-risiko tersebut terdistribusi mulai dari risiko tinggi hingga rendah yang ditunjukkan oleh nilai (rating) yang bervariasi.

HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control*) membantu mencegah terjadinya kecelakaan yang dapat merugikan pekerja, lingkungan hidup, dan aset perusahaan. Peningkatan kesadaran keamanan proses HIRADC mencakup berbagai tingkat dalam organisasi, yang dapat meningkatkan kesadaran akan hal ini potensi bahaya dan pentingnya menggunakan praktik kerja yang aman. Berdasarkan matriks hasil Analisa peralatan pada unit *reforming* dengan pemetaan identifikasi bahaya sesuai standar AS/NZS 4360.

Setelah memahami risiko yang terkait dengan peralatan di unit *reforming*, perusahaan dapat mengalokasikan sumber daya secara lebih efektif untuk mengelola risiko. Hal ini untuk mengurangi kerugian finansial dan reputasi dan terdapat penurunan angka kecelakaan kerja. Tindakan pengendalian yang ditentukan dalam HIRADC dapat diterapkan secara signifikan untuk mengurangi jumlah dan tingkat keparahan kecelakaan yang terjadi di unit *reforming*, mengurangi waktu henti operasional dan biaya pemeliharaan serta peningkatan produktivitas.

Dengan meminimalkan risiko yang terkait dengan penggunaan peralatan, HIRADC dapat membantu meningkatkan efisiensi operasional dan produktivitas unit *reforming* secara keseluruhan.

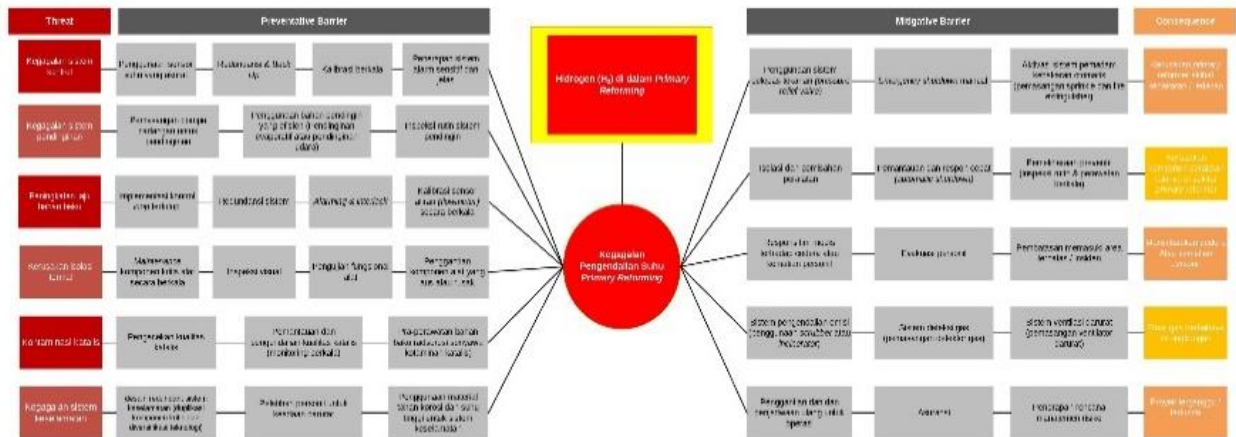
C. Metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*)

Hasil tinjauan HAZOP (*Hazard and Operability Study*) pada proses *primary reforming ammonia* menunjukkan bahwa proses ini memiliki potensi bahaya yang signifikan, terutama terkait dengan deviasi laju (*flowrate*) dan suhu. Kombinasi dari deviasi-deviasi ini dapat memicu berbagai konsekuensi yang merugikan mulai dari penurunan efisiensi produksi hingga risiko kebakaran dan ledakan. Analisis HAZOP juga mengidentifikasi bahwa terjadi pembentukan karbon (*coking*) dapat menyebabkan penurunan efisiensi konversi metana, kerusakan katalis, dan peningkatan tekanan dalam sistem. Selain itu, risiko *overheating* pada peralatan dan katalis juga menjadi perhatian utama karena dapat memicu kerusakan mekanis, emisi gas berbahaya dan ledakan.

Oleh karena itu, pengendalian laju aliran harus dilakukan dengan tepat dan sistem kontrol yang handal perlu diterapkan. Adapun analisis khusus untuk *primary reformer* berdasarkan deviasi-deviasi yang terjadi antara lain: deviasi *flowrate*, baik terlalu rendah maupun terlalu tinggi memiliki dampak sangat luas terhadap proses *primary reforming*. Apabila *flowrate* terlalu rendah atau tinggi, maka suplai bahan baku akan berkurang sehingga menyebabkan penurunan produksi dan pembentukan karbon. Deviasi suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dalam *primary reformer* juga dapat menyebabkan masalah yang serius. Suhu yang terlalu rendah akan menurunkan efisiensi konversi metana, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan katalis dan peralatan.

Deviasi tekanan baik terlalu rendah maupun terlalu tinggi, dapat menyebabkan masalah seperti penurunan efisiensi, kerusakan mekanis, dan risiko kebocoran. Pembentukan karbon (*coking*) merupakan masalah yang kompleks dan sulit dihindari sepenuhnya. Namun, dengan mengontrol dengan ketat variable-variabel proses seperti suhu, tekanan, laju alir, dan komposisi serta menggunakan katalis yang tepat maka pembentukan karbon dapat diminimalisir. *Overheating* pada peralatan dan katalis dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti deviasi *flowrate*, suhu yang terlalu tinggi, atau kegagalan sistem pendingin.

D. Bowtie Diagram



Gambar 1. Analisis Bowtie Diagram Primary Reformer 101-B

Hazard berupa hidrogen merupakan produk utama dari proses *primary reforming*. Jumlah yang besar dan konsentrasi tinggi dari hydrogen dapat meningkatkan potensi bahaya jika terjadi kebocoran pada kondisi operasi tak terkendali sehingga beresiko menyebabkan kebakaran atau ledakan. Kegagalan pengendalian suhu *primary reforming* mempengaruhi reaksi dalam *primary reforming* adalah reaksi *endotermis*, artinya memerlukan panas. Apabila suhu tidak terkendali maka dapat menyebabkan pendinginan yang tidak kuat, pembentukan deposit, dan kerusakan mekanis pada *primary reforming*. Katalis yang digunakan dalam proses *reforming* sangat sensitif terhadap suhu. Suhu terlalu tinggi dapat menyebabkan *sintering* (penggabungan partikel katalis) atau kerusakan struktur katalis, sehingga mengurangi efisiensi reaksi dan meningkatkan pembentukan *coke*.

Peningkatan suhu akan meningkatkan tekanan sistem, jika tekanan tidak dilepaskan dengan aman dapat menyebabkan ledakan. Material konstruksi peralatan (pipa, *vessel*) memiliki batasan suhu operasi. Suhu yang berlebihan dapat menyebabkan deformasi, retak atau bahkan kegagalan material. Beberapa hal dibawah menjelaskan beberapa identifikasi dari gambaran penelitian ini.

Jika identifikasi konsekuensi seperti kerusakan *primary reformer* akibat kebakaran atau ledakan jika suhu tinggi dapat menyebabkan *ignition* dari campuran hidrogen dan udara, mengakibatkan kebakaran atau ledakan yang dapat merusak peralatan secara signifikan, kerusakan komponen peralatan lainnya di sekitar *primary reformer* seperti panas radiasi dari kebakaran atau ledakan dapat merusak peralatan di sekitarnya seperti pipa, *instrument*, dan sistem utilitas. Ledakan, kebakaran atau pelepasan gas beracun dapat menyebabkan luka bakar, cedera fisik, dan bahkan kematian bagi pekerja. Emisi gas berbahaya ke lingkungan seperti pembakaran tidak sempurna atau kerusakan peralatan dapat menyebabkan pelepasan gas beracun seperti CO, NO_x, dan partikulat ke atmosfer dan proyek terganggu tertunda menyebabkan kerusakan peralatan dan downtime akan mengganggu produksi, mengakibatkan kerugian finansial, dan menunda jadwal proyek.

Jika identifikasi dari ancaman atau penyebab seperti kegagalan sistem kontrol yang kerusakan *actuator (valve)* atau kesalahan dalam logika kontrol dapat menyebabkan ketidakmampuan sistem untuk mengontrol suhu, kebocoran pada sistem pendingin, kerusakan pompa atau penyumbatan pipa dapat mengurangi efektivitas pendinginan, peningkatan laju aliran bahan baku. Hal ini dapat disebabkan oleh kesalahan operator, malfungsi *flowmeter* atau perubahan kondisi operasi dapat menyebabkan peningkatan laju aliran bahan baku, meningkatkan laju reaksi, dan menghasilkan panas lebih besar. Ketika terjadi korosi, kerusakan

mekanis atau penuaan isolasi termal dapat menyebabkan panas yang tidak diinginkan masuk ke dalam system. Apabila terjadi malfungsi *pressure relief valve*, sistem deteksi gas atau sistem pemadam kebakaran dapat mengurangi kemampuan sistem untuk merespon keadaan darurat dan kontaminasi katalis dapat mengganggu reaksi kimia yang diinginkan dalam reformer, mengurangi kinerja proses dan meningkatkan risiko kerusakan peralatan.

Identifikasi hambatan pencegahan (sisi ancaman/penyebab) berupa sistem *monitoring* yang handal, langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah dengan penggunaan sensor suhu yang akurat, redundansi dan *backup*, dan dikalibrasi secara berkala. Selain itu, menerapkan sistem alarm yang sensitif dan jelas. Sistem pendinginan yang redundant, langkah yang dapat dilakukan adalah dengan pemasangan pompa cadangan, penggunaan bahan pendingin yang efisien seperti pendingin udara atau pendinginan evaporatif, dan inspeksi rutin terhadap sistem pendinginan.

Sistem kontrol aliran bahan baku yang handal, langkah-langkah yang dapat dilakukan dengan implementasi sistem *control loop* tertutup, *redundansi system*, *alariming dan interlock*, dan kalibrasi sensor aliran (*flowmeter*) secara berkala. Pemeliharaan preventif yang dapat dilakukan adalah dengan membuat jadwal pemeliharaan yang teratur untuk semua komponen yang aus. Pengecekan kualitas katalis; pemantauan dan pengendalian katalis, pra-perawatan bahan baku seperti langkah-langkah ini untuk memastikan bahwa reaksi kimia berjalan dengan efisien dan sesuai dengan yang direncanakan, serta untuk mencegah kontaminasi katalis yang dapat mengganggu proses. Serta peningkatan sistem keselamatan; langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan desain *redundant system* keselamatan (duplikasi komponen kritis dan diversifikasi teknologi), pelatihan yang komprehensif untuk mengenali tanda-tanda bahaya, prosedur evakuasi, dan penggunaan alat keselamatan, penggunaan material tahan korosi dan suhu tinggi untuk komponen sistem keselamatan.

Identifikasi hambatan mitigasi (sisi konsekuensi) yaitu sistem pelepas tekanan, *emergency shutdown* manual, aktivasi sistem pemadam kebakaran otomatis maka dengan upaya ini dilakukan dengan pemasangan *pressure relief valve* yang berukuran tepat dan diatur pada tekanan yang aman, *emergency shutdown* manual, dan aktivasi sistem pemadam kebakaran otomatis. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya ledakan akibat peningkatan tekanan yang berlebihan dari pengaruh pemanasan. Sistem pemadam kebakaran dengan upaya ini dilakukan dengan pemasangan *sprinkler, fire extinguisher* atau sistem pemadam kebakaran lainnya. Hal ini bertujuan untuk memadamkan api apabila terjadi kebakaran.

Isolasi dan pemisahan peralatan; pemantauan dan respon cepat (*automatic shutdown*), upaya ini ditujukan untuk membatasi kerusakan dengan mengisolasi peralatan yang terkena dampak dan merespons dengan cepat untuk menonaktifkan sistem otomatis. Penggunaan detektor gas dan sistem pengendalian emisi yang sensitif terhadap hidrogen dan gas beracun lainnya seperti *scrubber, incinerator, dan gas detector*. Hal ini bertujuan untuk mendeteksi kebocoran gas dan memberikan peringatan dini. Pemasangan ventilator untuk mengeluarkan gas berbahaya dan mengurangi konsentrasi hidrogen, hal ini bertujuan untuk mengurangi paparan dari konsentrasi gas berbahaya.

Pembatasan orang memasuki area; evakuasi personil; respons tim medis terhadap cedera, upaya ini untuk meminimalkan risiko cedera dengan membatasi akses ke area berbahaya, mengevakuasi personil dan memberikan perawatan medis yang cepat dan tepat serta menerapkan rencana manajemen risiko, asuransi, penggantian dan jadwal pengoperasian kembali untuk mengelola risiko dengan rencana yang tepat, memastikan perlindungan finansial dengan asuransi, dan memulihkan operasi setelah kejadian darurat dengan penggantian peralatan dan jadwal pengoperasian Kembali.

Identifikasi faktor degradasi dan pengendalian (kedua sisi) faktor-faktor ini mencakup evaluasi terhadap kondisi sistem dan pengendalian untuk mengatasi kelemahan yang mungkin menyebabkan kegagalan seperti usia peralatan. Dari pengendalian ini dapat dilakukan dengan

inspeksi rutin, penggantian komponen yang aus, dan perencanaan penggantian peralatan secara berkala, kualitas bahan baku yang sesuai dengan spesifikasi, dan pengendalian ini dapat dilakukan dengan pelatihan yang berkelanjutan, evaluasi kinerja, dan sertifikasi operator dan perubahan kondisi operasi dilakukan dengan mengkaj dan memperbaharui prosedur operasi secara berkala, analisis dampak perubahan dan penerapan tindakan korektif jika diperlukan. Langkah-langkah ini bertujuan untuk memperbaiki sistem dan prosedur agar lebih andal dan efektif dalam menghadapi keadaan darurat.

4. SIMPULAN

Berdasarkan dengan penelitian yang telah dilaksanakan, adapun kesimpulan yang didapat sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan analisis HIRADC ((*Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control*) dan HAZOP ((*Hazard and Operability Study*), penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi berbagai potensi risiko yang terkait dengan operasi primary reformer seperti *overheating*, kebocoran gas, pembentukan karbon (*coking*), dan kegagalan sistem control. Risiko ini dikelompokkan berdasarkan tingkat frekuensi dan keparahannya. Dengan fokus pada deviasi suhu, tekanan, dan laju aliran yang menjadi penyebab bahaya utama operasional.
2. Melalui penggunaan diagram bowtie, telah memberikan visualisasi yang sistematis terhadap hubungan antara penyebab, *top event*, dan konsekuensi dari risiko yang diidentifikasi. Diagram bowtie yang telah disajikan, memberikan gambaran yang jelas mengenai control pencegahan (*preventif control*) dan kontrol mitigasi (*mitigative control*) yang terintegrasi untuk mengelola risiko pada unit *primary* reformer secara lebih efektif.
3. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan langkah-langkah mitigasi berupa system pendingin yang redundant, pemeliharaan preventif, kontrol aliran bahan baku, serta peningkatan sistem keselamatan (detektor gas, isolasi peralatan, dan sistem pemadam kebakaran otomatis) dapat secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan, kerusakan peralatan, dan dampak lingkungan yang berbahaya.
4. Berdasarkan hasil analisis, penelitian merekomendasikan peningkatan pada sistem kontrol suhu, pelatihan operator secara berkala, penggunaan material tahan suhu tinggi, dan penerapan sistem pemantauan yang berguna untuk meningkatkan keselamatan dan keandalan operasional. Hal ini bertujuan untuk memastikan berakhirnya produksi unit *primary* reformer sekaligus meminimalkan potensi kerugian finansial dan reputasi perusahaan.

Dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan dalam proses *primary reforming* dan mengembangkan Tindakan pencegahan seperti optimasi kondisi operasi dan pengembangan metode regenerasi yang lebih efektif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Smith. Risk Analysis: A Guide to Principles and Practice. Wiley, pp. 19-426, 2005.
- [2] A. Nerlich and . C, "The Use of Bowtie Diagrams for Risk Assessment in the Chemical Industry". Risk Analysis, 2013, pp 133-144, 2013.
- [3] Emy Suciati dkk. Analisis Risiko Ledakan dan Kebakaran pada Primary Reformer di Perusahaan Penghasil Pupuk. Proceeding 2nd Conference On Safety Engineering, ISSN No. 2581-1770.
- [4] S, Moral, Manajemen Risiko Edisi 1 Journal of Public Health Research and Development, pp. 29 – 53, 2020.
- [5] T. A Kletz, Process safety: A handbook for inherently safer design, second edition, 2001.
- [6] CMPT. Risk Assessment Guide: Techniques for Risk Analysis. 1999: Centre for Chemical Process Safety (CCPS), AIChE.

- [7] C. F. Delvosalle, ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(4), 516-535. 2014.
- [8] J. G. Gifford, "Using Bow Tie diagrams to assess safety management in the UK offshore oil and gas industry. *Journal of Hazardous Materials*, 104(3), 273-285, 2003.
- [9] Reniers, G. A. Designing effective control measures for major accident hazards: The value of Bow-Tie diagrams. 84, 26-34, 2016.
- [10] Oditya, D. Problem. Failure and safety analysis of ammonia plant: a review. *International Review of Chemical Engineering*, 2, 631 – 646, 2018.