

# Identifikasi Bahaya dengan Menggunakan Metode Bowtie untuk Keselamatan Proses pada Boiler UBB di Pabrik III PT. Petrokimis Gresik

**Dimarizkiputra Erajati<sup>1\*</sup>, Arief Subekti<sup>2</sup>, Mades Darul Khairansyah<sup>3</sup>**

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

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

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

*Email: [dimarizoki@gmail.com](mailto:dimarizoki@gmail.com)*

## Abstrak

Boiler UBB merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan *steam* (uap) dalam berbagai keperluan. Proses boiler harus diperhatikan karena sangat berbahaya. Karena jika terjadi kegagalan pada *safeguard* akan berbahaya baik untuk masa depan pabrik atau masa depan pekerjaannya serta lingkungan dimana boiler tersebut ada. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kecukupan *barrier* pada boiler UBB tersebut di PT Petrokimia Gresik. Penelitian ini menggunakan metode *Bowtie analysis*. *Bowtie Analysis* merupakan metode yang menyediakan visualisasi yang dapat dimengerti dari hubungan antara penyebab gangguan atau kerusakan, kondisi yang dapat memicu terjadinya kecelakaan, kontrol untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan tindakan persiapan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkannya. Hasil penelitian dengan menggunakan metode FMEA dan diperoleh 3 *top event* dari kategori *high risk*. Potensi bahaya yang utama ialah kerusakan pada *steam water drum*, kerusakan pada *attemperator*, dan rusaknya sudu atau rotor dari turbin. Untuk *top event* ini telah dilengkapi dengan 3 *preventive control* untuk setiap *Threat* dan minimal 1 *mitigating measure* untuk setiap *consequence*. Setelah menggunakan metode Identifikasi bahaya dengan menggunakan metode *Bowtie analysis*, didapatkan ketidakcukupan *escalation factor barrier* berupa *interlock* yang mencegah terjadinya kerusakan pada proses boiler. dan tidak adanya SOP pada Turbin.

Kata Kunci

*Bowtie analysis*, FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*), Boiler, Turbin, barrier

## PENDAHULUAN

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang dalam lingkup departemen perindustrian dan perdagangan RI bernaung dibawah Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC), yang bergerak dalam bidang produksi pupuk, bahan kimia dan beberapa usaha lainnya. PT Petrokimia Gresik memiliki beberapa bidang usaha yaitu Industri Pupuk, Industri Pestisida, Industri Kimia. Industri peralatan Pabrik dan jasa rancang bangun dan perekayasaan serta jasa lain. PT Petrokimia Gresik memiliki 3 buah jenis pabrik yaitu pabrik I merupakan pabrik pupuk nitrogen yang terdiri dari unit produksi yang menghasilkan pupuk ZA, Urea dan Amonia. Pabrik II merupakan pabrik fosfat dan Phonska. Pabrik III merupakan pabrik Asam fosfat. Unit produksi III menghasilkan bahan kimia dasar seperti asam fosfat, asam sulfat, ALF<sub>3</sub>, dan gipsum. Salah satu proses yang sangat penting bagi kelangsungan sistem disana adalah UBB (Utilitas Batu Bara). UBB dibangun karena adanya permintaan suplai power yang sangat banyak pada saat pengembangan pabrik II, untuk itu PT. Petrokimia Gresik tidak bergantung pada PLN lagi melainkan memproduksi energi listrik dari generatornya sendiri, selain itu output Boiler di UBB ini juga digunakan untuk membantu proses proses yang ada di Pabrik III sehingga bila boiler ini rusak selama 1 jam boiler ini tidak dapat menyuplai 150 ton uap. Dan akan sangat merugikan bagi perusahaan bila itu terjadi. Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Boiler juga bisa disebut mesin konversi energi yang mengubah air dari fase cair menjadi fase uap bertekanan tinggi. Proses perubahan fase ini membutuhkan kalor yang besar. Kalor yang besar itu dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar. Selain sumber daya alam yang semakin menipis dan semakin mahal, boiler dengan proses pembakaran juga menimbulkan polusi udara. Saat ini banyak sekali industri yang menggunakan boiler.

Boiler-boiler tersebut menggunakan bahan bakar untuk menghasilkan energi yang kemudian digunakan untuk memanaskan air dan mengubah fase air menjadi uap air.

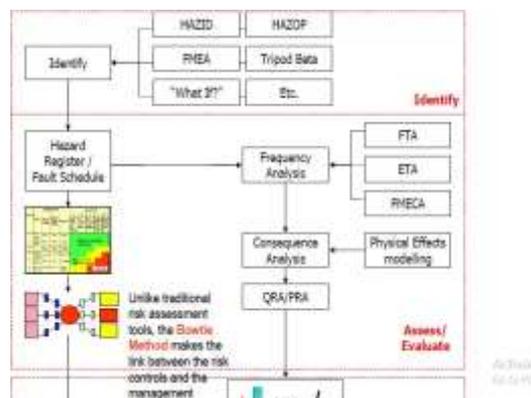
Dalam setiap proses bahan kimia tentu akan selalu ada bahayanya masing-masing. Tugas perusahaan tersebut ialah untuk meminimalisir bahaya tersebut agar tidak sampai melukai pekerja yang berkerja di perusahaan tersebut dan proses produksi masih terus berjalan. Pada Boiler UBB ini pernah terjadi kecelakaan seperti coalmill dan conveyor yang terbakar serta banyak lagi gangguan lain dalam prosesnya seperti ruptured disc yang gagal berfungsi ketika dibutuhkan. Untuk itu jika tidak diselesaikan sumber masalahnya akan semakin berbahaya bagi perusahaan tersebut karena Boiler disini sangat vital sekali fungsinya. Untuk itu perlu adanya identifikasi bahaya pada Proses boiler ini. Akan sangat berbahaya bila terjadi kesalahan dalam prosesnya entah dari operatornya maupun kegagalan sistemnya. Karena itu boiler merupakan suatu komponen penting Di Peraturan pemerintah peraturan upa tahun 1930, boiler memang diwajibkan memiliki tingkat pengaman yang memungkinkan menghindari adanya kegagalan sistem boiler tersebut. Sedangkan di peraturan menteri no 01 tahun 1988 tentang kualifikasi operator pesawat uap, di peraturan tersebut menjelaskan bahwa untuk operator boiler tidak sembarang orang yang bisa mengoperasikan boiler tetapi seseorang yang lolos dari kualifikasi yang ada di dalam peraturan tersebut. Dari 2 peraturan tadi membuktikan bahwa boiler memang komponen yang sangat penting dalam kesejahteraan pabrik. Untuk menghindari hal tersebut kita harus mengetahui seberapa mampu perlindungan-perindungan yang sudah ada bisa menghadapi skenario-skenario terburuk? Apakah sudah cukup, atau apakah masih kurang.

Untuk melakukan itu maka dipilihlah metode Bowtie didalam melaksanakan tugas akhir ini dikarenakan Bowtie sendiri merupakan metode identifikasi bahaya yang sering digunakan di berbagai perusahaan, seperti pada industri kimia, perusahaan penerbangan, pembangunan kapal. Selain itu diagram ini mudah dipahami walaupun orang yang membaca diagram ini bukan orang yang spesialis dibidangnya atau orang K3. Metode ini merupakan gabungan metode FTA(Fault Tree Analysis) dan ETA (Event Tree Analysis). Pada saat FTA digambar di kiri dan ETA digambar di kanan dengan bahaya yang ditarik seperti “simpul” di tengah diagram, seperti dasi kupu-kupu yang ditunjukkan metode analisis menggunakan matriks risiko untuk kategori berbagai skenario, dan kemudian melakukan analisis yang lebih rinci pada orang orang dengan risiko tertinggi esensinya adalah untuk menetapkan beberapa banyak pengaman yang tersedia untuk mencegah, mengendalikan, atau mengurangi skenario yang sudah diidentifikasi, dan kualitas dari hambatan hambatan tersebut.

## METODOLOGI

- *FMEA (Failure Mode Analysis)*

FMEA adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat suatu konsekuensi dari kegagalan sistem atau proses, serta mengurangi atau megelimniasi peluang terjadinya kegagalan. Ada beberapa alasan mengapa kita perlu menggunakan FMEA diantaranya, lebih baik mencegah terjadinya kegagalan daripada memperbaiki kegagalan, meningkatkan peluang kita untuk dapat mendeteksi suatu kegagalan. Keuntungan yang diperoleh dari penerapan FMEA diantaranya meningkatkan keamanan kualitas dan keandalan nama baik perusahaan , serta kepuasan konsumen dan ada nya catat historis dari peristiwa kegagalan. Dalam penelitian ini digunakan metode FMEA sebagai tool untuk mencari sebab akibat dan solusi untuk memecahkan masalah dalam peningkatan performance dan suatu peralatan dalam rangka menjanga proses produksi. Menurut (Imca, 2002) metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi proses desain dan potensi kegagalan untuk meminimalkan risiko dan dilakukan tindakan pengendaliannya.



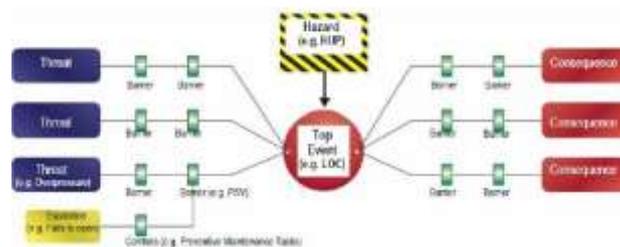
FMEA digunakan untuk menentukan Initiating event atau top event yang nantinya dengan metode bowtie analysis akan dianalisa dampak dan penyebab yang dapat ditimbulkan melalui initiating event atau top event tersebut sehingga dapat memberikan rekomendasi preventive dan mitigating control yang akan digunakan.

• *Bowtie Analysis*

Bow-tie analysis (BTA) pada awalnya disebut “butterfly diagrams” dan berevolusi dari “cause consequence diagram”. Bagaimanapun bow-tie methodology adalah adaptasi dari tiga conventional system safety techniques : Fault Tree Analysis, Causal Factors Charting dan Event Tree Analysis.

Safeguards (barrier) yang ada diidentifikasi dan dievaluasi kecukupannya. Proteksi tambahan kemudian ditentukan dan direkomendasikan dengan tepat. Jenis penyebab skenario diidentifikasi dan digambarkan pada pre-event side (sisi kiri) dari bow-tie diagram. Hasil dari consequences dan skenario yang dapat dipercaya digambarkan pada post-event side (sisi kanan) dari diagram dan barrier/safeguard yang terhubung dimasukkan (Nolan, 2015)

Visualisasi interaksi antara risk element ini memberikan representasi untuk lebih mudah dipahami dan dimengerti oleh mereka yang pada umumnya bukan seorang yang ahli dalam risk dan safety, tetapi lebih kepada ahli dalam praktek langsungnya (e.g Air Traffic Control). Hal ini bersifat krusial jika risk management adalah aktifitas yang dikerjakan oleh mereka yang bertanggung jawab atas keselamatan dari pada mereka yang dari luar safety departement. (Acfield and Weaver, 2012). Keterlibatan dari tenaga kerja itu sendiri juga sangat penting. Manajemen risiko adalah tanggung jawab dari line managers dan orang-orang yang berada di bawahnya. Semua staff dapat melihat kenapa apa yang mereka lakukan adalah krusial dalam pengendalian risiko. Pada bagian tengah dari setiap bow-tie adalah initiating event (atau “top event”). Ini adalah titik waktu ketika ada loss of control dari hazard (sumber energi dengan potensi menimbulkan kerugian atau kerusakan). Langkah selanjutnya adalah menentukan penyebab dari initiating event, dan potential consequences dari event tersebut. Untuk setiap penyebab (cause), kedua tindakan pengendalian (barrier) yang dapat mengurangi kemungkinan dari terjadinya initiating event (preventive control) dan tindakan yang dapat diambil untuk mengurangi severity dari dampak setiap initiating event (mitigating controls) kemudian diidentifikasi.



Bow-tie analysis dapat dikaji lebih jauh lagi untuk memeriksa efektifitas dari pengendalian atau barrier dengan memasukan barrier decay mechanisms dan penilaian likely effectiveness dari tindakan pengendalian (control measures) (Burgess, et al. 2014, 10:2 )

Bow tie diagram juga dikenal sebagai barrier diagrams, bow tie diagrams menyediakan visualisasi yang dapat dimengerti dari hubungan antara penyebab gangguan atau kerusakan, kondisi yang dapat memicu peningkatan risiko sampai kemungkinan terjadinya kecelakaan, kontrol untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan tindakan persiapan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkannya (GCPS, 2010)

Metodologi seperti ini (Bow tie analysis) dapat digunakan untuk menilai tipe-tipe masalah yang berbeda, tetapi dalam hal keselamatan, tipe analisis ini digunakan untuk menilai dan mendukung accident analysis, process hazard dan penyelenggaraan manajemen risiko (Clixto, 2015)

Metode bow tie risk analysis menghubungkan bahaya dan dampaknya melalui rangkaian garis kejadian yang dapat digambarkan secara grafik dalam bentuk diagram yang menunjukkan rute menuju kecelakaan (ATSIC, 2009)

Lebih penting lagi, tindakan pencegahan dan pengurangan dihubungkan ke dalam tugas, prosedur, tanggung jawab secara individu dan kompetensi yang dimiliki. Ini menunjukkan hubungan yang krusial antara pengendalian risiko (hardware maupun human intervention) dan sistem manajemen untuk memastikan keefektifitasannya yang sedang berjalan.

- Barrier Analysis

Barrier dijelaskan sebagai sesuatu yang ditempatkan antara orang (person) dan bahaya untuk mencegah orang itu terluka atau celaka (wise global training, 2015). Safety barrier adalah alat atau sarana dalam bentuk fisik dan atau non fisik yang direncanakan untuk mencegah, mengontrol atau mengurangi kejadian yang tidak diinginkan (undesired event) atau kecelakaan (Sklet, 2005). Barrier system adalah sistem yang telah didesain dan diimplementasikan untuk melakukan satu atau lebih fungsi barrier untuk barrier yang akan digunakan harus dapat menghentikan threat, dapat efektif dalam meminimalisir dampak, dapat berdiri sendiri dan barrier yang lain pada garis yang sama.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

- Failure Mode Effect Analysis

Analisis pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis menggunakan metode FMEA. Failure Mode and Effect Analysis digunakan untuk mengidentifikasi proses desain dan potensi kegagalan sebelum terjadi dengan maksud untuk menghilangkan atau meminimalkan risiko yang terkait. Misal pada contoh kali ini yaitu membahas Steam water drum pada Boiler. Equipmentnya adalah Steam water drum dengan Function yaitu sebagai tempat menampung uap dan air pada boiler. Functional Failure yaitu komposisi uap dan air pada boiler tidak seimbang, Failure mechanism Pulley terlalu banyak uap. Sedangkan untuk Effect of failure Pulley batubara dapat merusak pipa ataupun turbin karena terlalu panas dapat menghasilkan bengkok.

Consequence dan likelihood dikombinasikan untuk menentukan level dari risiko. Consequence dan likelihood

FMEA WORKSHEET

Sistem: Boiler

Study Node 10

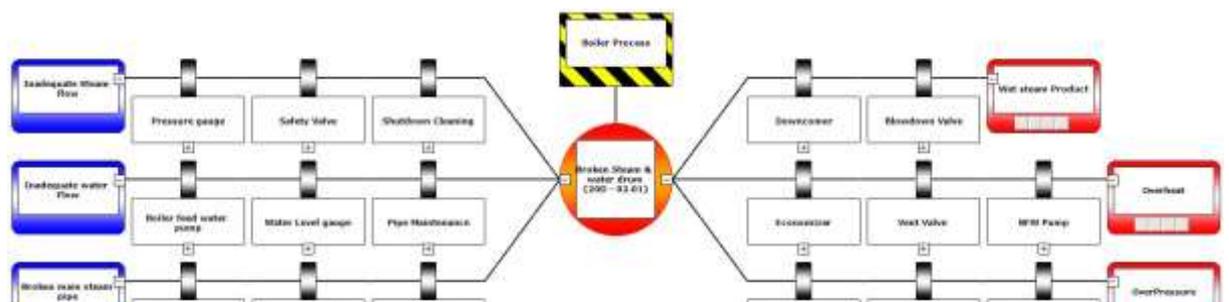
No	Equipment	Function	Function Failure	Description of failure			Effect failure	D	P	Tingkat risiko	Keterangan
				Failure Mode	Failure Mechanism	Detection Of failure					
1.	Steam & water drum	Tempat menampung uap dan air pada boiler	Komposisi Steam dan air tidak seimbang	Terlalu banyak uap	Kurangnya maintenance	Overheat	Dapat merusak pipa maupun turbin	4	4	16	Tinggi
				Terlalu banyak air		Uap yang dihasilkan adalah uap basah					

dapat ditentukan melalui analisis statistik dan perhitungan, Apabila data historis tersebut tidak tersedia maka perkiraan subyektif dapat digunakan dimana dalam hal ini akan menggambarkan tingkat kepercayaan diri dari individu atau kelompok dimana event tersebut akan terjadi.

Perhitungan FMEA pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perhitungan nilai resiko dengan matriks resiko antara likelihood dan consequence. Matriks risiko membantu untuk menentukan nilai resiko yang diperoleh antara perkalian likelihood (dampak) dan consequence (peluang). Sedangkan likelihood dan consequence sendiri memiliki kriteria untuk menentukan tingkat risiko.

- Bowtie Analysis

Steam & water Drum merupakan alat pada boiler yang berfungsi sebagai tempat untuk menampung antara air dan uap yang dijadikan 1 tempat komposisi air dan uap harus seimbang jika hasil yang diinginkan baik. Ada mode kegagalan (Failure mode) pada Steam & Water Drum, Steam & water Drum mengalami kerusakan komposisi Uap dan air pada Steam dan water Drum tidak seimbang sehingga akan mengalami beberapa dampak Jika uap yang terlalu banyak dalam steam drum maka sistem akan mengalami overheat (terlalu panas) sehingga tubes bisa



mengalami rusak bengkok atau bocor dan uap panas ini akan merusak turbin jika digunakan. Karena ada batasan temperatur tertentu untuk menggerakkan sebuah turbin. Jika air terlalu banyak (Overcarry) hal ini akan berdampak pada uap yang dihasilkan boiler, karena jika air yang terlalu banyak pada steam & water drum akan menyebabkan pemisahan air dan steam didalam drum tidak akan sempurna sehingga produk yang dihasilkan oleh boiler yaitu uap basah (banyak mengandung air). Uap basah ini juga tidak baik bila digunakan untuk turbin karena turbin hanya boleh diproses dengan uap kering.

Pada Top Event Ini terdapat 3 threat yaitu yang pertama ialah aliran uap yang tidak memadai dengan 3 barrier (Preventive control) untuk mengatasinya. Barrier-barrier tersebut adalah adanya pressure gauge, Safety Valve, dan Shutdown cleaning. Untuk masing-masing preventive control telah ada barrier untuk escalation factor (faktor penyebab barrier gagal). Threat yang kedua adalah aliran air yang tidak memadai dilengkapi dengan 3 preventive control yaitu boiler feed water pump, water level gauge, dan perawatan pipa. Untuk masing-masing preventive control telah ada barrier untuk escalation factor. Threat yang ketiga rusaknya pipa uap utama dilengkapi dengan 3 preventif control seperti pemeriksaan spesifikasi pada pipa, tes kecacatan pada pipa, dan adanya tes dan inspeksi dari pihak luar.. selanjutnya Top event ini memiliki konsekuensi Boiler akan mengalami kegagalan produk yaitu uap basah yang tidak bisa digunakan pada turbin, terdapat beberapa mitigating measure untuk mencegah dan menanggung konsekuensi tersebut seperti downcomer dan blowdown valve, dan sudah ada barrier untuk escalation factor (faktor yang menyebabkan barrier gagal). Sedangkan untuk consequence berikutnya yaitu Overheat, terdapat beberapa mitigating measure seperti economizer, vent valve, dan BFW pump dan sudah ada barrier untuk escalation factor (faktor yang menyebabkan barrier gagal). Selanjutnya Overpressure terdapat beberapa mitigating measure seperti safety valve, valve venting steam drum, pressure indicator atau flow meter.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada Boiler UBB maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut, Hasil penentuan risk ranking pada FMEA dengan menggunakan risk matriks diperoleh 39 resiko dengan kategori rendah 31 resiko dengan kategori sedang dan 3 resiko dengan kategori tinggi. Selain itu potensi bahaya umum yang dapat terjadi ialah kerusakan pada steam water drum, attemperator serta sudu dan rotor turbin. Barrier yang ada telah mencukupi dimana pada Top event yang tergolong high risk telah tersedia minimal 3 preventive control untuk setiap threat seperti oil level gauge, water level gauge, shutdown cleaning dan minimal 1 mitigating measure untuk setiap consequence seperti economizer downcomer serta blowdown valve. Setelah dilakukan identifikasi bahaya menggunakan bowtie analysis didapatkan ketidakcukupan pada escalation factor barrier seperti monitoring from control room, serta tidak adanya SOP pada Turbin.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Book Gareth. (2007). An Introduction to The Bow-Tie Method. Dubai. Ristek Solutions
- Burgess-Limerick Et Al. (2014). Bow-Tie Analysis of A Fatal Underground Coal Mine Collision. Ergonomics Australia, 10:2
- Center for Chemical Process Safety (CCPS), (1992). Guidelines for Hazard Evaluation Procedures – 2nd edition. New Jersey.
- Clifford Jones. (2014). Hydrocarbon Process Safety. Second Edition. Caithness. Whittles Publishing
- Erajati, D. (2015). Laporan Resmi Praktikum Boiler. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Groot Arthur. (2014). Operational Safety and Risk Management Based on Bow tie Methodology. Royal Haskoning Dvh
- Hamzah Z Syed. (2012). Use Bow tie Tool For Easy Hazard Identification. Singapore. Fourteenth Asia Pasific Confederation of Chemical Engineering Congress.
- Hauptmanns Ulrich. (2015). Process And Plant Safety. Heidelberg. Springer
- Mullinger Peter Dan Jenkins Barrie. (2014). Industrial and Process Furnaces. Second Edition. Elsevier
- Owain Tucker, Et Al. (2013). Containment Risk Management for Co2 Storage in a Depleted Gas Field. Elsevier. Energy Procedia. 37 4804-4817.
- Peraturan Uap Tahun 1930 (Stoom Ordonantie)

Soekarto G.J. (2016). Identifikasi Bahaya dengan Menggunakan Metode Bowtie Pada Thermal De Asphalting Unit (Studi kasus: PTXY). Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Turbojevic M Vladimir. (2008). *Optimising Hazard Management by Workforce Engagement and Supervision*. London. Risk Support