

USULAN PENETAPAN KEBIJAKAN MAINTENANCE FIRED HEATER BOILER PADA RESIN PLANT PT KANSAI PRAKARSA COATINGS DENGAN METODE RISK BASED INSPECTION

Erdea Rizqy Yusufy¹, Sutrisno², Judi Alhilman³

¹Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

Abstrak

Revolusi Industri merupakan salah satu peristiwa dalam sejarah yang berhasil memajukan peradaban manusia dalam waktu yang sangat singkat. Salah satu faktor dalam revolusi ini adalah penggunaan uap sebagai material untuk pemanas dan juga penggerak perangkat mekanis. Pada saat ini, uap dapat dihasilkan melalui mesin boiler yang semakin mutakhir. Namun, semutakhir apapun perangkat, tetaplah memiliki resiko yang tidak dapat diabaikan. Resiko ini dapat terjadi akibat menurunnya kehandalan suatu system akibat pengaruh usia maupun penggunaan. Salah satu kegiatan untuk mempertahankan kehandalan system adalah dengan kegiatan Risk Based Inspection (RBI). Kegiatan ini dilakukan dengan memperhitungkan banyak faktor, diantaranya faktor operasi, material, lingkungan, pembiayaan, dan system manajemen. Fokus utama dari RBI adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan serta penurunan resiko yang berdampak serius baik dalam perspektif keselamatan maupun finansial. PT Kansai Prakarsa Coatings adalah industri cat yang berspesialisasi dalam manufaktur resin berkualitas tinggi dan emulsion paint. Dalam produksi resin ini, digunakan mesin fired heater boiler sebagai penghasil panas dan uap untuk proses produksinya dengan kode identifikasi SB. 03. Boiler ini sering kali mengalami gangguan, yang dapat mengganggu aktifitas proses. Untuk meminimalisir resiko pada boiler, perencanaan jadwal inspeksi secara regular menjadi sangatlah penting. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis dan perhitungan resiko secara kuantitatif dengan menggunakan pedoman API 581 Risk Based Inspection tahun 2008. Yang menjadi objek penelitian adalah komponen pipa api dan juga tangki yang terdapat pada boiler. Melalui identifikasi awal dengan menggunakan Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), terdapat berbagai jenis scenario kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen-komponen yang diteliti. Berdasarkan analisis, ditemukan bahwa tangki dan pipa api berada pada level medium-high risk. Hasil nilai resiko finansial yang dimiliki pipa api cukup besar dan tangki pun memiliki probabilitas tinggi untuk resiko kecelakaan yang dapat menyebabkan kematian. Inspeksi selanjutnya direncanakan untuk dilakukan pada tahun 2018 untuk pipa api dan tahun 2024 untuk tangki

Kata Kunci : Risk Based Inspection, Pipa, Tangki, Boiler, Maintenance Interval, API 581

Telkom
University

Abstract

i ABSTRACT Industrial Revolution was one of the events in the history of human civilization that managed to swiftly bring people to advanced modern world . One of contributors in this revolution was the use of steam engine as tools for heating and also powering mechanical devices to set in motion . Nowadays , steam can be generated through more sophisticated boiler machine. But, even the most sophisticated devices remain carrying risk that can not be ignored. This risk can occur due to a decrease in system reliability due to the influence of age and utilize . One of the activities to maintain the reliability of the system is with the activities of Risk Based Inspection (RBI). This activity is carried out by taking into account many factors, including the operating factor, material, environment, finance, and management systems. The main focus of the RBI is to prevent the occurrence of failure and decrease the risk that seriously impact both safety and financial perspective. PT Kansai Prakarsa Coatings is an industry that specialized in the manufacturing of high quality resin and emulsion paint. In the production of this resin, fired boiler heater is used as heat and steam generator for the production process , using SB. 03 as identification code. Those boiler s often become impaired, which can seriously interfere with the processing activity . To minimize the risk of the boiler, planning regular inspection schedule becomes very important. In this study, analysis is conducted with guidelines of API 581 2008 edition Risk Based Inspection to calculating risk quantitatively . The object of research is components of boiler that are fire tube and tank. Through early identification using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), there are different types of failure scenarios that may occur in the components studied. Based on the analysis, it was found that the flame tube and tank is ranked at the medium - high risk level. As results from risk analysis conducted, it is revealed that fire tubes have moderate financial consequences. Also boiler tank have high probability of fatalities - related accident. Using RBI method, it is concluded that the next suggested planning of inspection can be done in 2018 for fire tube, and 2024 for boiler tank.

Keywords : Risk Based Inspection, Pipe, Tank, Boiler, Maintenance Interval, API 581

Bab I Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Pada dasarnya Boiler adalah suatu wadah yang berfungsi sebagai pemanas air, panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. *Steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dengan baik. Bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan *boiler* bisa berupa gas, minyak dan batu bara. Di Indonesia bahan bakar yang umum digunakan adalah solar.

Sistem *boiler* terdiri dari sistem umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem perpipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan keran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang digunakan dalam sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan sistem.

Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi *steam* disebut air umpan (*feed water*). Ada dua sumber air umpan: 1. Kondensat atau *steam* yang mengembun yang mengembun ke proses. 2. Air *make up* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler ke plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

Berdasarkan tipe pipa, *boiler* dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

- *Fire Tube Boiler*

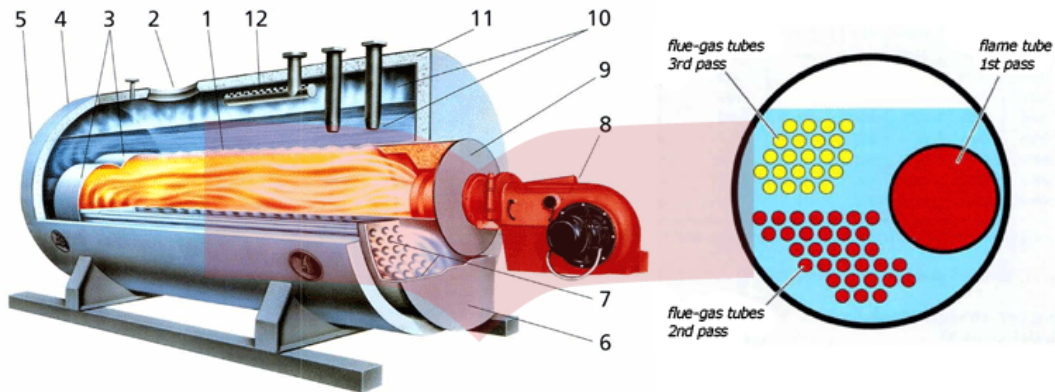
Terdiri dari tanki air yang dilubangi dan dilalui pipa-pipa, dimana gas panas yang mengalir pada tanki tersebut digunakan untuk memanaskan air di tanki. Air yang dipanaskan menghasilkan uap panas yang dapat digunakan untuk memanaskan air di kamar mandi ataupun *laundry*. *Fire tube boilers* biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relative kecil dengan tekanan *steam rendah* sampai sedang. Sebagai pedoman, *fire tube boilers* kompetitif untuk kecepatan *steam* sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm². *Fire tube boilers* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas dalam operasinya.

- *Water tube Boiler*

Air mengalir melalui susunan pipa yang terletak di dalam gas panas yang dihasilkan dari pembakaran. Pada *boiler watertube*, air panas tidak berubah menjadi uap, sehingga bisa langsung digunakan untuk keperluan seperti air panas di kamar mandi, *laundry*. Ketika air dalam pipa-pipa dididih mendapat pemanasan., air dalam pipa mendidih sehingga air mengandung uap dan berat jenis air berkurang., air dan uap mengalir ke atas. Air yang berat jenisnya lebih besar akan turun dan menggantikan posisi air yang menuju ke atas. Pada drum atas air dan uap berpisah menjadi uap jenuh, kemudian uap jenuh disalurkan ke *superheater* untuk diubah menjadi uap panas lanjut. Uap panas lanjut yang keluar dari *superheater* inilah yang akan dimanfaatkan sebagai penggerak mesin uap. Berdasarkan bahan bakar yang digunakan, beberapa dapat dikategorikan sebagai :

- *Solid Fuel*. Pemanasan yang terjadi akibat pembakaran antara pencampuran bahan bakar padat (batu bara, sampah kota, kayu) dengan oksigen dan sumber panas.
- *Oil fuel*. Pemanasan yang terjadi akibat pembakaran antara pencampuran bahan bakar cair (solar, residu, kerosin) dengan oksigen dan sumber panas.
- *Gaseous Fuel*. Pemanasan yang terjadi antara pembakaran antara LNG (*Liquid Natural Gas*) dengan oksigen dan sumber panas. Harga bahan baku pembakarannya lebih murah diantara semua boiler yang lain.

- *Electric*. Pemanasan yang terjadi akibat sumber listrik yang menyuplai sumber panas.



Gambar I.1 Bagian-Bagian *Boiler*
(Sumber : *Metalco Heating System Brochure*)

Bagian-bagian boiler seperti gambar di atas adalah sebagai berikut :

1. *Flame tube* yang memiliki diameter besar yang akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. *Combustion Chamber* memiliki dimensi yang berbeda-beda disesuaikan dengan jenis boiler.
2. *Man Hole* dan lubang inspeksi untuk mengetahui kondisi boiler secara cepat seperti kondisi air.
3. “*Wet-back*” desain boiler dengan ruangan pembalik air dingin
4. *Sight holes* untuk mengamati pembakaran boiler dari sisi belakang tabung.
5. *Safety flap* untuk menghindari kerusakan akibat pembakaran tidak sempurna.
6. Tempat pembersihan cepat
7. Eksploitasi bahan bakar fase 2 dan 3 yang akan mempengaruhi efisiensi pembakaran.
8. Lubang kaca untuk mengamati pembakaran dari sisi depan tabung.
9. Sirkulasi natural air boiler.
10. *Steady capacity* dan tekanan untuk ruang air dan uap.

11. *High grade insulation* untuk meminimalkan panas yang terbangun (*heat loss*).
12. *Steam drier*, permukaan evaporasi.

Rangkaian cat bermutu tinggi produksi PT. Kansai Prakarsa Coatings telah diakui keunggulannya dan digunakan secara luas dibidang perakitan kendaraan bermotor dan karoseri, galangan kapal, industri peralatan listrik/rumah tangga, serta perusahaan minyak asing maupun nasional. Selain itu masih ada produk *heavy duty coating*, yaitu produk yang berfungsi sebagai lapisan pelindung yang mampu membuat permukaan yang dicat tahan segala cuaca serta korosi bahan-bahan kimia.

PT. Kansai Prakarsa Coatings memiliki dua buah plant untuk memproduksi bahan dasar cat (resin) dan juga untuk mengolahnya menjadi produk cat sebagai produk akhir. Dua buah plant ini terdiri dari *Resin Plant* dan *Paint Production Plant*. Masing masing plant memiliki bagian *engineering* masing masing yang bertugas untuk menjaga kehandalan dan utilitas.

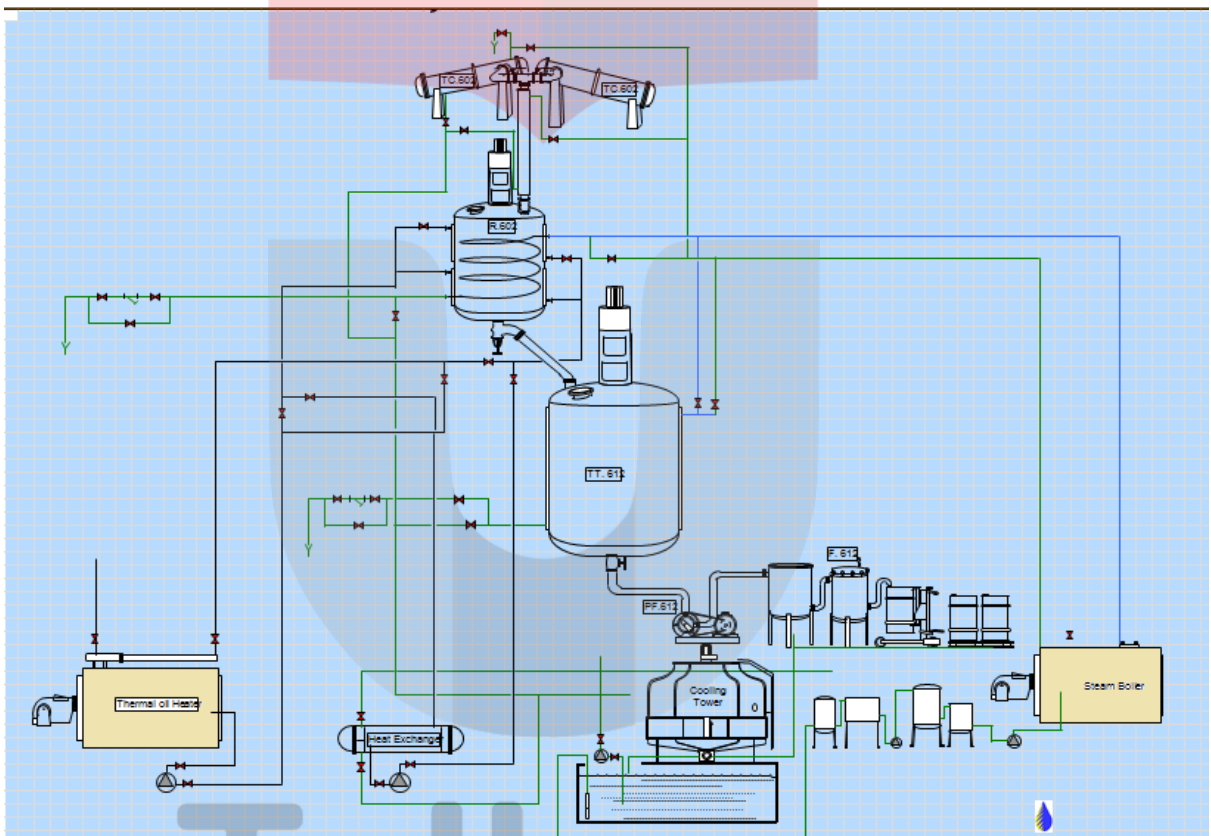
Resin Plant berbentuk sebuah gedung yang terdiri dari berbagai macam mesin untuk mengolah bahan baku menjadi resin. Resin atau binder merupakan komponen utama dalam cat. Resin berfungsi merekatkan komponen-komponen yang ada dan melekatkan keseluruhan bahan pada permukaan suatu bahan (membentuk film). Resin pada dasarnya adalah polymer dimana pada temperatur ruang (atau temperatur aplikasi) bentuknya cair, bersifat lengket dan kental.

Resin ini diproduksi untuk kebutuhan internal dan eksternal. Untuk konsumsi internal, resin hasil produksi disalurkan langsung ke pipa menuju tank penyimpanan untuk *Paint Production Plant*. Sedangkan untuk eksternal, akan dijual ke perusahaan kompetitor lain melalui *buffer* menuju mobil tangki untuk selanjutnya disalurkan.

Dalam memproduksi resin, suhu serta tekanan sangatlah berpengaruh didalamnya. Dalam setiap proses reaksi produksi resin, terdapat dua macam reaksi yang terjadi, yaitu reaksi Alkyd dan reaksi melamin. Reaksi yang harus dilakukan adalah melamin dulu kemudian Alkyd. Reaksi Alkyd

membutuhkan kalor diatas 300 derajat Celcius, sedangkan reaksi melamin membutuhkan kalor di bawah 200 derajat celcius. Masing-masing kebutuhan kalor ini dipenuhi oleh mesin Boiler dan juga Oil Heater.

PT. Kansai Prakarsa Coatings bagian *Resin Plant* memiliki 2 buah mesin *Fire Heated Boiler* dan juga 3 buah mesin Oil Heater untuk memenuhi kebutuhan kalor dalam proses produksinya. Berikut ini adalah merupakan flow mesin yang terjadi pada Resin Plant



Gambar 1.2 *Flow Produksi Resin Plant*
(Sumber : *Engineering Dept. PT KPC*)

Berdasarkan peristiwa lampau, pernah terjadi beberapa kasus akibat dari kegagalan boiler untuk melakukan fungsinya dengan baik. Jumlah kerugian yang harus ditanggung oleh perusahaan sangatlah besar. Kerugian ini mencakup adanya korban jiwa dari peledakan boiler yang terjadi, dan juga berkurangnya kapasitas produksi hingga 50% dalam beberapa bulan. Resiko yang terjadi ini diakibatkan

minimnya pemahaman perusahaan akan cara yang efektif untuk memperkirakan resiko dan juga inspeksi yang tidak sesuai dalam pelaksanaannya.

I.2 Perumusan Masalah

Dengan acuan latar belakang yang telah diutarakan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana bentuk *Risk Matrix* pada mesin *fire heated boiler*?
2. Apa sajakah masing-masing resiko yang mungkin terjadi pada mesin boiler?
3. Seberapa besarkah tingkat resiko yang mungkin terjadi terhadap komponen boiler berdasarkan *RBI*?
4. Berapa lamakah rentang waktu (*interval*) antar inspeksi yang harus direncanakan?
5. Bagaimanakah perbandingan kebijakan inspeksi eksisting dan usulan?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan bentuk *Risk Matrix* pada mesin *fire heated boiler*.
2. Dapat mengetahui masing-masing resiko yang mungkin terjadi pada mesin *fire heated boiler*.
3. Dapat menentukan besaran resiko yang ditanggung oleh komponen boiler berdasarkan *RBI API 581*.
4. Dapat menentukan frekuensi dan interval perencanaan inspeksi pada mesin yang dianalisa berdasarkan resiko.
5. Dapat membandingkan kebijakan inspeksi eksisting dan usulan

I.4 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan batasan-batasan penelitian untuk menyamakan persepsi, yaitu:

1. Mesin yang akan dijadikan objek penelitian menggunakan metode *RBI* merupakan peralatan yang statis.

2. Berpedoman pada *code API RBI Based resource document 581*, dengan menggunakan referensi *API Recommended Practice 573*, *API Standard 579* serta *API Standard 530*.
3. Pendekatan yang dilakukan berupa metode Semi-kuantitatif.
4. Menggunakan data historis perusahaan objek penelitian dari tahun 2009 – paruh awal 2013.
5. Hanya berfokuskan pada mesin boiler yang terdapat pada Resin plant dengan nomer mesin SB.03
6. Penelitian ini hanya dibatasi sampai pengajuan usulan, sedangkan implementasi usulan di lapangan tidak termasuk dalam pembahasan

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengungkap tingkat resiko yang belum diketahui pada mesin boiler sebagai pertimbangan analisis dampak lingkungan dan ekonomis perusahaan.
2. Memperkenalkan metode RBI (*Risk Based Inspection*) sebagai metoda pengelolaan inspeksi berdasarkan tingkat resiko suatu peralatan dalam suatu industri, khususnya peralatan statis.
3. Mengetahui kondisi, serta memberi hasil prediksi jadwal inspeksi selanjutnya untuk memaksimalkan kinerja laju produksi dan biaya perawatan.
4. Mengetahui konsekuensi yang akan berlangsung jika terjadi kegagalan mesin boiler pada faktor *downtime*, *environmental*, serta ekonomis.
5. Dapat meningkatkan efektifitas serta optimalisasi kinerja dari pemakaian mesin boiler yang telah ada.
6. Meminimasi *loss of benefit* yang terjadi akibat *downtime*. Hal ini dapat dilakukan dengan mengeliminasi waktu-waktu yang kurang tepat dari inspeksi dan waktu tunggu.

I.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini diuraikan dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini berisi uraian mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi literatur yang relevan dengan permasalahan yang diteliti dan dibahas pula hasil-hasil penelitian terdahulu. Maksud dan tujuan dari bab ini adalah membentuk kerangka berpikir dan menjadi landasan teori yang akan digunakan dalam pelaksanaan penelitian dan perancangan hasil akhir. Bagian kedua membahas hubungan antar *maintenance management*, reliabilitas, *preventive maintenance* dan *Risk Based Inspection* yang menjadi kajian penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah penelitian meliputi: tahap merumuskan masalah penelitian, merumuskan tujuan penelitian, mengembangkan model penelitian, melakukan uji data, merancang analisis pengolahan data dengan menggunakan pedoman dari *API RBI 581*

Bab IV Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada bab ini berisi seluruh data yang diperlukan untuk pengolahan data bagi metode *RBI Analysis* dan *Fault Tree Analysis*, beserta perlakuan simulasi yang dilakukan. Data - data yang digunakan kemudian diolah untuk kemudian dianalisis pada bab selanjutnya. Data – data tersebut antara lain adalah *maintenance time*, *maintenance cost*, *parameter mekanis komponen* dan deskripsi sistem.

Bab V Analisis

Pada bab ini dilakukan analisis dari pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan pada metode *RBI Analysis*, *Fault Tree Analysis* dan evaluasi *inspection effectiveness*.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dari peneliti yang menjawab rumusan masalah yang telah ditentukan sebelumnya, dan saran bagi perusahaan dan penelitian selanjutnya.



Bab VI Kesimpulan dan Saran

VI.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan menggunakan *severity* dan tingkat *occurrence*, dapat diketahui bahwa bentuk *risk matrix* yang terjadi adalah berkisar diantara *medium-high level risk*. Ini dapat dilihat dari *mode kegagalan* yang banyak terdapat pada komponen mesin. Bagian yang utama patut diperhatikan adalah bagian *Tank* yang dimana memiliki 3 level *medium* dan 1 level *high*.
2. Resiko yang mungkin terjadi pada mesin boiler ini, terdapat 6 *main top event risk*. Hal tersebut antara lain ; Kegagalan pada *blower* untuk menyuplai api pembakaran, Kegagalan pada *fan* untuk menyuplai udara yang dibutuhkan untuk pembakaran, Kegagalan pada tangki untuk menampung tekanan, Kegagalan pada system pengurasan yang menyebabkan air tidak dapat tersirkulasi dengan baik, adanya peluang kegagalan pada *safety control* selama beroperasi, serta kelalaian operator dalam menggunakan mesin boiler.
3. Besaran resiko yang ditanggung oleh Boiler dapat dilihat pada table di bawah ini

Production

No	Subsistem	System Performance Loss	Q(T)	Risk
1	<i>Blower</i>	Rp 25.000.000	0,133941	Rp 3.348.525
2	<i>Fan</i>	Rp 25.000.000	0,102725	Rp 2.568.125
3	<i>Tank</i>	Rp 150.000.000	0,856119	Rp 128.417.850
4	<i>Blowdown</i>	Rp 25.000.000	0,9890342	Rp 24.725.855
5	<i>Safety Control</i>	Rp 150.000.000	0,16398	Rp 24.597.000
6	<i>Human Involvement</i>	Rp 150.000.000	0,902113	Rp 135.316.950
Total				Rp 318.974.305

No	Subsistem	System Performance Loss	Q(T)	Risk
1	<i>Blower</i>	Rp 5.000.000	0,133941	Rp 669.705

No	Subsistem	System Performance Loss	Q(T)	Risk
2	<i>Fan</i>	Rp 5.000.000	0,102725	Rp 513.625
3	<i>Tank</i>	Rp 150.000.000	0,856119	Rp 128.417.850
4	<i>Blowdown</i>	Rp 5.000.000	0,9890342	Rp 4.945.171
5	<i>Safety Control</i>	Rp 400.000.000	0,16398	Rp 65.592.000
6	<i>Human Involvement</i>	Rp 2.000.000	0,902113	Rp 22.552.825
Total				Rp 222.691.176

Environment

No	Subsistem	System Performance Loss	Q(T)	Risk
1	<i>Blower</i>	Rp 25.000.000	0,133941	Rp 3.348.525
2	<i>Fan</i>	Rp 5.000.000	0,102725	Rp 513.625
3	<i>Tank</i>	Rp 150.000.000	0,856119	Rp 28.417.850
4	<i>Blowdown</i>	Rp 5.000.000	0,9890342	Rp 4.945.171
5	<i>Safety Control</i>	Rp 400.000.000	0,16398	Rp 65.592.000
6	<i>Human Involvement</i>	Rp 25.000.000	0,902113	Rp 22.552.825
Total				Rp 225.369.996

4. Dari perhitungan dengan menggunakan metode RBI, didapatkan rentang waktu optimal yang sebaiknya dilakukan inspeksi agar dapat membantu perusahaan *me-manage* resiko. Waktu optimal untuk melakukan inspeksi pada pipa api adalah 6 tahun dan setengah dari waktu inspeksi pertama untuk rentang waktu selanjutnya. Waktu optimal untuk melakukan inspeksi pada pipa api adalah 10 tahun dan setengah dari waktu inspeksi pertama untuk rentang waktu selanjutnya

VI.2 Saran

VI.2.1 Saran Bagi Perusahaan

1. *Engineering Department* sebaiknya memiliki minimal satu orang teknisi yang dapat melakukan sendiri inspeksi berbasis resiko untuk mendukung operasional keselamatan dan finansial perusahaan.

2. *Engineering Department* sebaiknya melakukan perencanaan dan penjadwalan untuk melakukan pengecekan secara menyeluruh, sehingga resiko dapat ditekan, dan umur mesin dapat diperpanjang .
3. *Engineering Department* sebaiknya melakukan evaluasi *preventive maintenance*, dikarenakan waktu yang digunakan untuk *preventive maintenance* terbilang tidaklah terlalu efektif bila dibandingkan dengan resiko yang ada.
4. *Engineering Department* sebaiknya memiliki skala prioritas dalam hal pengecekan dan inspeksi komponen yang ada pada boiler. Hal ini dimaksudkan agar komponen yang memiliki resiko lebih besar dapat perhatian yang lebih khusus.

VI.2.2 Saran Bagi Penelitian Selanjutnya

1. API RBI 581, dapat dikombinasikan dengan standar-standar API yang lain sehingga dapat melakukan inspeksi yang menyeluruh dan juga objek penelitian yang lebih luas lagi.
2. Blocksim 8 dapat digunakan bersama dengan Weibull++, XFMEA, dan RCM++, sehingga dapat dilakukan penelitian dengan level seluruh perusahaan, yang dimana pada penelitian ini hanya pada satu level *mesin* dari *system plant* yang ada, dan hanya menggunakan *Weibull++* saja.
3. Penelitian ini hanya menggunakan asumsi pemeriksaan yang dilakukan oleh lembaga bersertifikat benar-benar akurat, sehingga untuk penelitian selanjutnya agar lebih mendetail dapat dilakukan pengukuran dan pemeriksaan secara langsung.
4. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis mesin saja tanpa melihat hubungan dengan mesin yang lain. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan sekaligus satu *system* untuk melakukan evaluasi resikonya.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute (2008), *Risk Based Inspection API RP 581*, 2nd edition
- American Petroleum Institute (1991), *Risk Based Inspection API RP 573*, 1st edition
- American Petroleum Institute (1996), *Risk Based Inspection API Standard RP 530*, 4th edition
- Clemens, P. L., *Fault Tree Analysis*, Sverdup. 1993
- “Corrosion problems quantified with gumbel lower distribution”,
<http://barringer1.com>
- “Heat Exchanger IRIS Wall Thickness and Gumbel Smallest distribution”,
<http://barringer1.com>
- Ebeling, Charles E., *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, The McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore, 1997
- Fujiyama, K, Nagai S, Akikuni, Y, Fujiwara, T, Furuya, K, Matsumoto, S, Takagi, K, dan Kawabata, T (2004), *Risk based inspection and maintenance system for steam turbines*, Journal of Pressure Vessel and Piping, no. 81, page 825-835
- Higgis, Lindley R., Mobley, R. Keith. *Maintenance Engineering Handbook*, Sixth Edition. McGraw-Hill. 2002
- ISO 14224 : 2004. *Petroleum and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. 2nd edition
- ISO 31000 : 2000. *Risk Matrix – Principle and guidelines on implementation*. 1st edition
- Moubray, John. *Reliability Centered Maintenance*, Linacre House, Jordan Hill, Oxford. 1991
- OREDA : *Offshore Reliability Data Handbook*, 2002, 4th edition, SINTEF Industrial Management.

- Paddiyatu, Fadely, 2011. *Perhitungan kuantitatif Risk Based Inspeccion berdasarkan API 581 pada pipeline production gathering line di duri field*. Tugas Akhir. Undip : Fakultas Teknik
- Reliability hotwire, "Using Reliability Block Diagrams to Analyze Dependent and Independent Failure Modes", <http://www.weibull.com>, the Magazine of reliability professional, issue 27, may 2003.
- Saleh, Faik Lateef., Shams, Ouf Abdulrahman., AliHussein, Asman., *Studying Boiler Reliability in a petroleum refinery by using fault tree analysis*. IEEE, 2012
- Singgih, Moses L. 2012. *Risk based maintenance (rbm) untuk natural gas pipeline pada perusahaan x dengan menggunakan metode kombinasi ahp-index model*. Jurnal Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XV, halaman A-1-1 – A-1-6
- Sutrisno., 2012. *Handout Kuliah Manajemen Perawatan Fasilitas*. Bandung : IT Telkom.
- Wahyudi, Maulana Hendra, 2010. *Analisa penerapan metode RBI dalam pemeriksaan keselamatan kerja pada industri migas*. Skripsi. UI : Fakultas Teknik