

PERENCANAAN KEGIATAN MAINTENANCE DENGAN METODE REABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II

Rachmad Hidayat^{*)}, Nachnul Ansori, dan Ali Imron

Jurusan Teknik Industri, Universitas Trunojoyo, PO BOX 2 Kamal Bangkalan, Madura 16912, Indonesia

^{*)}E-mail: dr.rachmad.mt@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas perencanaan kegiatan *maintenance* dengan metode RCM II untuk menilai risiko kerusakan fungsi pada *compressor screw*. Perhitungan waktu *maintenance* optimal dilakukan dengan memperhatikan biaya *maintenance* dan biaya perbaikan. Hasil penilaian risiko dengan RPN menunjukkan bahwa komponen kritis yang perlu mendapatkan prioritas utama dalam memberikan *maintenance* pada *compressor screw* adalah kerusakan fungsi pada piston yang aus, dan pada spon filter udara keluar rusak yang mendapatkan RPN 45. Penentuan waktu *maintenance* optimal diberikan pada komponen yang mengalami *scheduled restoration* dan *scheduled discard task* agar tindakan tersebut menjadi *technically feasible* untuk menurunkan konsekuensi kerusakan. Nilai waktu *maintenance* optimal yang diperoleh untuk mencegah kerusakan pada *compressor screw* lebih kecil dari nilai MTTF-nya yang menunjukkan bahwa waktu *maintenance* optimal akan berusaha untuk menghindari terjadinya kerusakan fungsi komponen sebelum kerusakan terjadi.

Abstract

Maintenance Activity Planning by Reability Centered Maintenance (RCM) II Method. This research discuss maintenance activity by using RCM II method to determine failure function risk at compressor screw. Calculation is given to magnitude optimum time maintenance interval by considering the cost maintenance and the cost reparation. From the research results with RPN points out that critical component that needs to get main priority in give maintenance on compressor screw are bust logistic on timeworn piston, and on filter's sponge airs to come out damage that gets RPN 45. Optimum maintenance interval point one that acquired to prevent failure on compressor screw smaller than appreciative MTTF which indicate optimum maintenance interval in avoiding its bust happening logistic component before happening damage.

Keywords: compressor screw, maintenance activity schedule plan, optimum time maintenance interval, RCM II, risk assessment

1. Pendahuluan

Kegiatan perawatan (*maintenance*) ditujukan untuk meyakinkan bahwa aset fisik yang dimiliki dapat terus berlanjut memenuhi apa yang diinginkan oleh pengguna terhadap fungsi yang dijalankan oleh aset tersebut. [1]. *Maintenance* merupakan salah satu cara efektif untuk meningkatkan keandalan suatu sistem [2]. Kegiatan tersebut dapat bersifat terencana (*planned*) dan tidak terencana (*unplanned*). Hanya ada satu bentuk kegiatan *maintenance* yang tidak terencana, yakni *emergency maintenance*, dimana tindakan *maintenance* tersebut dibutuhkan sesegera mungkin untuk mencegah kerusakan yang lebih parah seperti *loss of production*

atau untuk alasan keselamatan (*safety*). Kegiatan *maintenance* pada dasarnya terbagi menjadi dua kategori, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Pemilihan kegiatan *maintenance* tersebut didasari atas sifat dari kerusakan pada peralatan, apakah bersifat terprediksi atau tidak terprediksi. Selain itu, pemilihan tersebut juga didasari atas biaya yang harus dikeluarkan untuk kegiatan *maintenance* tersebut. *Maintenance* seringkali dihubungkan sebagai akar dari suatu keandalan (*reliability*). Hal ini dikarenakan seringkali masalah keandalan datangnya dari bagian *maintenance*. Oleh karena itu, perlu adanya strategi *maintenance* yang baik untuk meningkatkan *reliability* dari suatu sistem produksi [3].

Mesin juga akan mengalami penurunan tingkat keandalan (*reliability*) apabila digunakan secara terus-menerus. Keandalan merupakan peluang suatu unit atau system berfungsi normal jika digunakan menurut kondisi operasi tertentu untuk periode waktu tertentu [4]. Meskipun demikian, tingkat keandalan dapat dijaga dan masa pakai mesin dapat diperpanjang dengan melakukan penjadwalan perawatan mesin dengan baik dan teratur [5]. Pemeliharaan merupakan aktivitas menjaga sistem peralatan dan mesin selalu tetap konsisten dalam proses produksi. Secara umum, masalah pemeliharaan sering terabaikan sehingga kegiatan pemeliharaan tidak teratur, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kapasitas produksi. Dengan demikian, kegiatan pemeliharaan harus dilakukan secara tepat dan konsisten [6].

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah teknik yang lebih maju untuk menentukan aktivitas *preventive maintenance*, menjamin aset beroperasi dengan desain asli dan menjalankan fungsinya sesuai keinginan pemakai. FMEA adalah kunci RCM yang menerapkan proses pada masing-masing aset ditinjau dari fungsi dan *performance* yang diinginkan. [7]. RCM merupakan cara untuk mengembangkan strategi perawatan dan desain alternatif, berdasarkan pada operasional, ekonomi dan keselamatan serta ramah lingkungan [8].

Pendapat lain menyatakan RCM adalah metode yang menawarkan strategi terbaik bagi perawatan pencegahan. Cara-cara RCM yang mendasar diuraikan dalam (1) *preserve function* (pemeliharaan fungsi), (2) *identify failure modes that can defeat the function* (3) *prioritize function need* (4) *Select only applicable and effective PM tasks* [9]. Setelah *maintenance task* dirumuskan dalam *Step Logic Tree Analysis and Maintenance Task Selections*, langkah selanjutnya adalah merangkum *tasks* tersebut agar mudah dipahami dan lebih terstruktur. *Tasks* dikelompokkan berdasarkan jenisnya (*on condition task, restoration task*). Perbandingan antara *task* hasil RCM dengan *task exiting Preventive Maintenance (PM)* dilakukan untuk memutuskan apakah *task* yang ada pada *exiting PM* perlu dimodifikasi, karena tujuan yang akan dicapai dalam RCM adalah bagaimana mendapatkan *maintenance task* yang efektif. Modifikasi dapat berupa pengurangan atau penambahan *task* [10].

Penelitian ini mengkaji kegiatan *maintenance* pada *Compressor Screw Ingersoll Rand P375 WD* dengan mengimplementasikan metode RCM (*Reliability Centred Maintenance*) II. RCM II merupakan metode kualitatif yang digunakan untuk menentukan jenis kegiatan *maintenance* yang tepat untuk menjaga aset fisik perusahaan agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, sesuai dengan standar performansi yang telah ditetapkan. Selain itu RCM II juga telah memasukkan pertimbangan-pertimbangan mengenai konsekuensi

kerusakan terhadap keselamatan dan lingkungan dalam penentuan kebijakan kegiatan *maintenance* melalui *decision diagram* [1]. Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengidentifikasi kerusakan dan menilai risiko kerusakan pada *Compressor Screw Ingersoll Rand P375 WD*, (2) menentukan jadwal kegiatan *maintenance* yang tepat untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan (*failure*) dengan memperhatikan konsekuensi yang ditimbulkan oleh kerusakan *Compressor Screw Ingersoll Rand P375 WD*, (3) menentukan waktu *maintenance* dari kegiatan *maintenance* yang diberikan pada *Compressor Screw Ingersoll Rand P375 WD*.

2. Metode Penelitian

Pengolahan data dilakukan dengan membuat *functional block diagram (FBD)*. Langkah pendeskripsian sebuah sistem diperlukan untuk mengetahui komponen-komponen yang terdapat dalam sistem dan bagaimana komponen tersebut bekerja sesuai fungsinya. Data fungsi peralatan dan cara beroperasinya dipakai untuk membuat definisi dan dasar untuk menentukan kegiatan *maintenance* pencegahan [1]. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan salah satu metode sistematis yang digunakan untuk menganalisis kerusakan. FMEA pertama kali dikembangkan oleh para *reliability engineers* pada akhir tahun 1950an untuk menentukan masalah yang muncul pada malfungsi sistem peralatan militer ketika itu [2]. Teknik FMEA digunakan sebagai bagian integral dari pelaksanaan analisis RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Ide utama RCM adalah untuk mencegah kerusakan dengan mengeliminasi atau mengurangi penyebab kerusakan. Analisis FMEA memfokuskan pada penyebab kerusakan dan mekanisme terjadinya kerusakan [1]. Ketika penyebab dan mekanisme kerusakan telah diidentifikasi untuk setiap *failure mode*, selanjutnya dapat diberikan saran untuk waktu pelaksanaan *preventive maintenance*, atau perencanaan tindakan monitoring untuk menurunkan *failure rate*. Setelah rating ditentukan selanjutnya tiap pokok persoalan dikalkulasi dengan mengalikan *severity, occurrence* dan *detection* [11] (Persamaan 1)

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (1)$$

Nilai *Risk priority Number* (RPN) yang dihasilkan menunjukkan tingkat prioritas perbaikan untuk area/komponen yang terdapat dalam sistem. FMEA menghasilkan nilai RPN, sedangkan RCM II *decision worksheet* untuk menentukan kebijakan kegiatan *maintenance* yang sesuai dengan penggunaan RCM II *decision diagram*. Uji distribusi dilakukan terhadap waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu lama perbaikan (TTR) yang ada pada *Maintenance Record* komponen mesin produksi dengan bantuan *software Weibull version 6.0*. Kemudian ditentukan waktu *maintenance* optimal ditinjau dari segi minimasi biaya. Selanjutnya

dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repaire* (MTTR), perhitungan biaya *Maintenance* (CM) dan biaya perbaikan (CR) serta perhitungan waktu *maintenance* optimal (TM).

Model laju kerusakan konstan untuk sistem beroperasi secara kontinyu mengarah pada distribusi eksponensial. Rumusan yang digunakan pada distribusi eksponensial 1 parameter adalah:

$$\text{Fungsi kepadatan: } f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, 0 \leq t < \infty \quad (2)$$

$$\text{Fungsi keandalan: } R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

$$\text{Fungsi kumulatif: } F(t) = 1 - R(t) \quad (4)$$

$$\text{Fungsi kerusakan: } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

$$\text{MTTF} = 1/\lambda \quad (6)$$

dengan

λ = *Failure rate* (konstan)

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan (jam)

Selain distribusi eksponensial yang sering dipakai dalam mengevaluasi keandalan sistem, distribusi Weibull juga banyak dipakai karena distribusi ini memiliki shape parameter sehingga distribusi mampu untuk memodelkan berbagai data. Jika *Time to Failure* dari suatu komponen adalah T mengikuti distribusi weibull dengan tiga parameter β , η , dan γ maka fungsi padat distribusi dapat diekspresikan:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (7)$$

Jika nilai $\gamma = 0$, maka akan diperoleh distribusi Weibull dengan dua parameter. Beberapa karakteristik dari distribusi Weibull adalah: untuk $0 < \beta < 1$, laju kerusakan (*failure rate*) akan berkurang seiring bertambahnya waktu. Untuk $\beta = 1$, maka *failure rate*-nya adalah konstan. Untuk $\beta > 1$, laju kerusakan (*failure rate*) akan bertambah seiring bertambahnya waktu. Sedangkan fungsi *reliability*-nya adalah [12]:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (8)$$

Sehingga untuk *Mean time to Failure* diperoleh:

$$\text{MTTF} = \int_0^\infty R(t) dt \quad (9)$$

$$= \int_0^\infty e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} dt \quad (10)$$

$$= \gamma + \eta \Gamma(1/\beta + 1) \quad (11)$$

dengan

γ = gamma = *location parameter*

η = eta = *scale parameter*

β = beta = *shape parameter*

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan (jam)

$$\Gamma(\gamma) = \text{Fungsi gamma} = \int_0^\infty t^{\gamma-1} e^{-t} dt \quad (12)$$

Distribusi ini digunakan untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk kondisi yang bervariasi. *Time to failure* (t) dari suatu komponen disana diasumsikan memiliki distribusi LogNormal bila $y = \ln(t)$, mengikuti distribusi normal dengan rata-rata μ dan variansinya adalah s . Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi Lognormal:

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} [\ln t - \mu]^2\right\} \quad (13)$$

Fungsi keandalan distribusi lognormal:

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\frac{1}{s} \ln\left(\frac{t}{\mu}\right)\right] \quad (14)$$

Laju kerusakannya:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (15)$$

MTTF distribusi LogNormal:

$$\text{MTTF} = \exp(\mu + (0.5 \times s^2)) \quad (16)$$

Distribusi normal digunakan untuk menggambarkan pengaruh penambahan waktu ketika dapat menspesifikasikan waktu antar kerusakan dengan ketidakpastian. [13]. Distribusi ini juga digunakan untuk menggambarkan ketergantungan terhadap waktu. Distribusi normal mempunyai rumus:

Fungsi kepadatan:

$$F(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}, -\infty < t < \infty \quad (17)$$

Fungsi kumulatif:

$$F(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\left[\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]} dt \quad (18)$$

MTTF = μ

Dengan mengasumsikan bahwa *scheduled preventive maintenance* akan memulihkan sistem seperti kondisi baru. Untuk menentukan total biaya operasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Tc = \frac{tR(t)}{\int_0^\infty R(t) dt} Cp + \frac{(t - R(t)^t)}{\int_0^T R(t) dt} Cf \quad (19)$$

Untuk menentukan waktu penggantian yang dapat meminimalkan total biaya operasi tersebut dapat digunakan metoda kalkulus standard [14]. Untuk distribusi *weibull* 3 parameter diperoleh:

$$T \approx \gamma + \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} x \frac{CM}{CR - CM} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (20)$$

Untuk distribusi weibull 2 parameter diperoleh:

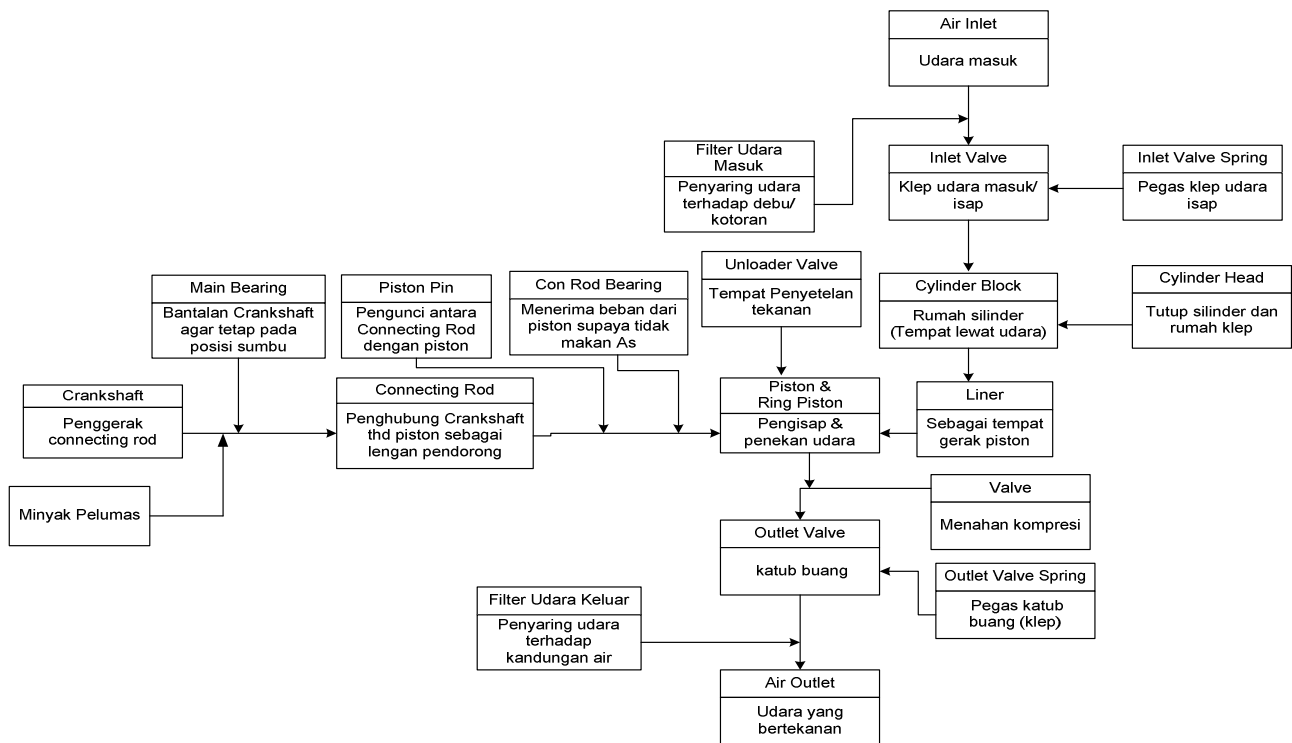
$$T \approx \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} x \frac{CM}{CR - CM} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (21)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Functional Block Diagram (FBD) digunakan untuk menggambarkan beberapa fungsi komponen dalam satu kesatuan blok yang saling berhubungan antara fungsi komponen satu dengan komponen lain hingga membentuk satu kesatuan fungsi sistem kerja. *Input* dan *output* pada masing-masing *variable/* komponen dapat dikoneksikan dengan blok-blok yang lain dengan menggunakan garis penghubung.

Hubungan antar fungsi komponen yang membentuk suatu sistem kerja dalam kasus ini adalah sistem kerja pada *Compressor Screw*. Hubungan tersebut menggambarkan perpindahan dari material, energi serta *control signals* dengan melewati elemen-elemen yang berbeda pada sebuah sistem kerja. Gambar 1 diagram blok komponen *Compressor Screw* menunjukkan sistem kerja pada *Compressor Screw* terdiri dari beberapa bagian utama, yakni langkah gerak pada *crankshaft*, langkah isap, langkah kompresi, langkah buang. Keempat langkah ini harus bekerja sama untuk dapat menghasilkan udara yang bertekanan sehingga bisa

digunakan untuk proses *painting*, *blasting* pada badan kapal. Terjadinya kerusakan pada salah satu bagian komponen utama dapat mengganggu kinerja pada *Compressor Screw* saat beroperasi. FMEA atau pada RCM II *Information Worksheet* dapat mengetahui beberapa bentuk kerusakan (*failure modes*) yang mengakibatkan kerusakan pada komponen *Compressor Screw* dalam memenuhi fungsinya (*functional failure*). Berdasarkan dampak (*effect*) yang ditimbulkan, maka dapat diketahui bahwa terdapat beberapa dampak yang secara keseluruhan mengganggu proses operasi/ kinerja *Compressor Screw*. Pertama adalah kerusakan yang ditimbulkan oleh komponen *Compressor Screw*. Yang mengakibatkan *shut down* pada *Compressor Screw* seperti *low pressure* pada piston, valve bocor dan liner aus. Kondisi ini mengakibatkan proses produksi *painting* dan *blasting* tidak dapat dilakukan atau terhambat yang mengakibatkan kehilangan fungsi pada beberapa komponen *Compressor Screw*. Kedua, kerusakan pada komponen *Compressor Screw* yang tidak sampai mengakibatkan proses produksi pada berhenti (*shut down*) namun mengakibatkan turunnya gangguan operasi pada *Compressor Screw* dalam melakukan proses *painting* dan *blasting* sehingga *output* yang dihasilkan akan mengalami penurunan. Jenis kerusakan yang terjadi misalnya kekuatan main *bearing* sebagai bantalan *crankshaft* tidak maksimal, *con rod bearing abrasive* dan filter udara masuk buntu. Kerusakan ini mengakibatkan proses produksi *painting* dan *blasting* tidak akan maksimal sehingga *Compressor Screw* mengalami penurunan performansi. Ketiga, kerusakan

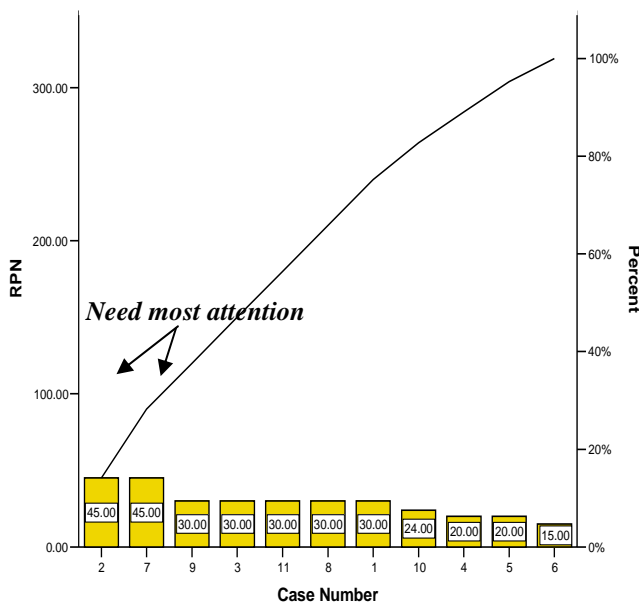


Gambar 1. *Functional Block Diagram (FBD) Compressor Screw*

pada komponen/equipment *Compressor Screw* yang tidak berpengaruh terhadap proses produksi *painting* dan *blasting*, akan tetapi berpengaruh terhadap keselamatan/*safety* saat *Compressor Screw* beroperasi sehingga dapat mengakibatkan dampak terhadap keselamatan operator. Kerusakan pada komponen *Compressor Screw* yang dapat mengakibatkan hal tersebut adalah gangguan pada kinerja filter udara keluar karena rusak dalam menyuplai udara yang bertekanan tinggi sehingga terjadi sebuah ledakan.

Risk Priority Number (RPN) merupakan penilaian risiko yang diberikan setelah dilakukan identifikasi kerusakan pada komponen *Compressor Screw* dengan menggunakan metode FMEA. Nilai RPN yang diperoleh menunjukkan tingkat kepentingan terhadap perhatian atau prioritas risiko yang diberikan untuk komponen-komponen yang ada di dalam sistem *Compressor Screw*. Nilai RPN yang telah diperoleh akan dipresentasikan ke dalam *histogram*, untuk membantu memberikan visualisasi/ gambaran tingkat risiko adanya potensi kerusakan (*potential failure modes*) pada *Compressor Screw* (Gambar 2).

Penilaian RPN yang telah dihasilkan pada masing-masing bentuk kerusakan (*failure mode*) dari komponen *Compressor Screw* serta mengacu pada Gambar 2, maka dapat diketahui bahwa *potential failure modes & cause* yang memiliki prioritas risiko tertinggi dengan nilai RPN 45 adalah kerusakan pada piston disebabkan aus



Keterangan: 1. Kompresi bocor, 2. Piston aus, 3. Filter udara masuk kotor, 4. Filter udara masuk berkarat, 5. Main bearing aus, 6. Body filter udara keluar berkarat, 7. Spon filter udara keluar rusak, 8. Con rod bearing abrasive, 9. Valve bocor, 10. Liner aus, 11. Konsumsi oli terlalu banyak

Gambar 2. Pareto Diagram pada *Failure Mode Compressor Screw*

(umur pemakaian pada material tersebut), dan spon filter yang kaku atau rusak sehingga berpotensi menyebabkan terjadinya ledakan, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap keselamatan kerja operator dan operasional. Prioritas yang kedua dari kerusakan komponen *Compressor Screw* adalah kompresi bocor pada piston, filter udara masuk buntu karena banyak debu, *con rod bearing* tidak maksimal untuk menerima tekanan/ beban dari piston disebabkan *abrasive* (terkikis oleh debu/pengaruh lingkungan kerja), *valve* mengalami *low pressure*. Kondisi ini menyebabkan *valve* mengalami kebocoran dan konsumsi oli pada liner terlalu banyak sehingga menyebabkan udara bercampur dengan oli. Masing-masing *equipment* mendapatkan RPN 30. Prioritas yang ketiga adalah liner sebagai tempat gerak piston aus sehingga berbentuk oval dengan RPN 24. Prioritas keempat adalah filter udara masuk berkarat dan permukaan bearing aus sehingga kinerjanya tidak maksimal dengan RPN 20. Prioritas kelima adalah *body* filter udara keluar berkarat sehingga menyebabkan masa pakai turun, dengan RPN 15.

RCM II *decision worksheet* digunakan untuk menentukan dampak atau konsekuensi yang akan timbul jika kerusakan terjadi, dan tindakan *proactive maintenance* untuk mencegah atau meminimalisir dampak yang timbul ketika kerusakan terjadi. Untuk menentukan *consequence* dan *proactive task* pada setiap komponen dengan *failure mode* yang berbeda, maka digunakan *decision diagram* yang merupakan diagram dalam RCM II untuk menentukan *consequence* dan *proactive task* yang akan diberikan. Evaluasi terhadap *consequence* dan *proactive task* yang diberikan terhadap peralatan *Compressor Screw* yang akan digunakan. *Failure mode* dari *Compressor Screw* adalah filter udara keluar yang gagal berfungsi, sehingga akan memberikan dampak terhadap keselamatan (*safety*) dan operasional. Spon filter yang kaku atau rusak, akan menyebabkan terjadi ledakan dan udara akan bercampur dengan air sehingga tidak bisa digunakan untuk proses *painting* dan *blasting* pada badan kapal. Kolom *consequence evaluation decision worksheet* untuk kerusakan pada spon filter udara keluar adalah Y (yes) untuk H (*hidden function*) dan S (*safety*). *Body* filter yang berkarat akan menyebabkan umur pakai *Compressor Screw* menurun sehingga berdampak terhadap operasional *Compressor Screw*. Kolom *consequence evaluation decision worksheet* untuk *body* filter yang berkarat adalah Y (yes) untuk O (*operational*) H (*hidden function*).

Oleh karena kerusakan pada spon filter udara keluar berdampak pada *hidden function*, keselamatan dan operasional, maka kegiatan *maintenance* yang dilakukan adalah dengan cara melakukan perpaduan antara dua kegiatan *maintenance (combination task)*, yaitu inspeksi secara rutin (*scheduled on condition task*) dan penggantian komponen (*scheduled discard task*). Oleh karena itu,

pada kolom S4 yang merupakan kolom *default action* diisikan Y (*yes*) yang berarti tindakan *maintenance* yang diberikan adalah *combination task*, dan pada *body filter* udara keluar yang berkarat, kegiatan *maintenance* adalah pemulihan komponen (*scheduled restoration task*), sesuai dengan waktu *maintenance* optimal. Jenis *maintenance* ini dirasa sangat tepat dengan harapan tindakan tersebut dapat secara signifikan menurunkan konsekuensi kerusakan yang ditimbulkan. *Decission maintenance* yang diberikan pada setiap kerusakan fungsi komponen *Compressor Screw* dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam penyusunan *task-task* tersebut, dilakukan *brainstorming* dengan petugas dan manajer *engineering*. *Task* yang telah disusun secara keseluruhan dapat dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu (1) *Scheduled discard task*, kegiatan *maintenance* ini diambil jika komponen yang mengalami kerusakan tidak dapat diperbaiki lagi, atau biaya perbaikan sama atau melebihi biaya penggantian sehingga diputuskan untuk melakukan penggantian (*discard*) komponen. Misalnya kerusakan pada piston. (2) *Scheduled restoration task*, kegiatan *maintenance* dilakukan jika komponen yang mengalami kerusakan fungsi masih memungkinkan

Tabel 1. Proposed Task pada Compressor Screw Ingersoll Rand P375 WD

No	Equipment	Function	Functional Failure	Failure Mode	Proposed Task
1	Piston	Sebagai pengisap & penekan udara	<i>Low pressure</i> Terdengar suara ketokan pada saat operasi	Kompresi bocor Kerusakan pada piston (aus)	Scheduled restoration task: tindakan preventif dilakukan dengan mengencangkan <i>top ring</i> yang mengalami kelonggaran dan pemberian pelumas (oli/grease) Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian piston sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya
2	Filter Udara Masuk	Sebagai penyaring udara dari kotoran	Tidak bisa menyaring udara dengan optimal/buntu	Terlalu banyak kotoran (berdebu) Filter berkarat	Scheduled restoration task: tindakan preventif dilakukan dengan membersihkan kotoran/debu Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian filter sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya.
3	Main Bearing	Sebagai bantalan crankshaft	Kekuatan untuk menahan beban (bantalan) tidak maksimal	Permukaan Metal/bearing aus	Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian main bearing sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya
4	Filter Udara Keluar	Menjaga udara keluar agar tidak lembab	Tidak bisa menyaring kandungan air	<i>Body filter</i> berkarat Spon filter kaku/rusak	Scheduled restoration task: tindakan preventif dilakukan dengan membersihkan karat dan pemberian grease pada <i>body</i> Combination of task Scheduled on condition task: dengan teknik <i>primary effect monitoring</i> , yaitu dengan pemeriksaan secara manual pada kondisi Spon filter secara periodik setiap beberapa hari oleh operator Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian filter sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya
5	Con Rod Bearing	Menerima beban/tekanan dari piston	Beban/tekanan yang dihasilkan tidak dapat bekerja secara maksimal	Terkikis karena debu ikut masuk/pengaruh lingkungan kerja (Abrasive)	Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian Con rod bearing sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya
6	Valve	Menahan compresi	<i>Low pressure</i>	Valve bocor (<i>worn</i>)	Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian Valve sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya
7	Liner	Sebagai tempat gerak piston	Piston bergetar sehingga putus Gerak piston <i>trouble</i> dalam proses mengisap & menekan udara	Liner aus sehingga berbentuk oval Konsumsi oli terlalu banyak/encer	Scheduled discard task: tindakan preventif dilakukan penggantian liner sesuai dengan waktu <i>maintenance</i> optimalnya Scheduled restoration task: tindakan preventif dilakukan dengan membersihkan oli pada liner dan ganti oli

dilakukan perbaikan untuk mengembalikan fungsinya seperti semula. Misalnya filter udara masuk terlalu banyak kotoran sehingga dilakukan pembersihan pada kotoran-kotoran filter. (3) *Combination of task*, tindakan ini merupakan langkah antisipasi dalam menghadapi kerusakan yang memiliki dampak terhadap keselamatan (*safety*) atau lingkungan (*environment*). Hal ini dilakukan karena *scheduled discard task*, *scheduled restoration task* dan *scheduled on condition task* tidak dapat ditemukan untuk dapat mengurangi risiko kerusakan pada level yang dapat diterima. Sehingga dengan pemberian tindakan kombinasi (*combination task*), *scheduled on condition task* dan *scheduled discard task* diharapkan dapat mencegah kerusakan komponen yang memiliki dampak terhadap keselamatan operator. Misalnya tindakan *maintenance* yang diberikan pada komponen filter udara keluar dengan *failure mode* berupa spon filter rusak sehingga bisa menyebabkan terjadi ledakan dan udara bercampur dengan air.

Perhitungan kuantitatif yang telah dilakukan akan membantu proses analisis dalam RCM II. RCM merupakan langkah untuk mengambil keputusan dalam memberikan *maintenance (maintenance)* terhadap bentuk kerusakan yang terjadi sehingga metode RCM ini lebih cenderung menggunakan analisis kualitatif. Perhitungan kuantitatif perlu dilakukan untuk mengetahui waktu *maintenance optimal (TM)*. Waktu *maintenance optimal*, maka diharapkan komponen tersebut mampu mempertahankan kehandalannya dalam memenuhi fungsi yang dimilikinya. Dimana perhitungan kuantitatif dimulai dengan melakukan uji distribusi terhadap waktu kerusakan dan selang lamanya perbaikan komponen sehingga diperoleh parameter distribusi dengan menggunakan *software weibull version 6*. Parameter distribusi yang telah diperoleh akan digunakan dalam penentuan *mean time to failure (MTTF)* dan *mean time to repair (MTTR)*. 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. Hasil dari perhitungan MTTF menunjukkan bahwa komponen yang memiliki nilai waktu antar kerusakan tertinggi adalah filter udara keluar yaitu 8916,778 jam, sedangkan komponen yang nilai MTTF-nya paling rendah adalah *main bearing* yaitu 2232,144 jam.

Penentuan TM dilakukan dengan mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan untuk *maintenance (CM)*, biaya untuk perbaikan (*CR*) serta nilai dari waktu antar perbaikan (*MTTR*). Oleh karena itu besarnya biaya yang dikeluarkan untuk *maintenance* dan perbaikan

Tabel 2. Rekap Hasil Perhitungan TM dan Nilai MTTF

<i>Equipment</i>	Jenis Kerusakan	TM (hour)	MTTF (hour)
Piston	Kompresi bocor	1567,600	3857,320
	Kerusakan pada piston (aus)	1505,700	3006,786
Filter Udara Masuk	Terlalu banyak kotoran (berdebu)	1567,589	4428,233
	Filter berkarat	2692,815	3587,320
Main Bearing	Permukaan metal/ bearing aus	695,889	2232,144
	Filter Udara	Body filter berkarat	2370,917
Keluar Bearing	Spon filter kaku/ rusak	1066,105	4009,789
	Con Rod	Terkikis karena debu ikut masuk (abrasive)	1659,349
Valve Liner	Valve bocor	571,754	4180,248
	Liner aus sehingga berbentuk oval	4215,004	4463,072
	Konsumsi oli terlalu banyak	1612,640	3657,409

harus ditentukan terlebih dahulu sebelum menghitung nilai waktu *maintenance optimal (TM)*. Berdasarkan perhitungan waktu *maintenance optimal (TM)*, maka dapat diketahui bahwa besarnya nilai TM lebih rendah dari nilai MTTF-nya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2 mengenai rekap hasil perhitungan TM dengan nilai MTTF-nya yang menunjukkan bahwa waktu *maintenance optimal (TM)* bertujuan untuk menghindari dan mencegah terjadinya kerusakan (*failure*) pada komponen sebelum kerusakan tersebut terjadi. Dengan menentukan waktu *maintenance optimal (TM)*, maka perbaikan pada komponen menjadi lebih efektif dan efisien sehingga dapat meminimalisir biaya yang dikeluarkan untuk kegiatan *maintenance*.

4. Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa simpulan yaitu terdapat 11 bentuk kerusakan (*failure modes*). Dampak yang ditimbulkan dapat dibagi menjadi 3 kriteria diantaranya: kerusakan yang berdampak hingga proses produksi terhenti (*shut down*), kerusakan yang berdampak pada menurunnya kuantitas maupun kualitas produk serta kerusakan yang berpengaruh terhadap keamanan operasi *Compressor Screw*. Hasil penilaian risiko dengan *risk priority number (RPN)* menunjukkan bahwa komponen kritis yang perlu mendapatkan prioritas utama atau memiliki tingkat kepentingan tinggi untuk diperhatikan (*need most attention*) adalah kerusakan fungsi (*functional failure*) pada piston yang aus, dan pada spon filter udara keluar yang rusak dengan nilai RPN masing-masing adalah 45. Kompresi bocor pada piston, filter udara masuk kotor, *con rod bearing abrasive*, *velve* bocor, dan

konsumsi oli terlalu banyak pada liner dengan nilai masing-masing RPN 30. Liner aus dengan RPN 24. Filter udara masuk berkarat, main bearing aus mendapatkan RPN 20, dan yang terakhir pada *body* filter udara keluar yang berkarat dengan RPN 15.

Kebijakan *maintenance* yang diberikan untuk menghadapi kerusakan fungsi (*functional failures*) pada komponen *Compressor Screw* adalah: (a) *Scheduled discard task*, komponen pada *Compressor Screw* yang perlu *task* jenis *maintenance* ini diantaranya adalah piston yang aus, filter udara masuk berkarat, *main bearing*, *con rod bearing*, *valve*, liner. (b) *Scheduled restoration tas*, *Low pressure* pada piston, filter udara masuk kotor, *body* filter udara keluar berkarat, dan konsumsi oli terlalu banyak pada liner. (c) *Combination of task*, tindakan kombinasi *maintenance* ini diberikan pada komponen yang tidak dapat ditemukan dengan salah satu *task* untuk menurunkan risiko dari kerusakan yang dimiliki. *Combination of task* diberikan pada komponen *compressor screw* adalah spon filter udara keluar yang rusak.

Waktu *maintenance* optimal dengan mempertimbangkan biaya *maintenance* dan biaya perbaikan, maka dapat diketahui nilai waktu *maintenance* optimal yang diperoleh untuk mencegah kerusakan pada *compressor screw*. Komponen yang memiliki nilai waktu *maintenance* optimal tertinggi adalah filter udara keluar dengan jenis kerusakan *body* filter berkarat yaitu 2370,917 jam, sedangkan komponen dengan nilai waktu *maintenance* optimal paling rendah adalah *main bearing* yaitu 695,889 jam.

Daftar Acuan

- [1] J. Moubray, Introduction Reliability Centered Maintenance, International Edition, Industrial Press, Inc, New York, 2001, p.135.
- [2] I. Setyana, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Industri FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 2007.
- [3] R.T. Anderson, L. Neri, Reliability Centered Maintenance: Management and Engineering Methods, Elsevier Science Publishers Ltd., New York, 1990, p.122.
- [4] B.S. Dhillon, Engineering Maintenance: A Modern Approach. CRC Pres LLC, N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida, 2007, p.153.
- [5] B.T. Cahyono, Manajemen Produksi. IPWI: Jakarta, 2005, p. 115.
- [6] M.P. Tampubolon, Manajemen Operasional, Ghalia Indonesia: Jakarta, 2004, p.98.
- [7] D. Berger, Advanced failure analysis methodologies and techniques, 2007, david@wmc.on.ca.
- [8] D. N. Veritas, Reliability Centered Maintenance, 2006, www.dnv.ru.
- [9] A.M. Smith and G. R. Hoinchcliffe, Reliability Centered Maintenance. McGraw-Hill Inc, New York, USA, 2004, p.223.
- [10] Jamasri and C.A. Pinto. Proceeding Seminar Nasional Industrial Service, Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2009, p.III-151.
- [11] B.S. Blanchard, D. Verma, E.L. Peterson, Maintainability. New York: John Wiley & Sons. Inc., 1994, p.127.
- [12] C. E. Ebeling, An Intruduction to Reliability and Maintainability Engineering. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997, p.23.
- [13] A. Stagliano and A. Rath, Strong's Six Sigma Advanced Tools Pocked Guide. ANDI: Yogyakarta, 2005, p.29.
- [14] Haryono, Perencanaan Suku Cadang Berdasarkan Analisis Reliabilitas. Laporan Penelitian, Jurusan Statistika FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 2004.