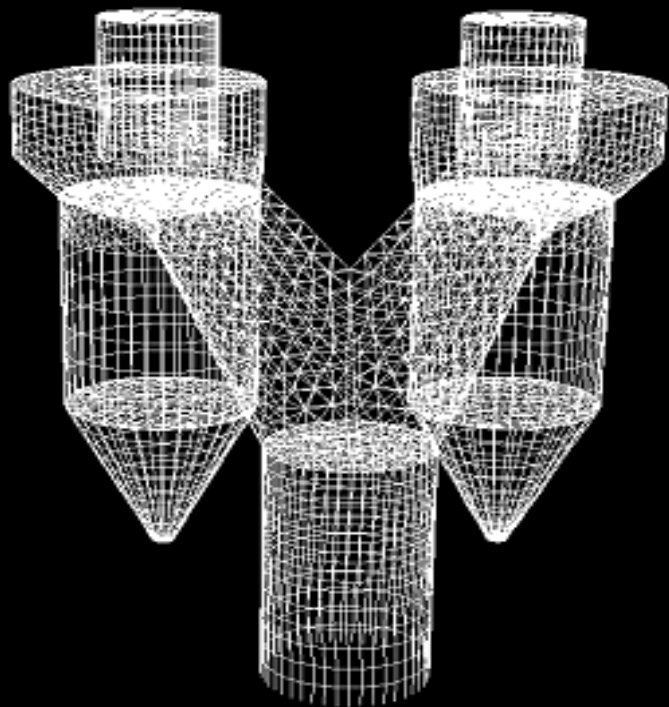


Jurnal Teknik Mesin

Jurnal Teknik Mesin
Volume XIX - No. 2 - Oktober 2004



EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua), A. Suwono,
D. Suharto, K. Bagiasna,
S. D. Jenie, S. S. Brodjonegoro,
Abdurrachim, I. Nurhadi,
R. Suratman, P. S. Darmanto.

MITRA BESTARI

I. P. Nurprasetio (ITB)
I. S. Putra (ITB)
A. I. Mahyuddin (ITB)
Y. Yuwana (ITB)
Z. Abidin (ITB)
P. Sutikno (ITB)
T. Hardianto (ITB)
T. A. F. Soelaiman (ITB)
N. P. Tandian (ITB)
S. Wiryolukito (ITB)
A. Basuki (ITB)

REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua), I. G. W. Puja,
Indrawanto, W. Adriansyah,
A. Wibowo, I. N. Diasta.

ALAMAT REDAKSI

Gedung LITBANG Sarana dan
Prasarana-Lt.III
Institut Teknologi Bandung
Jalan Tamansari 126
Bandung 40132
Tel. : (022)-2502342
Fax: (022)-2502342
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id
nono@termo.pauir.itb.ac.id

CARA BERLANGGANAN

Permintaan berlangganan dapat
dikirimkan ke alamat redaksi di
atas.

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun
Bulan April dan Oktober.

EDITORIAL

Pada Volume XIX no. 2, Jurnal mesin terbit dengan lima buah makalah. Makalah pertama yang berjudul Analisis Reaktor Kimia Berdasarkan Standar Inspeksi Berbasis Resiko API 581 ditulis oleh T.A. Fauzi Soelaiman dari Departemen Teknik Mesin ITB dan tim dari Departemen Pertambangan ITB. Makalah ini membahas pentingnya melakukan inspeksi resiko terhadap peralatan proses, dan hasil penerapan inspeksi resiko pada suatu reaktor kimia. Hasilnya menunjukkan bahwa metoda yang digunakan dapat dipakai untuk memprediksi resiko pada komponen-komponen reaktor kimia dengan cukup baik.

Makalah kedua berjudul Kaji Eksperimental dan Numerik Kinerja *Cyclo Dust Filter*, ditulis oleh Prihadi Setyo Darmanto dan Joko Sarsetyanto dari Departemen Teknik Mesin. Makalah ini membahas keandalan *Cyclo Dust Filter*, yang berupa gabungan siklon dan filter kain, dalam menyaring partikel dari aliran gas. Analisis keandalan dilakukan dengan kaji numerik dan eksperimen. Hasil analisis antara lain menunjukkan bahwa efisiensi pemisahan *Cyclo Dust Filter* dapat mencapai 99% yang menyamai efisiensi *electrostatic precipitator*. Disamping efisiensi, hasil analisis juga menunjukkan pengaruh parameter-parameter penting terhadap kinerja alat.

Carolus Bintoro, mahasiswa Departemen Teknik Mesin, beserta para pembimbingnya menulis makalah ketiga yang diberi judul: Kaji Komputasional Pengaruh Beban dan Keausan terhadap Kekakuan Bantalan Rol. Makalah ini membahas hasil kajian secara numerik pengaruh peningkatan keausan terhadap peningkatan kekakuan bantalan. Selain itu, kajian numerik yang dikembangkan juga berhasil memperlihatkan hubungan antara defleksi dan kekakuan serta gaya radial dan kekakuan sebagai fungsi dari keausan yang dinyatakan dalam *diametral clearance* (Cd).

Makalah keempat ditulis oleh Maria F. Sutanto yang merupakan mahasiswa program doktor yang melakukan penelitian di Laboratorium Termodinamika PPAU – IR ITB. Makalah ditulis bersama para pembimbingnya. Makalah ini membahas kaji eksperimen kinerja sudu turbin angin berbentuk silinder berputar yang dilengkapi dengan rotor Savonius. Hasil pengujian menunjukkan bahwa silinder yang berputar dapat digunakan sebagai sudu kincir angin karena adanya gaya angkat yang timbul dari efek Magnus yang terjadi pada silinder tersebut. Perbandingan panjang dan diameter silinder yang baik adalah 4.

Makalah terakhir ditulis oleh Ondřej Cundr dari Czech Technical University in Prague. Makalah yang berjudul *A Plausible Energy Yield from Palm Oil Mill Effluent*, membahas mengenai potensi limbah minyak kelapa sawit untuk dijadikan bahan bakar gas. Makalah ini memuat data-data potensi limbah yang dapat dimanfaatkan dan metoda gasifikasi yang mungkin diterapkan.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. XIX, No. 2, Oktober 2004

No. ISSN: 0852-6095

Diterbitkan oleh : Departemen Teknik Mesin, FTI

Institut Teknologi Bandung

Surat ijin

: STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

DAFTAR ISI

<i>Analisis Resiko Reaktor Kimia Berdasarkan Standar Inspeksi Berbasis Resiko (Risk Based Inspection: RBI) API 581</i> T. A. Fauzi Soelaiman, Ahmad Taufik dan Tito Arya Soma	37
<i>Kaji Eksperimental dan Numerik Kinerja Cyclo Dust Filter</i> Prihadi Setyo Darmanto dan Joko Sarsetyanto	49
<i>Kaji Komputasional Pengaruh Beban dan Keausan Terhadap Kekakuan Bantalan Rol</i> Carolus Bintoro, Komang Bagiasna, Djoko Suharto dan Zainal Abidin	56
<i>Kaji Eksperimen Optimasi Koefisien Daya SKEA Jenis Poros Datar dengan Sudu Gabungan Silinder Berputar dan Rotor Savonius</i> Maria F. Soetanto, Aryadi Suwono, Prihadi S. Darmanto dan Ari D. Pasek	63
<i>A Plausible Energy Yield from Palm Oil Mill Effluent</i> Ing. Ondřej Cundr	70

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. XIX, No. 2, Oktober 2004

ANALISIS RESIKO REAKTOR KIMIA BERDASARKAN STANDAR INSPEKSI BERBASIS RESIKO (*RISK BASED INSPECTION: RBI*) API 581

T. A. Fauzi Soelaiman⁽¹⁾, Ahmad Taufik⁽²⁾, dan Tito Arya Soma⁽¹⁾

¹⁾ Lab. Termodinamika, KPP-IR & G, ITB & Departemen Teknik Mesin, FTI, ITB
Jalan Tamansari 126, Bandung 40132, Telepon/Fax: 022-2502342

E-mail: fauzi@termo.pauir.itb.ac.id, otit_131@yahoo.com

²⁾ *Metal Performance Assessment Group* & Departemen Pertambangan, FIKTM, ITB
E-mail: mpag@cbn.net.id

Ringkasan

Inspeksi adalah sebuah aktivitas yang dilakukan untuk mendeteksi dan mengevaluasi kemungkinan adanya kerusakan atau penurunan kualitas akibat beroperasinya suatu peralatan. Metode Risk Based Inspection (RBI) adalah salah satu jenis metode pengelolaan inspeksi yang didasarkan pada tingkat resiko pengoperasian sebuah peralatan atau unit kerja industri. Metode RBI memakai pendekatan kombinasi dua parameter, yaitu: kategori kemungkinan kegagalan dan kategori konsekuensi kegagalan. Studi kasus penentuan tingkat resiko menggunakan metode RBI dilakukan pada bejana tekan jenis reaktor kimia pada sebuah industri petrokimia, yaitu: Hydrotreater, Secondary Reformer, Shift Converter, Ammonia Synthesis Converter, Methanator, Zinc Oxide Guard, dan Mercury Guard Chamber. Hasil yang didapatkan untuk analisis menggunakan metode kualitatif pada semua peralatan adalah: Hydrotreater (Resiko Rendah), Secondary Reformer (Resiko Rendah), Shift Converter (Resiko Rendah), Ammonia Synthesis Converter (Resiko Rendah), Methanator (Resiko Rendah), Zinc Oxide Guard (Resiko Rendah), Mercury Guard Chamber (Resiko Rendah). Hasil analisis menggunakan metode semi kuantitatif untuk semua peralatan yang dianalisis adalah: Hydrotreater (Resiko Tinggi), Secondary Reformer (Resiko Tinggi), Shift Converter (Resiko Tinggi), Ammonia Synthesis Converter (Resiko Tinggi), Methanator (Resiko Tinggi), Zinc Oxide Guard (Resiko Tinggi), Mercury Guard Chamber (Resiko Tinggi).

Abstract

Inspection is an activity to detect and evaluate the possibility of damage or degradation of operating equipment. Risk Based Inspection (RBI) Method is one of management inspection methods based on risk level of an equipment or a work unit. The RBI Method uses a combination of two parameters (category of failure possibility and category of failure consequence) for determining the level of risk for industrial equipment. The method was applied to several chemical reactors in a petrochemical industry such as Hydrotreater, Secondary Reformer, Shift Converter, Ammonia Synthesis Converter, Methanator, Zinc Oxide Guard, and Mercury Guard Chamber. Using qualitative RBI method, the risks of the equipment are as follow: Hydrotreater (Low Risk), Secondary Reformer (Low Risk), Shift Converter (Low Risk), Ammonia Synthesis Converter (Low Risk), Methanator (Low Risk), Zinc Oxide Guard (Low Risk), and Mercury Guard Chamber (Low Risk). Meanwhile, using semi-quantitative RBI method, the risks were found to be: Hydrotreater (High Risk), Secondary Reformer (High Risk), Shift Converter (High Risk), Ammonia Synthesis Converter (High Risk), Methanator (High Risk), Zinc Oxide Guard (High Risk), Mercury Guard Chamber (High Risk).

Keywords: *RBI method, inspection, risk, chemical reactors.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan laju produksi yang tinggi bagi sebuah industri adalah suatu hal yang sangat diinginkan. Adakalanya, untuk mencapai laju produksi yang tinggi, sebuah industri melupakan satu hal yang penting, yaitu ketahanan dari peralatan atau unit yang mendukung proses produksinya. RBI (*Risk Based Inspection*) atau Inspeksi Berbasis Resiko adalah salah satu metode pengelolaan inspeksi atas peralatan atau unit kerja dalam

suatu pabrik, yang didasarkan pada analisis tingkat resiko yang dimiliki oleh peralatan atau unit kerja tersebut^[1]. Secara singkat, beberapa hal yang dapat dilakukan metode RBI adalah sebagai berikut^[1]:

- a. Pemindaian (*screening*) mengenai keadaan peralatan dalam pabrik (data historis kegagalan, kondisi operasi, data desain, sistem deteksi kegagalan, sistem mitigasi, dan sebagainya).
- b. Penentuan tingkat resiko (*risk assessment*) peralatan menggunakan metodologi yang

dimuat dalam konsep RBI, sekaligus mengurutkan (*ranking*) peralatan menurut tingkat risikonya.

- c. Merencanakan program inspeksi yang lebih terarah, yaitu memprioritaskan inspeksi pada peralatan yang tingkat risikonya tinggi (sesuai obyeknya maupun metode inspeksinya).

Pada industri skala kecil sampai menengah, ketiga kegiatan di atas dapat dilakukan dalam waktu yang relatif tidak terlalu lama. Sedangkan pada industri skala besar, ketiga kegiatan di atas tentu saja memerlukan waktu yang relatif cukup lama. Lama waktu yang diperlukan untuk kegiatan ini dipengaruhi oleh jumlah peralatan atau unit kerja, cakupan luas pabrik, dan kemudahan dalam penelusuran data-data yang dibutuhkan (misalnya: data historis kegagalan, kondisi operasi, data desain, sistem deteksi kegagalan, sistem mitigasi, dan sebagainya). Proses pelengkapan data-data untuk menentukan tingkat resiko dengan menggunakan RBI yang cukup memakan waktu ini terkadang menjadi kendala yang cukup serius karena akan menyebabkan hasil yang didapat menjadi tidak aktual lagi. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pengolahan data yang dibutuhkan oleh metode RBI secara cepat, tepat dan aktual. Proses penyimpanan data-data yang diperlukan oleh RBI serta hasil analisis tingkat resiko yang didapatkan juga merupakan hal yang tidak bisa dikesampingkan. Hal ini karena data-data inspeksi yang ada akan dijadikan perbandingan dengan data-data dan hasil penentuan tingkat resiko di lain waktu sehingga dapat dipakai sebagai bahan evaluasi kelayakan pakai peralatan yang ada.

2. INSPEKSI BERBASIS RESIKO

Bagian ini menjelaskan sejarah ringkas dan dasar metode RBI sebagai pengantar awal untuk makalah ini dan makalah-makalah berikutnya.

Metode RBI berdasarkan standar API (*American Petroleum Institute*) pertama kali diperkenalkan pada tahun 1993 dan disponsori oleh kelompok industri minyak dan gas antara lain: Amoco, ARCO, Ashland, BP, Chevron, CITGO, Conoco, Dow Chemical, DNO Heather, DSM Service, Equistar, Exxon, Fina, Koch, Marathon, Mobil, Petro-Canada, Phillips, Saudi Aramco, Shell, Sun, Texaco, dan UNOCAL^[1]. Metode RBI memberikan perhatian terhadap dampak yang didapatkan dari sebuah kecelakaan atau kegagalan yang terjadi pada empat hal di bawah ini, yaitu^[1]:

1. Resiko ke dalam yang berhubungan dengan karyawan dan pelaksana di lapangan.
2. Resiko ke luar yang berhubungan dengan masyarakat di sekitar perusahaan atau pabrik.
3. Resiko interupsi secara ekonomi akibat terjadinya penghentian proses produksi.
4. Resiko kerusakan lingkungan.

RBI mengkombinasikan keempat hal di atas dalam mengambil keputusan mengenai kapan, dimana, dan bagaimana program inspeksi yang tepat untuk sebuah pabrik. Selain itu, RBI menyediakan metodologi yang

dapat digunakan untuk menentukan kombinasi yang optimum antara metode dan frekuensi inspeksi. Salah satunya adalah dengan meningkatkan kualitas inspeksi yang dilakukan dan diikuti dengan program perawatan yang intensif dengan maksud mereduksi frekuensi kegagalan peralatan pada masa mendatang. Prosedur penentuan tingkat resiko berdasarkan RBI dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis pendekatan, yaitu^[1]: pendekatan secara kualitatif dan pendekatan secara kuantitatif. Pada umumnya, analisis tingkat resiko dengan pendekatan kualitatif lebih diaplikasikan untuk pemindaian awal dari suatu unit besar atau sejumlah besar peralatan dari sebuah unit operasi. Hasil dari analisis secara kualitatif dapat dipakai untuk memprioritaskan peralatan-peralatan yang dianggap paling beresiko yang nantinya akan dievaluasi kembali tingkat risikonya berdasarkan pendekatan secara kuantitatif. Sedangkan pendekatan kuantitatif yang dilakukan dengan data dan informasi yang rinci dari pabrik, akan menghasilkan tingkat resiko untuk setiap peralatan atau segmen perpipaan yang ada secara rinci pula.

Metode RBI menggunakan dua parameter utama untuk mendapatkan tingkat resiko dari sebuah peralatan, yaitu kategori kemungkinan kegagalan dan kategori konsekuensi kegagalan. Kategori kemungkinan kegagalan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain:

1. Jenis material konstruksi peralatan yang dianalisis,
2. Laju korosi, berdasarkan hasil inspeksi, pendapat atau opini ahli, atau dari modul teknik,
3. Keefektifan inspeksi,
4. dan lain-lain.

Kategori konsekuensi kegagalan dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

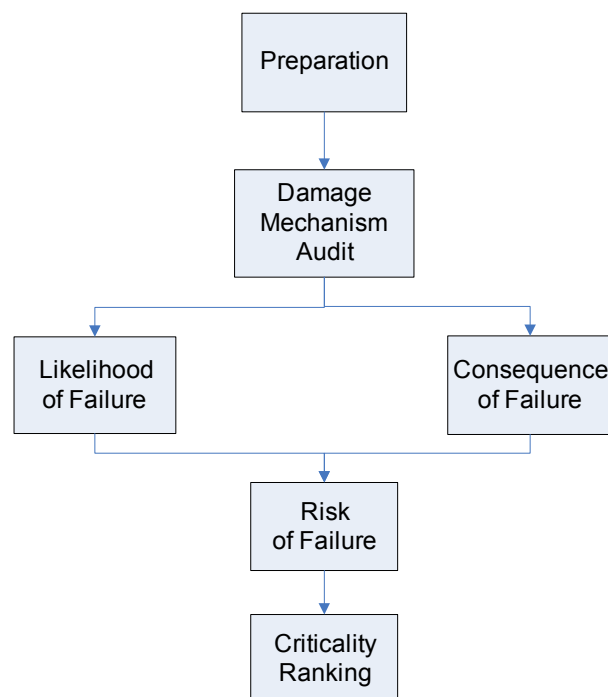
1. Fluida kerja dan fasanya,
2. Kandungan racun,
3. Temperatur operasi,
4. Tekanan operasi,
5. Sistem isolasi dan mitigasi yang diterapkan,
6. dan lain-lain.

Analisis menggunakan pendekatan kualitatif diawali dengan menentukan beberapa faktor yang tergolong kategori kemungkinan kegagalan pada unit yang dianalisis. Selanjutnya dilakukan penentuan beberapa faktor yang termasuk kategori konsekuensi kegagalan. Pada bagian akhir analisis, kedua faktor tersebut dikombinasikan sehingga didapatkan tingkat resiko pada matriks resiko untuk unit yang dianalisis. Langkah-langkah yang ditempuh mulai dari pengumpulan data, lalu dilanjutkan ke analisis berdasarkan kemungkinan dan konsekuensi hingga didapatkan matriks resiko secara sederhana dapat digambarkan pada Gambar 1.

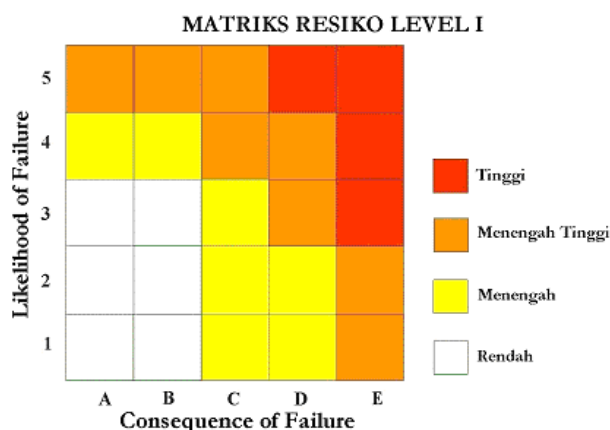
Tingkat resiko dari peralatan yang dianalisis menggunakan metode RBI, divisualisasikan menggunakan matriks 5 x 5 dengan sumbu tegaknya adalah kategori kemungkinan kegagalan dan sumbu datarnya adalah kategori konsekuensi kegagalan. Bentuk

dari matriks resiko serta kategorinya dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

Penentuan tingkat resiko menggunakan metode RBI secara kuantitatif merupakan proses analisis lebih lanjut yang dapat dilakukan oleh sebuah perusahaan atau pihak industri untuk mengetahui kondisi peralatannya secara lebih akurat. Sebelum dilakukan proses analisis secara kuantitatif, terdapat analisis secara semi-kuantitatif yang sebenarnya merupakan bagian dari analisis kuantitatif itu sendiri.



Gambar 1 Urutan langkah penentuan tingkat resiko pada sebuah peralatan^[3].



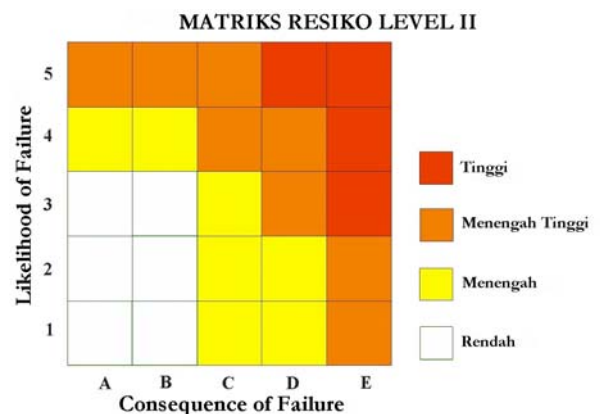
Gambar 2 Matriks resiko analisis kualitatif^[1].

Analisis kemungkinan kegagalan menggunakan metode RBI dengan pendekatan kuantitatif diawali dengan basis data frekuensi kegagalan secara umum dari beberapa peralatan yang spesifik. Untuk aplikasi kemungkinan kegagalan pada metode RBI, data-data frekuensi kegagalan yang masih umum tersebut harus dimodifikasi dengan menggunakan Faktor Modifikasi

Peralatan (F_E) dan Faktor Modifikasi Manajemen (F_M)^[1].

Untuk mendapatkan frekuensi kegagalan yang sebenarnya data-data frekuensi kegagalan dari setiap peralatan yang masih umum tersebut harus dikalikan dengan Faktor Modifikasi Peralatan (F_E) dan Faktor Modifikasi Manajemen (F_M). Basis data frekuensi kegagalan yang masih umum tersebut didapatkan dari kumpulan data-data kegagalan peralatan dari bermacam-macam sumber industri. Faktor Modifikasi Peralatan dievaluasi berdasarkan lingkungan kerja peralatan yang dianalisis sehingga akan didapatkan faktor peralatan yang baru yang merupakan kondisi spesifik alat tersebut. Sedangkan Faktor Modifikasi Manajemen dievaluasi berdasarkan fasilitas keamanan serta kesatuan fungsi mekanik dari peralatan yang dianalisis.

Untuk setiap peralatan yang dianalisis, resiko yang harus ditanggung adalah penjumlahan dari resiko per kejadian kegagalan pada peralatan tersebut^[1]. Jenis resiko dari sebuah peralatan tergantung pada konsekuensi dari kejadian kegagalan yang dialami peralatan tersebut. Pada pendekatan RBI, jenis resiko dengan satuan ft^2 /tahun biasanya diterapkan untuk jenis resiko akibat kebakaran, ledakan atau terlepasnya fluida beracun. Sedangkan jenis resiko dengan satuan $\$/$ tahun biasanya diterapkan untuk jenis resiko yang berkaitan dengan terganggunya lingkungan hidup atau adanya interupsi secara ekonomi. Bentuk matriks resiko dari analisis menggunakan metode kuantitatif adalah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Matriks resiko analisis semi-kuantitatif^[1].

3. STUDI KASUS ANALISIS TINGKAT RESIKO PADA REAKTOR KIMIA

Studi kasus penentuan tingkat resiko menggunakan metode RBI dilakukan pada tujuh bejana tekan reaktor kimia yang berada di PT. Pupuk Kujang (Persero), yaitu:

1. *Hydrotreater* (101-D)
2. *Secondary Reformer* (103-D)
3. *Shift Converter* (104-D)
4. *Ammonia Synthesis Converter* (105-D)
5. *Methanator* (106-D)
6. *Zinc Oxide Guard Chamber* (108-D)
7. *Mercury Guard Chamber* (109-D)

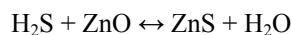
Secara singkat fungsi dari ke tujuh reaktor kimia tersebut adalah sebagai berikut^[4]:

Hydrotreater

Reaktor jenis ini di pabrik pengolahan amonia berfungsi sebagai pendekomposisi unsur belerang di dalam gas alam. Unsur belerang dalam gas alam direaksikan dengan H_2 membentuk H_2S . Proses dekomposisi unsur belerang tersebut dilakukan oleh katalis *cobalt molybdenum*.

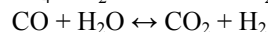
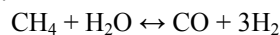
Guard Chamber

Reaktor jenis ini memakai katalis ZnO berupa *pellet* untuk mengubah H_2S yang ada di dalam aliran gas alam menjadi ZnS . Reaksi kimia yang terjadi di reaktor ini adalah:



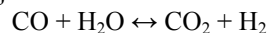
Secondary Reformer

Reaktor jenis ini menggunakan katalis nikel untuk membantu reaksi antara gas alam dan uap air menjadi CO_2 dan H_2 . Reaksi-reaksi yang terjadi pada reaktor jenis ini adalah:



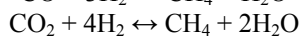
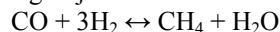
Shift Converter

Pada umumnya *shift converter* pada pabrik pengolahan amonia terdiri dari dua jenis, yaitu *high temperature shift converter* dan *low temperature shift converter*. Fungsi dari reaktor jenis ini adalah untuk mereaksikan gas CO yang terbentuk dari *secondary reformer* menjadi CO_2 . Reaksi yang terjadi di dalam reaktor ini adalah:



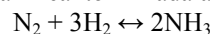
Methanator

Gas CO dan CO_2 yang masih terdapat dalam aliran proses akan berdampak merusak pada reaktor pembentuk amonia (*ammonia converter*). Oleh karena itu, digunakan *methanator* untuk menyempurnakan pemisahan gas-gas CO dan CO_2 dari aliran proses. Reaksi-reaksi yang terjadi di dalam reaktor ini adalah:



Ammonia Converter

Reaktor kimia jenis ini dipakai untuk mereaksikan N_2 dan H_2 menjadi NH_3 dengan bantuan katalis besi. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor ini adalah:



Setiap tahap analisis penentuan tingkat resiko menggunakan metode RBI, diawali dengan penentuan fluida representatif terlebih dahulu^[1]. Untuk analisis secara kualitatif, fluida representatif dicari dengan cara melihat laju aliran unsur-unsur yang masuk ke dalam peralatan yang dianalisis serta indeks unsur-unsur tersebut menurut NFPA (*National Fire Protection Association*). Sebagai contoh, untuk *Secondary Reformer* laju aliran masuk untuk setiap unsur adalah:

Tabel 1 Laju Aliran Masuk Tiap Unsur pada *Secondary Reformer*

Unsur	Aliran 1 (kg/jam)	Aliran2 (kg/jam)
O_2	6424,70	13989,75
H_2	1037,84	0,00
N_2	8971,78	45511,68
CH_4	19,00	0,00
Ar	11908,51	783,13
CO	22706,96	0,00
Gas Kering Total	51047,00	60331,00

Sedangkan indeks tiap unsur yang terlibat menurut NFPA, adalah:

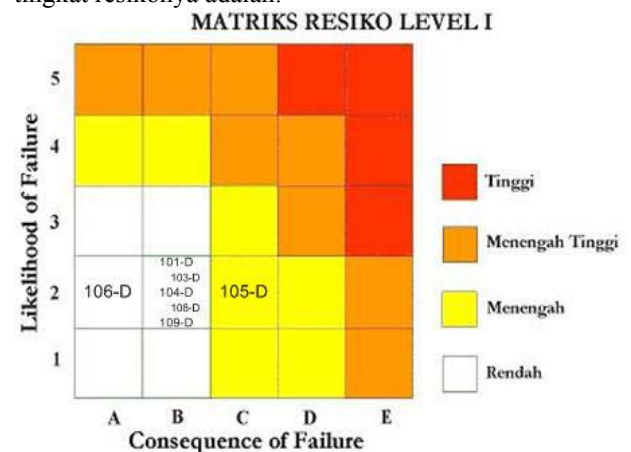
Tabel 2 Indeks NFPA Unsur-unsur pada Aliran Masuk *Secondary Reformer*^[2]

Unsur	Health	Flammability	Reactivity
O_2	0	0	0
H_2	0	4	0
N_2	0	0	0
CH_4	1	4	0
Ar	0	0	0
CO	3	4	0

Dari kedua tabel tersebut terlihat bahwa unsur CO merupakan unsur yang paling berbahaya menurut NFPA serta mempunyai laju aliran yang relatif besar. Oleh karena itu, dapat dipastikan bahwa unsur CO sebagai fluida representatif dalam analisis kualitatif. Langkah selanjutnya setelah mendapatkan jenis fluida representatif adalah memasukkan data kondisi operasi peralatan. Sebagai contoh untuk *Secondary Reformer*, data kondisi operasinya adalah sebagai berikut:

- Tekanan Desain : 460,84 psig
- Tekanan Operasi : 442,35 psig
- Temperatur Operasi : 950°F
- Material Konstruksi : SA-516 Gr. 70

Sesuai dengan *Workbook A* API 581 sebagai acuan langkah-langkah penentuan tingkat resiko metode kualitatif, untuk seluruh reaktor kimia yang dianalisis, tingkat risikonya adalah:



Gambar 4 Tingkat resiko seluruh reaktor kimia yang dianalisis menggunakan metode kualitatif.

Terlihat dari matriks resiko di atas bahwa distribusi kondisi tingkat resiko seluruh reaktor kimia yang dianalisis termasuk ke dalam tingkat resiko rendah.

Pada analisis menggunakan metode semi-kuantitatif, juga harus dilakukan penentuan fluida representatif terlebih dahulu. Fluida representatif pada analisis menggunakan metode semi-kuantitatif didasarkan pada nilai titik didih tiap unsur yang ada dalam aliran. Sebagai contoh pada *Secondary Reformer*, nilai titik didih dari setiap unsur yang ada dalam aliran proses, adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Nilai Titik Didih Tiap Unsur pada Aliran Masuk *Secondary Reformer*^[2]

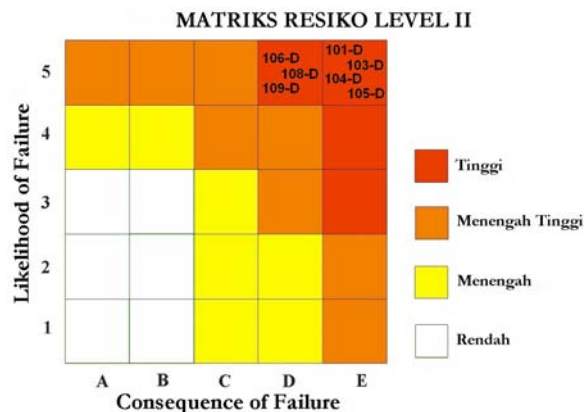
Unsur	Aliran 1 (kg/jam)	Aliran 2 (kg/jam)	Titik Didih Normal (K)
O ₂	6424,70	13989,75	90,00
H ₂	1037,84	0,00	20,22
N ₂	8971,78	45511,68	77,00
CH ₄	19,00	0,00	109,00
Ar	11908,51	783,13	87,00
CO	22706,96	0,00	81,00
Gas Kering Total	51047,00	60331,00	

Dari data titik didih tiap unsur tersebut dapat dihitung nilai titik didih campurannya, yaitu dengan mengalikan titik didih dengan laju aliran untuk tiap unsurnya kemudian dibagi dengan laju aliran total. Selanjutnya nilai titik didih campuran tersebut dicocokkan dengan sifat-sifat fluida representatif yang terdapat pada Tabel 7.2 dari referensi [1]. Dari tabel tersebut didapatkan fluida representatif untuk analisis dengan metode semi-kuantitatif yaitu C1-C2 (Metana, Etana, Etilen, LNG) dengan sifat-sifat sebagai berikut:

- Berat molekul : 23
- Berat jenis (lb/ft³) : 5,639
- Titik didih normal (°F) : -193
- Tingkat keadaan : Gas
- Temperatur *autoignition* (°F) : 1036

Dengan menggunakan kondisi operasi yang telah disebutkan di bagian sebelumnya dan dikombinasikan dengan sifat-sifat tambahan di metode semi-kuantitatif ini, maka hasil penentuan tingkat resiko seluruh reaktor kimia yang dianalisis adalah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.

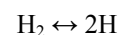
Dari hasil plot seluruh peralatan ke dalam matriks resiko, terlihat bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara analisis secara kualitatif dan semi-kuantitatif. Perbedaan tersebut terjadi karena pada analisis secara kualitatif masih terdapat pengaruh yang cukup kuat dari kondisi *plant* secara keseluruhan. Sedangkan pada analisis secara semi-kuantitatif, pengaruh tersebut tidak dominan lagi. Analisis semi-kuantitatif lebih memfokuskan pada pengolahan data-data teknik serta kondisi aktual peralatan.



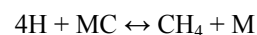
Gambar 5 Tingkat resiko seluruh reaktor kimia yang dianalisis menggunakan metode semi-kuantitatif.

4. PROSES MITIGASI

Hasil analisis penentuan tingkat resiko yang telah dilakukan dengan menggunakan metode semi-kuantitatif menunjukkan bahwa seluruh peralatan berada dalam kondisi resiko tinggi. Jika dilihat dari tingginya temperatur dan tekanan kerja peralatan yang dianalisis, maka mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi adalah *High Temperature Hydrogen Attack* (HTHA). Mekanisme kerusakan HTHA sering terjadi pada kondisi temperatur dan tekanan kerja yang tinggi dari sebuah peralatan. Mekanisme kerusakan ini terbagi atas dua proses, yaitu disosiasi molekul hidrogen dan pembentukan metana. Proses yang pertama, yaitu disosiasi molekul hidrogen dapat dijelaskan oleh reaksi kimia sebagai berikut^[1]:



Reaksi di atas dapat terjadi pada temperatur dan tekanan kerja tinggi. Oleh karena temperatur dan tekanan kerja yang tinggi pula, atom hidrogen tersebut akan masuk ke dalam struktur mikro logam sehingga bereaksi dengan karbida logam sesuai dengan reaksi^[1]:



Senyawa metana yang terbentuk di dalam matriks karbida logam tersebut bersifat mempunyai tekanan internal yang tinggi. Oleh karena itu, dengan adanya akumulasi dari senyawa metana di karbida logam, akan menyebabkan mudah sekali terbentuknya *internal cracking*. Selain itu, akumulasi pembentukan metana di dalam karbida logam tersebut juga akan menyebabkan logam bersifat lebih getas. Fenomena seperti ini tentu saja sangat dihindari oleh pihak-pihak yang memiliki peralatan dengan kondisi kerja ekstrim (temperatur dan tekanan tinggi). Proses penggetasan serta fenomena propagasi *internal cracking*, jika dibiarkan akan menyebabkan peristiwa kecelakaan atau kegagalan yang berakibat sangat fatal. Oleh karena itu, dibutuhkan proses mitigasi yang tepat untuk menghindari atau mereduksi kemungkinan terjadinya kegagalan. Metode

RBI memberikan panduan cara mitigasi yang didasarkan pada mekanisme kerusakan yang dominan terjadi pada peralatan yang dianalisis. Sesuai dengan Tabel 9.19. Aksi Mitigasi Untuk HTHA dari referensi [1] untuk mekanisme kerusakan HTHA, RBI menyarankan dilakukan inspeksi minimal tiga tahun sekali dengan menggunakan metode *ultrasonic testing*. Dengan menggunakan metode pengelolaan inspeksi yang terencana berdasarkan standar API 581, diharapkan tidak terjadi lagi kejadian kecelakaan yang berakibat fatal, bukan saja kepada pihak perusahaan tetapi juga kepada lingkungan sekitar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penjelasan mengenai RBI serta sedikit contoh cara menentukan tingkat resiko untuk reaktor kimia, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Aktivitas inspeksi biasa/tradisional umumnya hanya memperhitungkan *probability/likelihood of failure* daripada *consequence of failure*. Padahal resiko tinggi dari sebuah peralatan dapat dikurangi melalui prosedur mitigasi yang baik.
2. RBI dapat dipakai sebagai alat untuk membantu memutuskan apa, kapan, dan bagaimana mengoptimalkan program inspeksi yang akan dilakukan.
3. RBI dapat diaplikasikan ke arah *risk based management*.
4. Hasil penentuan tingkat resiko menggunakan metode kualitatif RBI untuk seluruh peralatan yang dianalisis adalah sebagai berikut:
 - a. *Hydrotreater* (101-D): Resiko rendah (2-B).
 - b. *Secondary Reformer* (103-D): Resiko rendah (2-B).
 - c. *Shift Converter* (104-D): Resiko rendah (2-B).
 - d. *Synthesis Converter* (105-D): Resiko rendah (2-C).
 - e. *Methanator* (106-D): Resiko rendah (2-A).
 - f. *Zho Guard Chamber* (108-D): Resiko rendah (2-B).
 - g. *Guard Chamber* (109-D): Resiko rendah (2-B).
5. Hasil penentuan tingkat resiko menggunakan metode semi-kuantitatif RBI untuk seluruh peralatan yang dianalisis adalah sebagai berikut:
 - a. *Hydrotreater* (101-D): Resiko tinggi (5-E).
 - b. *Secondary Reformer* (103-D): Resiko tinggi (5-E).
 - c. *Shift Converter* (104-D): Resiko tinggi (5-E).
 - d. *Synthesis Converter* (105-D): Resiko tinggi (5-E).

- e. *Methanator* (106-D): Resiko tinggi (5-D).
 - f. *Zho Guard Chamber* (108-D): Resiko tinggi (5-D).
 - g. *Guard Chamber* (109-D): Resiko tinggi (5-D).
6. Hasil penentuan resiko menggunakan metode semi-kuantitatif untuk seluruh peralatan yang dianalisis adalah resiko tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi temperatur dan tekanan operasi tiap peralatan yang relatif tinggi. Mekanisme kerusakan yang paling menonjol dari seluruh peralatan yang dianalisis adalah HTHA.
 7. Analisis penentuan resiko menggunakan metode semi-kuantitatif memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode kualitatif.

Beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dari makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya jaminan ketersediaan data-data teknik serta sistem basis data yang baik tentang riwayat atau referensi kegagalan spesifik sehingga hasil penentuan resiko akan lebih akurat.
2. Perlu dilakukan program inspeksi secara berkala dan dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama untuk menjaga agar peralatan yang dianalisis selalu dalam kondisi aman dan terkendali. Dengan kondisi tersebut diharapkan tidak pernah terjadi kondisi membahayakan bagi lingkungan kerja maupun lingkungan sekitar.
3. Perlu adanya dukungan dari manajemen semua level dan kerjasama yang baik secara inter departemen perusahaan.

6. DAFTAR SINGKATAN

API : *American Petroleum Institute*
 HTHA : *High Temperature Hydrogen Attack*
 NFPA : *National Fire Protection Association*
 RBI : *Risk Based Inspection*

7. DAFTAR PUSTAKA

1. American Petroleum Institute (API 581), *Risk-Based Inspection - Base Resource Document*, API Publishing Service, Washington, D.C., 2001.
2. <http://www.matheson-trigas.com> (tahun 2003).
3. <http://www.twi.co.uk> (tahun 2003).
4. M. V. Twigg, *Catalyst Handbook*, Wolfe Publishing, London, 1989.