
KAJIAN PENINGKATAN KEANDALAN MESIN *BOILER* MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* PADA INDUSTRI *MANUFACTURE SHOCK ABSORBER* DI CIKARANG

Agustinus Dwi Susanto
Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana
E-mail: agustinus.id@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis critical failure yang mempengaruhi keandalan mesin boiler dan mencari metode yang tepat didalam mengidentifikasi kegagalan mesin boiler. Serta menentukan kegiatan perawatan yang tepat untuk mencegah terjadinya critical failure yang berdampak terhadap keandalan mesin boiler. Penelitian ini menggunakan metode RCM untuk menganalisis dari kondisi mesin boiler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa critical failure pada mesin boiler didasarkan pada analisis RCM adalah pertama komponen feed water pump yang mana memiliki nilai reliabiliy paling rendah yaitu 0.52 dan nilai RPN tertinggi 180 sehingga beresiko terhadap terjadinya kegagalan. Yang kedua adalah safety valve dan boiler tube, kegagalan Safety valve termasuk hidden failure karena secara normal operator tidak mengetahuinya. Upaya perbaikan untuk critical failure pada mesin boiler ini yaitu berupa kebijakan perawatan dengan pengantian pencegahan untuk meningkatkan nilai reliability-nya serta kegiatan berupa preventive task yaitu scheduled on-condition task dan scheduled dischard task sesuai dengan Standar Perawatan Mesin yang peneliti usulkan.

Keywords: boiler, downtime, FMEA, keandalan, LTA, RCM.

Abstract

This study to analyze critical failure that affects the reliability of the boiler as well as the method used to identify the boiler engine failure. And determining the proper maintenance activity to prevent a critical failure that affects the reliability of this boiler. This research using RCM method for analyzing the condition of the machine boiler. The results showed that the critical Failur the boiler is based on the analysis of RCM is the first component of the feed water pump which has the lowest value of reliabiliy is 0:52 and the highest RPN value 180 that are at risk of failure. The second is the safety valve and the boiler tube failure Safety valve including hiden failure because normally the operator does not know. Failur critical improvement efforts for the boiler is in the form of substitute care policy with prevention to increase the value reliabilitynya as well as activities such as preventive task that is scheduled on-condition task and dischard scheduled task in accordance with theStandards maintrnance machine that researchers propose.

Keywords: boiler, downtime, FMEA, LTA, RCM, reliability.

1 Pendahuluan

Dalam era persaingan industri yang semakin global disertai perkembangan teknologi yang pesat, industri-industri terus berusaha meningkatkan kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkannya. Perkembangan hasil industri yang semakin meningkat secara terus-menerus memerlukan dukungan proses produksi yang lancar. Salah satu bentuk dukungan proses produksi terletak pada peralatan produksi yaitu mesin-mesin pada sistem produksi. Untuk menjaga kondisi dari mesin-mesin tersebut agar berada dalam keadaan yang optimal saat digunakan, maka diperlukan kegiatan perawatan pada mesin-mesin tersebut untuk menjaga kehandalan sistem sehingga menghindari menurunnya ketersediaan sistem karena tindakan pemeliharaan (Fithri, 2010).

Di Indonesia terdapat beberapa kawasan industri besar yang tersebar di beberapa daerah, salah satunya adalah kawasan industri Jababeka yang terletak di daerah Cikarang. Dalam kawasan tersebut terdapat bermacam-macam industri mulai industri makanan, industri elektronik, industri otomotif dan masih banyak lagi (Widiati, 2011). Di dalam pengamatan di industri ini, untuk proses produksinya tentunya tidak

terlepas dari dukungan peralatan atau mesin industri. Obyek penelitian ini di kususkan pada seksi *utility maintenance* dikarenakan apabila terjadi kegagalan mesin di seksi ini akan berakibat terhentinya keseluruhan proses produksi bahkan dapat mengancam keselamatan manusia.

Pembangkit steam lebih dikenal dengan nama mesin boiler yang termasuk dalam klasifikasi pesawat uap dan bejana tekan, boiler dapat didefinisikan sebagai bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Mengingat bejana yang memiliki tekanan ini rentan terhadap bahaya kebakaran dan ledakan, maka kegagalan boiler dapat mengancam keselamatan tenaga kerja di lingkungan industri. Kerugian yang diakibatkan oleh kegagalan boiler ini tidak hanya kerugian nominal akibat berhentinya proses produksi, tetapi juga kompensasi biaya kepada karyawan yang mengalami kecelakaan. Menurut Pusdatnaker (2015) bahwa terdapat ledakan steam boiler pada beberapa industri di Indonesia (Wonosegoro, Boyolali (3 orang), Taman, Sidoarjo (2 orang), Denpasar, Bali (1 orang), Rungkut, Surabaya (1 orang), Kaliwates, Jember (4 orang), dan Gamping, Sleman (1 orang) yang mengindikasikan dengan kuat bahwa standar keselamatan maupun piranti keselamatan steam boiler di kebanyakan industri masih sangat rendah (Fatoni, 2013).

Pada penelitian di industri manufaktur shock absorber ini, mesin boiler bekerja selama 24 jam untuk mendukung proses produksi secara terus menerus. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, untuk mesin ini sistem perawatan yang ada belum dapat menjamin bahwa mesin dapat bekerja sesuai yang direncanakan dengan masih adanya kegagalan mesin dalam memenuhi kebutuhan produksi. Dari data yang terdapat dalam catatan teknis mesin yang ada mulai tahun 2012 sampai 2014. Kecenderungan jumlah kerusakan boiler dari tahun ke tahun cenderung meningkat dan menyebabkan boiler tidak dapat menghasilkan steam sesuai standar minimum tekanan yang dibutuhkan produksi yaitu +/- 5 bar meskipun kegagalan yang terjadi belum menyebabkan bahaya kecelakaan kerja akan tetapi hal tersebut sangat mungkin dapat terjadi.

Untuk itu dibutuhkan strategi perawatan yang dapat menjamin ketersediaan, keandalan serta keselamatan dari penggunaan mesin boiler ini. Dengan meningkatnya hal tersebut membuat perusahaan tidak merasa khawatir dengan ketidak pastian akan terjadinya kerusakan mesin secara tiba-tiba, dikarenakan adanya kegiatan overhaul dan replacement atau corrective maintenance sewaktu-waktu yang menimbulkan adanya downtime mesin tanpa dapat direncanakan, sehingga menyebabkan kerugian yang cukup besar terhadap perusahaan.

Atas dasar alasan tersebut, maka dibutuhkan sebuah pendekatan perawatan yang lebih baik yang dapat menjamin keandalan serta keselamatan kerja bagi mesin boiler dan pekerja. Penelitian ini akan menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* untuk mengurangi terjadinya kegagalan dikarenakan RCM lebih fokus pada upaya pencegahan kegagalan dan banyak dipakai dalam industri pesawat terbang dan pertahanan dikarenakan pada industri tersebut dibutuhkan tingkat keandalan dan keselamatan kerja yang tinggi.

2 Kajian Teori

Konsep Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem/komponen dapat melaksanakan fungsinya untuk waktu tertentu yang telah ditentukan. Fungsi keandalan tersebut dapat digambarkan dengan hubungan matematis sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R(t) = \Pr \{T \geq t\} \quad (1)$$

Dimana $R(t) \geq 0$, $R(0) = 1$, merupakan variabel acak *time to failure* (waktu saat terjadinya kerusakan sistem atau komponen), dan $t \geq 0$ (Ebeling, 1997).

Laju Kegagalan

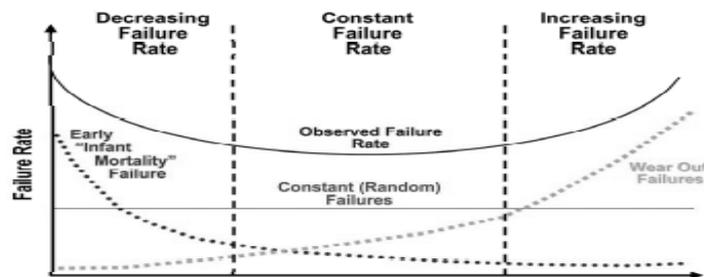
Laju kegagalan atau *failure rate*, λ adalah rasio dari total jumlah kegagalan dengan total waktu operasi (Priyatna, 2000). *Failure rate* menunjukkan seberapa sering suatu item mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu. *Failure rate* dapat dinyatakan dengan persamaan matematis sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{r}{T(t)} \quad (2)$$

dimana : $T(t)$ = total jam operasi
 r = jumlah *failure*
 λ = laju kegagalan

Perilaku laju kerusakan terhadap waktu sangat berhubungan dengan penyebab kerusakan. Kecuali komponen yang mempunyai sifat redundan, secara umum $\lambda(t)$ mempunyai karakteristik sebagai berikut (Juniani, 2008):

- Daerah 1 (*burn-in*) : Distribusi *Weibull*
- Daerah 2 (*useful life*) : Distribusi eksponensial
- Daerah 3 (*wearout*) : Distribusi *Weibull*, Normal, dan Lognormal



Gambar 1 Bathtub Curve (Juniani, 2008).

Model Probabilitas Keandalan

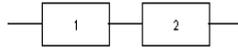
Metode yang dapat digunakan untuk melihat atau memperkirakan parameter-parameter keandalan yaitu metode parametrik. Dalam memakai metode parametrik, data keandalan akan disesuaikan atau dicocokkan dengan beberapa distribusi probabilitas seperti distribusi Eksponensial, normal, Weibull dan sebagainya. Dengan demikian sering lebih dapat ditentukan mengenai keadaan dan sifat mekanisme kerusakan dan jawaban yang dihasilkan dapat lebih siap digunakan untuk analisa. Untuk menyatakan distribusi kerusakan makalangkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan distribusi data kemudian dicari parameternya (Juniani, 2008).

Pemodelan Jaringan Ketersediaan Sistem

Untuk mengevaluasi keandalan dari suatu komponen atau sistem yang pertama kali harus dilakukan adalah dengan memodelkan komponen atau sistem tersebut kedalam diagram blok keandalan (*reliability block diagram*). Dari diagram blok keandalan ini kemudian dihitung keandalan dari komponen atau sistem yang bersangkutan. (Priyatna, 2000).

Sistem Dengan Susunan Seri

Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan seri jika kompponen-komponen yang ada didalam sistem itu harus bekerja atau berfungsi seluruhnya agar sistem tersebut sukses dalam menjalankan misinya. Atau dengan kata lain bila ada satu komponen saja yang tidak bekerja, maka akan mengakibatkan sistem itu gagal menjalankan fungsinya. Sistem yang mempunyai susunan seri dapat dikategorikan sebagai sistem yang tidak berlebihan (*non-redundant system*) (Suardiawan, 2010).



Gambar 2 Sistem susunan seri (Priyatna, 2000)

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \quad (3)$$

dengan:

R_s = keandalan sistem seri

R_1 = keandalan komponen 1

R_2 = keandalan komponen 2

Sistem Dengan Susunan Paralel

Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan paralel jika seluruh komponen yang ada didalam sistem itu gagal berfungsi maka akan mengakibatkan sistem itu gagal menjalankan fungsinya (Suardiawan, 2010).



Gambar 3 Sistem susunan paralel (Priyatna, 2000)

$$R_p = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \quad (4)$$

dengan:

R_p = keandalan sistem paralel

R_1 = keandalan komponen 1

R_2 = keandalan komponen 2

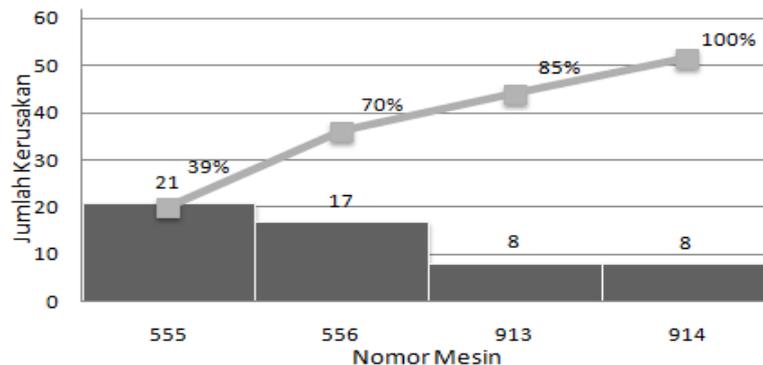
3 Metode

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu data Primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui metode wawancara sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan. Teknik pengumpulan data dengan menggunakan metode pengamatan (*Observation*), yaitu pengamatan atas rutinitas pekerjaan para pegawai dalam melaksanakan tugasnya serta teknik perawatan yang dilakukan didalam perawatan mesin. Selain dengan pengamatan yaitu dengan teknik wawancara, yaitu melakukan serangkaian tanya jawab secara langsung dengan pihak perusahaan yang berwenang yaitu bagian *maintenance utility* untuk mengetahui lebih jelas mengenai kondisi mesin dan informasi yang berkaitan dengan perusahaan. Dari penelitian ini populasi yang digunakan dalam data kerusakan dari tahun 2012 sampai 2014 pada objek penelitian ini adalah mesin boiler sebanyak 4 unit.

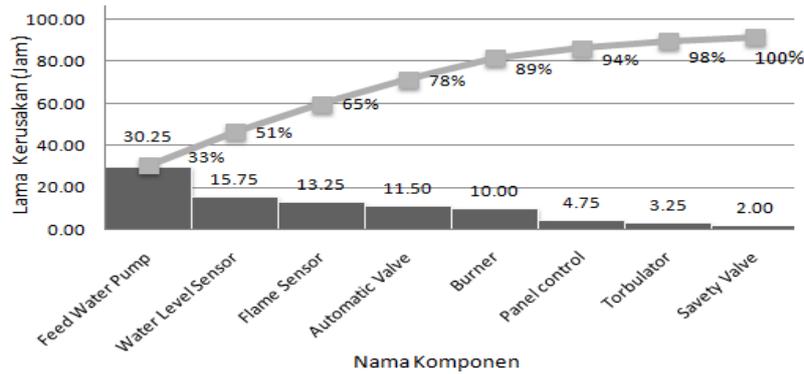
4 Hasil dan Pembahasan

Data Penentuan Sistem Kritis Pada Mesin Boiler

Untuk mengetahui sistem kritis pada boiler tentunya dibutuhkan data jumlah kerusakan dan data lamanya perbaikan. Berdasarkan kerusakan yang terjadi pada periode Januari 2012 sampai Desember 2014 maka didapatkan data sebagai berikut.



Gambar 4 Pareto Kerusakan Mesin Boiler



Gambar 5 Pareto Lama Perbaikan Mesin Boiler

Dari Gambar 5 berdasarkan perhitungan waktu kerusakan komponen-komponen boiler 555, maka dapat ditentukan komponen paling kritis dari mesin ini yaitu *Feed Water Pump*.

Analisa Penentuan Interval Perawatan

Dimulai dengan melakukan uji distribusi terhadap interval kerusakan dan selang lamanya perbaikan komponen sehingga diperoleh parameter distribusi. Parameter distribusi yang telah diperoleh akan digunakan dalam penentuan *mean time to failure* (MTTF). Hasil perhitungan MTTF menunjukkan bahwa semakin besar nilai MTTF dari suatu komponen maka hal ini menunjukkan bahwa peralatan tersebut memiliki rentang waktu kerusakan yang lama. Sebaliknya jika nilai MTTF pada suatu komponen kecil, maka hal ini berarti komponen tersebut semakin rentan untuk mengalami kerusakan. Berdasarkan hasil perhitungan MTTF yang sudah dilakukan maka dapat diketahui bahwa sistem boiler ini memiliki dua pola kerusakan pertama yaitu pola *ware out* yang ditandai dengan distribusi normal serta pola kerusakan konstan yaitu ditandai dengan distribusi eksponensial. Komponen dengan nilai MTTF tertinggi adalah komponen *Safety valve* sebesar 56.348 jam yang berarti memiliki rentang waktu kerusakan yang lama, sedangkan komponen *feed water pump* dengan nilai MTTF terkecil sebesar 3916.8 jam yang berarti semakin cepat komponen tersebut untuk mengalami kerusakan.

Analisa Data Reliability Boiler

Pada tahap analisa reliability pada boiler ini bertujuan untuk melihat seberapa besar kehandalan dari mesin boiler terhadap waktu pengoperasian. Apabila nilai kehandalan mendekati 1 hal tersebut menyatakan tingkat kehandalan yang baik. Dari data yang didapat pada masing-masing komponen pada boiler menunjukkan bahwa reliability terbesar yaitu terdapat pada sistem *Safety valve* yaitu sebesar 0.86 atau 86% sedangkan yang terkecil adalah komponen *feed water pump* yaitu sebesar 0.52 atau 52%. Dari data nilai reliability paling rendah terdapat peluang kegagalan sebesar 48% untuk komponen *feed water pump*. Peluang sebesar itu merupakan hal yang tidak diinginkan oleh perusahaan dikarenakan kegagalan mesin boiler dapat berdampak terhadap kelancaran proses industri maupun keselamatan kerja. Untuk itu komponen yang memiliki nilai reliability yang rendah maka diperlukan tindakan *preventif* untuk meningkatkan kehandalannya.

Dari data yang didapat bahwa *reliability* total dari boiler adalah 0.81 yang berarti probabilitas sistem beroperasi dengan baik pada kondisi steady adalah 81%. Sistem boiler secara keseluruhan masih ada kemungkinan kegagalan sebesar 19%. Untuk itu dari hal ini dicari reliability masing – masing komponen pada mesin boiler untuk melihat penyebab rendahnya nilai reliability total mesin boiler. Sebuah sistem akan menjalankan fungsinya dengan baik apabila memiliki reliability yang tinggi. Untuk itu peningkatan nilai keandalan ini perlu diadakanya perawatan.

Dalam analisa komponen *feed water pump* yang mana reliability awal adalah 0.52 untuk peningkatan diperlukan tindakan *preventif* dari hasil perhitungan dengan analisa statistik bahwa *reliability* komponen ini akan meningkat menjadi 0.90 ketika dilakukan preventif pada jam ke 3800.

Analisa FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Pada tahap analisa FMEA bertujuan untuk analisa komponen kritis yang sering rusak dan sejauh mana apabila terjadi kerusakan akan mempengaruhi system secara keseluruhan. Analisa ini merupakan analisa

kualitatif yang didasarkan pada tabel standar yang dikeluarkan oleh referensi. Dengan demikian komponen yang mempunyai pengaruh terbesar terhadap system makan akan diberikan perhatian yang lebih didalam menjaga komponen tersebut dapat bekerja sesuai fungsinya. Untuk menilai tingkat kekritisan komponen didalam FMEA menggunakan RPN, yang mana RPN merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. RPN menentukan prioritas dari kegagalan. RPN tidak memiliki nilai atau arti. Nilai tersebut digunakan untuk meranking kegagalan proses yang potensial.

Berdasarkan pada FMEA yang dibuat untuk setiap komponen yang ada, maka didapatkan data tipe *failure* dari komponen-komponen yang terjadi pada mesin. Dimana data *failure* tersebut untuk masing-masing mesin ada 19 jenis kegagalan pada komponen penyusun sistem boiler. Dari FMEA *worksheet* dapat diketahui bahwa *failure effect* dari beberapa kegagalan komponen pada boiler ini memiliki konsekuensi terhadap terjadinya kegagalan yang tersembunyi (*hidden failure*), keselamatan kerja, lingkungan, serta biaya operasional yang dikeluarkan. *Hidden failure* terjadi pada beberapa komponen dimana operator pada kondisi normal tidak secara langsung mengetahui adanya kegagalan fungsi suatu komponen melainkan berdasarkan *failure effect* yang mengikutinya. Prioritas perbaikan yang harus dilakukan untuk mengurangi kegagalan dengan mengacu pada nilai RPN tertinggi penyebab terjadinya kegagalan yaitu *feed water pump* oleh karena itu, beberapa perbaikan harus dilakukan.

Analisa LTA (Logic Tree Analysis)

Proses analisa pada penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan proses pemberian prioritas kepada suatu mode kerusakan pada komponen boiler dengan cara menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah disediakan dalam table LTA.

Hasil Logic Tree Analysis dari total 18 failure mode menunjukkan bahwa 25 % diantaranya adalah kategori A, 25% kategori B, 25% kategori C, 25% kategori D/A, sedangkan untuk kategori D/B dan D/C adalah 0% hal ini karena operator mengetahui dalam kondisi normal telah terjadi gangguan dalam sistem, sehingga jarang terjadi peristiwa *hidden failure*. Setiap terjadi gangguan pada sistem langsung ditangani oleh petugas perawatan dari hasil analisis *task selection* untuk mengidentifikasi *candidate task* terhadap 18 *failure mode* kecuali kategori pada LTA.

Analisa RCM Decision Worksheet

Hasil analisis mengenai *RCM Decision Worksheet* digunakan untuk menentukan tindakan perawatan yang paling efektif pada mesin boiler. Berdasarkan *RCM Decision Worksheet* dapat diketahui tipe konsekuensi dari kegagalan yang terjadi pada masing-masing peralatan, yaitu tipe *hidden failure, safety and environment, operational and nonoperational consequences*. Selain tipe-tipe dari konsekuensi kegagalan maka didapat pula *proposed task* yang diharapkan untuk perusahaan bagi masing-masing peralatan. Secara umum kegiatan perawatan yang mampu untuk mengatasi jenis kegagalan yang terjadi adalah berupa perawatan *preventive task* yaitu *scheduled on-condition task* dan *scheduled discard task*. Pada prinsipnya kegiatan perawatan *scheduled on-condition task* tersebut yaitu melakukan prediksi kegagalan dengan adanya proses deteksi kegagalan sehingga suatu kegiatan dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi serta menghindari konsekuensi kegagalan, yang selanjutnya dapat diambil suatu langkah korektif setelah *failure mode* yang terjadi tersebut dapat diketahui. Sedangkan kegiatan perawatan *scheduled discard task* juga masih diperlukan untuk dilaksanakan pada beberapa komponen untuk *failure mode* tertentu.

Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Distribusi Waktu Antar Perbaikan Untuk Komponen Feed Water Pump

Di dalam perhitungan waktu antar kerusakan hanya dilakukan pada komponen-komponen kritis mesin boiler menurut analisa menggunakan diagram pareto. Data rekapitulasi dari mesin dan komponen kritis yang akan dianalisa yaitu data selang waktu kerusakan awal yang telah diperbaiki sampai terjadi kerusakan kembali. Seperti pada mesin boiler 555 yang mana komponen kritisnya adalah *Feed water pump* memiliki jumlah kerusakan sebanyak 5 kali dan lama perbaikan selama 30.25 jam.

Perhitungan Parameter dan MTTF komponen Feed Water Pump

Perhitungan parameter untuk data waktu antar kerusakan komponen *Feed Water Pump* mengikuti distribusi normal, yang selanjutnya nilai parameter tersebut akan digunakan untuk mencari nilai MTTF. Perhitungan parameter sebagai berikut:

Tabel 1 Perhitungan Parameter dan MTTF komponen Feed Water Pump

i	t_i (Jam)	$X_i = t_i$	$F(T_i)$	y_i	$X_i * y_i$	X_i^2	y_i^2
1	7584	7584	0.1296	-1.1281	-8555.8	57517056.0	1.2727
2	5544	5544	0.3148	-0.4822	-2673.6	30735936.0	0.2326
3	4632	4632	0.5000	0.0000	0.0	21455424.0	0.0000
4	1776	1776	0.6852	0.4822	856.5	3154176.0	0.2326
5	48	48	0.8704	1.1281	54.2	2304.0	1.2727
TOTAL	19584	19584	2.5000	0.0000	-10318.8	112864896.0	3.0105

$$b = \frac{5 \times (-10318.8) - (19584) \times (0.0000)}{(5 \times 112864896.0) - (19584)^2}$$

Intersep : $a = \bar{y} - b\bar{x}$

$$x \text{ rata - rata} = \frac{19584}{5} \quad x \text{ rata - rata} = 3916.8$$

$$\alpha = 0 - (-0.00028538) \times (3916.8)$$

$$\alpha = 1.117771$$

$$\mu = -\left\{ \frac{1.117771}{-0.00028538!} \right\}$$

$$\mu = 3916.8$$

$$\text{MTTF} = \mu = 3916.8 \text{ jam}$$

Tabel 2 Perhitungan Penggantian Pencegahan Feed Water Pump

tp (jam)	F (tp)	R (tp)	M (tp)	D (tp)
3,100.00	0.39	0.61	9,967.99	0.000869
3,200.00	0.41	0.59	9,652.48	0.000866
3,300.00	0.42	0.58	9,354.05	0.000863
3,400.00	0.43	0.57	9,071.66	0.000861
3,500.00	0.44	0.56	8,804.34	0.000860
3,600.00	0.46	0.54	8,551.19	0.000858
3,700.00	0.47	0.53	8,311.37	0.000858
3,800.00	0.48	0.52	8,084.11	0.000857
3,900.00	0.50	0.50	7,868.68	0.000857

Contoh perhitungan $T_p = 3800$

$$\text{MTTF} = \mu = 3916.8 \text{ jam}$$

$$\sigma = 3006.58797$$

$$F(tp) = \omega^{\frac{tp - \mu}{\sigma}}$$

$$F(tp) = \omega^{\frac{3800 - 3916.8}{3006.58797}}$$

$$F(tp) = 0.48$$

$$R(tp) = 1 - \omega^{\frac{tp - \mu}{\sigma}}$$

$$R(tp) = 1 - \omega^{\frac{3800 - 3916.8}{3006.58797}}$$

$$R(tp) = 0.52$$

$$M(tp) = \frac{\text{MTTF}}{F(tp)}$$

$$M(tp) = \frac{3916.8}{0.48}$$

$$M(tp) = 8084.11$$

$$D(tp) = \frac{Tp \cdot R(tp) + Tp(1-R(tp))}{(tp+Tp) \cdot R(tp) + (M(tp)) + Tp \cdot (1-R(tp))}$$

$$D(tp) \text{ min} = 0.000857$$

$$A(tp) \text{ min} = 1 - D(tp) \text{ min}$$

$$= 1 - 0.000857$$

$$= 0.999143$$

$$T = \text{age replacement} = 3800 \text{ jam}$$

Pemodelan Jaringan Reliability Blok Diagram

Perhitungan *reliability* dilakukan pada boiler dengan nomor MTC 555 yang mana boiler ini menempati pareto tertinggi. Hasil perhitungan *reliability* pada komponen utama pada sistem boiler ini terlihat pada Table 3.

Tabel 3 Tabel Reliability Komponen Boiler

ITEM	RELIABILITY
Feed water pump	0.52
Dosing pump	0.77
Bumer	0.83
Boiler Tube	0.71
Water level SENSOR	0.80
Blowdown valve	0.66
Pressure SENSOR	0.80
Savety valve	0.86

Dari data tersebut menunjukkan bahwa *reliability* setiap komponen memiliki tingkatan yang berbeda yang mana dari tabel ini menjadi salah satu prioritas penanganan mainenance.

Nilai *reliability* didapat dari perhitungan sebagai berikut :

Untuk komponen *Feed water pump* yang datanya bersifat distribusi normal maka memakai rumus:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$$

$$R(t) = 0.52$$

Untuk komponen yang lain menggunakan distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data kerusakan yang tercatat dengan baik pada perusahaan. Data diambil dari OREDA (*Offshore Reliability Data*). OREDA merupakan kumpulan data dari seluruh dunia yang berisi data *reliability* yang diakui oleh seluruh manufaktur di seluruh dunia.

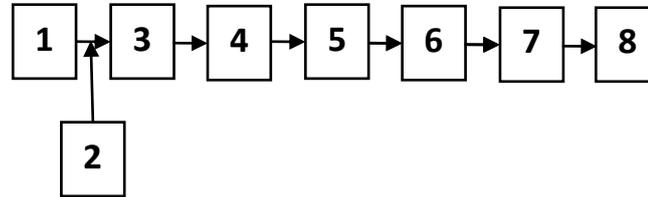
Tabel 4 Tabel Data Laju Kerusakan

NO	ITEM	DATA	LAJU KERUSAKAN		R
			MTTF jam	MTTF Year	
1	Feed water pump	STATISTIK	4.87327E-05	3916.8	0.52
2	Dosing pump	OREDA	3.09861E-05	32272.51	0.77
3	Bumer	OREDA	2.21128E-05	45222.63	0.83
4	Boiler Tank	OREDA	3.98594E-05	25088.17	0.71
5	Water level sensor	OREDA	2.65495E-05	37665.53	0.80
6	Blowdown valve	OREDA	4.87327E-05	20520.10	0.66
7	Pressure sensor	OREDA	2.65495E-05	37665.53	0.80
8	Savety valve	OREDA	1.77466E-05	56348.83	0.86

Menggunakan rumus laju kerusakan distribusi eksponensial untuk menghitung reliability masing-masing komponen.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Didalam evaluasi keandalan pada boiler di industri ini didapatkan nilai keandalan total sebesar sebagai berikut.



Gambar 6 Reliability Blok Diagram

$$R_s = R_1.R_3.R_4.R_5.R_6.R_7.R_8$$

$$= 0.52 \times 0.83 \times 0.71 \times 0.80 \times 0.66 \times 0.80 \times 0.86$$

$$= 0.11$$

$$Q_p = Q_{rs} \times Q_{r2}$$

$$= 0.99 \times 0.23$$

$$= 0.23$$

$$R_{Tot} = 1 - Q_p$$

$$= 1 - 0.23 = 0.77$$

Komponen *Feed Water Pump* setelah dilakukan perbaikan maka nilai keandalan meningkat sebagai berikut Tabel 5.

Tabel 5 Tabel Reliability Komponen Setelah Dilakukan Perbaikan

t	n	R(t)	R(t-nT)	R(T) ⁿ	Rm(t)
3,000.00	-	0.62	0.62	1.00	0.62
3,100.00	-	0.61	0.61	1.00	0.61
3,200.00	-	0.59	0.59	1.00	0.59
3,300.00	-	0.58	0.58	1.00	0.58
3,400.00	-	0.57	0.57	1.00	0.57
3,500.00	-	0.56	0.56	1.00	0.56
3,600.00	-	0.54	0.54	1.00	0.54
3,700.00	-	0.53	0.53	1.00	0.53
3,800.00	1.00	0.52	0.90	0.52	0.47
3,900.00	1.00	0.50	0.90	0.50	0.45
4,000.00	1.00	0.49	0.89	0.49	0.44
4,100.00	1.00	0.48	0.89	0.48	0.42

$$R_s = R_1.R_3.R_4.R_5.R_6.R_7.R_8$$

$$= 0.90 \times 0.83 \times 0.71 \times 0.80 \times 0.66 \times 0.80 \times 0.86$$

$$= 0.19$$

$$Q_p = Q_{rs} \times Q_{r2}$$

$$= 0.81 \times 0.23$$

$$= 0.19$$

$$R_{Tot} = 1 - Q_p$$

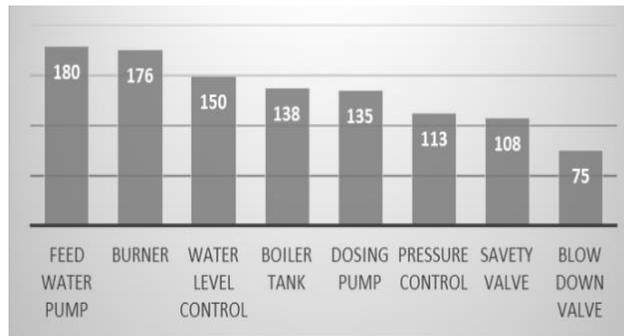
$$= 1 - 0.19$$

$$= 0.81$$

Naik sebesar 4% tingkat keandalannya, dari 0.77 menjadi 0.81.

Identifikasi Penyebab Kegagalan Dengan (FMEA)

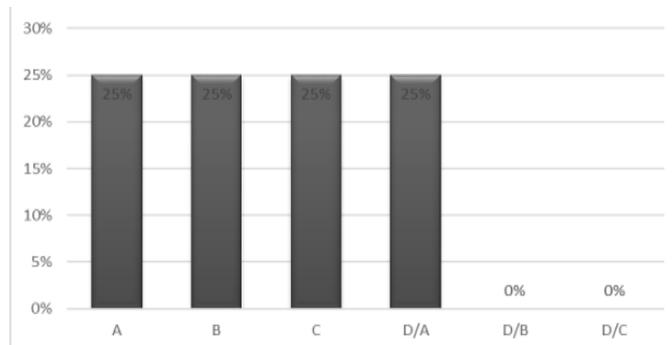
Dengan mengidentifikasi penyebab kegagalan mesin boiler menggunakan FMEA akan diketahui penyebab potensial kegagalan serta diketahui pula efek atau dampak yang ditimbulkan dari kegagalannya. Penyusunan tabel FMEA dilakukan berdasarkan data fungsi komponen, laporan perawatan dan hasil wawancara dengan operator dan mekanik.



Gambar 6 Grafik RPN dari FMEA

Identifikasi Dampak Safety dengan LTA

Di dalam analisa dampak *safety* pada mesin boiler menggunakan bantuan *Logic Tree Analysis*. Tujuan LTA adalah mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya. Selanjutnya akan dilakukan investigasi menyeluruh pada setiap komponen kritis.



Gambar 7 Presentasi Perolehan Kategori LTA

Identifikasi Tindakan Perawatan Dengan RCM Work Sheet

RCM II *Decision Worksheet* digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure modes*. Berdasarkan informasi yang ada dalam *RCM Decision Worksheet* maka akan diketahui informasi mengenai tipe konsekuensi kegagalan yang terjadi pada masing – masing peralatan dari yang berdampak *safety* maupun operasional dengan terhentinya proses produksi. Selain itu terdapat sumber informasi tindakan perawatan yang akan dilakukan yang mengacu pada *proposed task* dan interval perawatan yang ada. Dalam Tabel 5 menunjukkan terdapat dua *proposed task* yaitu *schedule on condition Task* dan *schedule discard task*. Pada prinsipnya kegiatan perawatan *scheduled on-condition task* tersebut yaitu melakukan prediksi kegagalan dengan adanya proses deteksi kegagalan sehingga suatu kegiatan dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi serta menghindari konsekuensi kegagalan, yang selanjutnya dapat diambil suatu langkah korektif setelah *failure mode* yang terjadi tersebut dapat diketahui. Sedangkan *schedule discard task* adalah kegiatan yang dilakukan dengan melakukan penggantian komponen secara berkala untuk menghindari terjadinya kegagalan fungsional yang dapat berdampak pada kegagalan fungsi dari sistem itu sendiri.

Dengan menggunakan metode RCM mampu menghasilkan kegiatan perawatan pada boiler yang berorientasi pada kehandalan, yang mana dapat dilihat dari diketahuinya *critical failure* dari system boiler yang didapat dari analisa pareto diagram, statistic analisis data, FMEA, LTA, *RCM Decision Worksheet*. Dari hasil ini keluarlah rekomendasi kegiatan perawatan yang tepat sesuai dengan kebutuhan dari masing– masing komponen pada boiler yang tentunya akan meningkatkan *reliability* dari mesin boiler tersebut. Berdasarkan analisa pareto diagram didapatkan sistem paling kritis yaitu sistem pemasok air ke dalam mesin broiler yaitu komponen *feed water pump* yang mana persentasenya sebesar 33% dari total kerusakan yang pernah terjadi.

Dari analisa data statistik komponen *feed water pump* dengan nilai *reliability* sebesar 0.52 adalah nilai *reliability* paling rendah yang mana artinya memiliki peluang kegagalan paling tinggi dibanding dengan komponen lain dalam sistem untuk itu upaya perbaikan yang dilakukan yaitu dengan cara perawatan pencegahan sesuai pola distribusi pada komponen ini yaitu distribusi normal. Tindakan perawatan pencegahan ini secara simulasi statistik dapat meningkatkan *reliability* menjadi 0.90. Untuk analisis *feed water pump* menggunakan FMEA didapatkan nilai RPN sebesar 180 dan merupakan nilai RPN tertinggi di dalam tabel FMEA yang nantinya menjadi prioritas di dalam penjadwalan kegiatan *maintenance*. Untuk analisa menggunakan *Logic Tree Analysis* komponen *feed water pump* masuk dalam kategori B yang mana kegagalan pada komponen *feed water pump* memiliki konsekuensi terhadap operasional plant (mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas output) yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.

Untuk mencegah terjadi kegagalan upaya perbaikan yang direkomendasikan yaitu *condition directed* yang artinya tindakan yang diambil bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara *visual inspection*, memeriksa alat dan *memonitoring* sejumlah data yang ada. Sedangkan analisa berdasarkan RCM *decision worksheet Proposed Task* yang direkomendasikan adalah *schedule on condition task* yang mana artinya melakukan prediksi kegagalan dengan adanya proses deteksi kegagalan sehingga suatu kegiatan dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi serta menghindari konsekuensi kegagalan, yang selanjutnya dapat diambil suatu langkah korektif setelah *failure mode* yang terjadi tersebut dapat diketahui. Interval perawatan yang direkomendasikan untuk mengurangi kegagalan adalah setiap 3800 jam dan dilakukan oleh mekanik yang sudah tersertifikasi. Hal ini sejalan dengan rekomendasi dari LTA yang merekomendasikan *condition directed*.

5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Critical failure pada mesin boiler di industri manufacture shock absorber ini didasarkan pada analisis RCM paling mempengaruhi keandalan adalah pertama komponen *feed water pump* yang mana memiliki nilai *reliability* paling rendah yaitu 0.52 dan nilai RPN tertinggi 180 sehingga beresiko terhadap terjadinya kegagalan. Yang kedua komponen apabila terjadi kegagalan berpengaruh terhadap keselamatan kerja adalah komponen *safety valve* dan *boiler tube*. Kegagalan *Safety valve* termasuk *hidden failure* karena secara normal operator tidak mengetahuinya. Untuk meningkatkan *reliability* dari komponen ini menurut kegiatan yang tepat yaitu *condition directed* dan *schedule on condition task* yang berarti keputusan untuk memperbaiki ataupun mengganti komponen didasarkan pada *monitoring* gejala-gejala kerusakan peralatan dari hasil pemeriksaan, agar dapat mengetahui apabila adanya *potential failure* sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan untuk mencegah kegagalan fungsi dari mesin *boiler*.

Upaya perbaikan untuk *critical failure* pada mesin boiler di industri manufacture shock absorber ini yaitu yang yaitu berupa kebijakan perawatan dengan pengantian pencegahan untuk meningkatkan nilai *reliability*nya serta kegiatan berupa *preventive task* yaitu *scheduled on-condition task* dan *scheduled dischard task* sesuai dengan Standar Perawatan Mesin yang peneliti usulkan.

Saran

Penelitian harap dilanjutkan pada boiler yang lain dalam perusahaan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat karena penelitian ini hanya dilakukan pada satu unit boiler sedangkan populasi boiler terdapat empat buah dengan dua buah tipe boiler yang berbeda, oleh karena itu hasil penelitian belum dapat untuk generalisasi pada seluruh sistem boiler pada perusahaan tersebut. Metode RCM merupakan *life document* sehingga harus *diupdate* sesuai dengan kondisi mesin saat itu untuk lebih meningkatkan optimalisasi kegiatan *maintenance*. Data inspeksi dan perawatan sebaiknya dicatat, didokumentasikan dan dilakukan secara sistematis sehingga dapat menjadi masukan bagi kegiatan operasi dan penelitian di masa mendatang mengenai penanganan kerusakan komponen yang dapat terjadi maupun mengenai kegiatan perawatan yang lebih efektif dan efisien.

Referensi

Ebeling, E. Charles, *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*, McGraw-Hill Inc, New York, (1997).

- Fatoni, R. (2013). Rekomendasi Standar Sistem Keselamatan untuk Steam Boiler di Pabrik Tahu. *Simposium Nasional Energi Terapan*. Surakarta.
- Fithri, P. (2010). *Optimasi Preventive Maintenance dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor dengan Menggunakan Mixed Integer Linier Programing*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Juniani, Al.(2008). *Risk Identification & Implementation Of Risk Management Methode At Fuel Oil System Case Study Paiton Power Plant, PT. PJB*. ITS.Surabaya.
- Priyatna. (2000). *Keandalan dan Perawatan*. ITS SURABAYA.
- PUSDATINAKER,(2015). Data Kecelakaan Boiler. Retrieved from <http://www.pusdatin.naker.go.id>