

Usulan Interval *Preventive Maintenance* dan Estimasi Biaya Pemeliharaan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* dan FMECA

Wirda Hamro Afiva^{1a}, Fransiskus Tatas Dwi Atmaji^{1b}, Judi Alhilman^{1c}

Abstract. *ABC is a company engaged in the production of automotive spare parts and accessories, especially motorcycles. The problems faced by the company, there is frequent damage to the CNC Milling A. The company applies preventive maintenance and corrective maintenance activities, but these maintenance activities have not yet run optimally. Therefore, a maintenance system is developed to improve machine reliability. The method used is Reliability Centered Maintenance (RCM), with the aim of determining the optimal maintenance interval and estimation of efficient maintenance costs. RCM is done by analyzing the Failure Modes Effect and Critical Analysis (FMECA). The results of the FMECA analysis are in the form of a Risk Priority Number (RPN) that shows the components of rail bearings, spindle bearings, and hoses as critical components of the system. Through the RCM method, the maintenance policy is generated in the form of 2 scheduled on-condition tasks, 2 scheduled restorations, and 3 scheduled discard tasks with maintenance time intervals in accordance with the task category and can save maintenance costs of IDR 175.602.300.*

Keywords. *maintenance, FMECA, RCM, maintenance task, maintenance cost*

Abstrak. *PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang produksi spare part dan aksesoris otomotif khususnya sepeda motor. Permasalahan yang dihadapi perusahaan yaitu sering terjadinya kerusakan pada mesin CNC Milling A. Perusahaan menerapkan kegiatan preventive maintenance dan corrective maintenance namun kegiatan maintenance ini belum berjalan dengan optimal. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan sistem pemeliharaan untuk meningkatkan keandalan mesin. Metode yang digunakan yaitu Reliability Centered Maintenance (RCM) dengan tujuan menentukan interval waktu pemeliharaan yang optimal dan estimasi biaya pemeliharaan yang efisien. RCM dilakukan dengan menganalisis kegagalan dengan analisis Failure Modes Effect and Criticality Analysis (FMECA). Hasil dari analisis FMECA ini berupa nilai Risk Priority Number (RPN) yang menunjukkan komponen bearing rel, bearing spindle dan selang sebagai komponen kritis pada sistem. Melalui metode RCM, dihasilkan kebijakan maintenance berupa 2 scheduled on-condition task, 2 scheduled restoration dan 3 scheduled discard task dengan interval waktu maintenance sesuai dengan kategori task serta dapat menghemat biaya pemeliharaan sebesar Rp175.602.300.*

Kata Kunci. *perawatan, FMECA, RCM, tugas perawatan, biaya perawatan*

I. PENDAHULUAN

Dalam melakukan kegiatan produksi, sistem pemeliharaan memiliki peran yang penting dimana setiap mesin harus dirawat dengan baik untuk menjaga proses produksi dapat berjalan dengan lancar sesuai harapan semua perusahaan (Alhilman dkk., 2017). Untuk perusahaan skala menengah dan kecil; perawatan peralatan, fasilitas atau mesin-mesin produksi pada umumnya

kurang memperoleh perhatian dari perusahaan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem perawatan yang terorganisasi dengan baik untuk mendukung lancarnya proses produksi pada seluruh mesin yang digunakan (Atmaji, 2015). Perawatan mesin dan fasilitas merupakan kegiatan untuk mengembalikan fungsi mesin, fasilitas atau sistem kedalam fungsi sesuai standar awal agar mendapatkan hasil yang optimal (Atmaji dkk., 2017). Sistem perawatan mesin umumnya terbagi menjadi dua bagian besar, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* (Atmaji & Putra, 2018). *Preventive maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan sebelum komponen mengalami kerusakan. Sedangkan *corrective maintenance* merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan setelah komponen mengalami kerusakan atau

¹ Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi No.01 Terusan Buah Batu, Bandung 40257

^a email: wirdahamro@student.telkomuniversity.ac.id

^b email: franstatas@telkomuniversity.ac.id

^c email: alhilman@telkomuniversity.ac.id

Diajukan: 30-07-2019 Diperbaiki: 07-12-2019
Disetujui: 11-12-2019

breakdown (Holgado dkk., 2016). Tujuan *preventive maintenance* adalah mencegah atau meminimasi terjadinya kegagalan (*prevent failure*), mendeteksi apabila terjadinya kegagalan, menemukan kegagalan yang tersembunyi,

meningkatkan keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) komponen tersebut (Smith, 2011). Guna mencegah terjadinya kegagalan, sehingga dilakukan penjadwalan interval perawatan.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Penulis	Metode	Objek	Hasil
1	(Ruijters dkk., 2016)	RCM melalui <i>Fault Maintenance Trees</i> (FMT)	<i>El-joint</i> (kereta api berbasis elektrik)	Kebijakan pemeliharaan yang dipilih yaitu fokus kepada optimasi biaya. Hal ini digunakan untuk menaikkan keandalan sistem dengan melakukan lebih banyak inspeksi guna mengurangi kegagalan.
2	(Zhou dkk., 2007)	Mengintegrasikan <i>imperfect maintenance</i> kedalam <i>Condition-Based Predictive Maintenance</i> (CBPM) berdasarkan RCM	Simulasi sistem yang terdegradasi	Keandalan optimal didapat dengan meminimalisir biaya pemeliharaan kumulatif per unit dalam sisa umur ekonomis sistem, dan kebijakan pemeliharaan <i>predictive</i> yang berpusat pada keandalan dapat mengurangi interval waktu <i>predictive maintenance</i> dan lebih praktis dibanding kebijakan pemeliharaan berdasarkan umur.
3	(Anbuselvan dkk., 2014)	RCM	Agro Industri	Membentuk dasar untuk pengembangan metode kuantitatif untuk pemilihan dan pengoptimalan strategi pemelihara, serta memaparkan RCM sebagai cara yang terstruktur serta mengurangi kesenjangan antar metode keandalan, untuk memanfaatkan hasil yang terbaik serta lebih praktis.
4	(Gupta and Mishra, 2018)	RCM menggunakan <i>Analytic Network Process</i> (ANP)	Mesin bubut CNC	Menentukan keputusan dari permasalahan perencanaan pemeliharaan dengan memprioritaskan komponen kritis pada metode <i>Reliability Centered Maintenance</i>
5	(Adoghe dkk., 2012)	RCM dan PDCA	Turbin angin (<i>gearbox</i> dan <i>generator</i>)	Penggunaan siklus <i>plan-do-check-act</i> ke dalam kerangka yang lebih umum digunakan untuk aset industri, proposal penerapan pendekatan sistem untuk operasi dan pemeliharaan <i>gearbox</i> , dan mengoptimalkan kontribusi penambahan nilai aset melalui meminimasi biaya total.
6	(Awad & Afif As'ad, 2016)	RCM menggunakan <i>fuzzy inference systems</i> (FIS)	Sistem hidraulik pada peralatan konstruksi	Bobot angka dari FIS sebagai penilaian kepentingan dari setiap kriteria, lalu akan dimasukkan kedalam angka biner sehingga menghasilkan tindakan pemeliharaan yang optimal dari tindakan yang mungkin dilakukan.
7	(Bae dkk., 2009)	RCM menggunakan teknik komputasi	Subsistem EMU standar	Metodologi yang berguna untuk mendapatkan rencana pemeliharaan efektif dengan mempertimbangkan keselamatan dan efisiensi ekonomi. Kedua faktor ini adalah kondisi yang penting dalam membangun dan mempertahankan sistem yang handal
8	(Carretero dkk., 2003)	RCM dan CMMS	RAIL: <i>Reliability centered maintenance approach for the infrastructure and logistics of railway operation</i>	Preventive maintenance yang lebih baik yang dapat meningkatkan masa pakai peralatan dan membantu mengurangi biaya pemeliharaan, meningkatnya produksi karena nilai <i>downtime</i> yang tidak terjadwal menurun.

Tabel 1. Penelitian terdahulu (lanjutan)

No	Penulis	Metode	Objek	Hasil
9	(Pamungkas dkk, 2014)	RCM II dan OEE	Mesin <i>ammonia synthesis converter</i> (pada perusahaan pupuk)	Usulan berupa 66 kegiatan <i>scheduled on condition</i> dan 2 kegiatan <i>scheduled restoration</i> dengan waktu yang bervariasi tergantung pada karakteristik <i>equipment</i> tersebut. Kebijakan <i>maintenance</i> yang dilakukan oleh pihak perusahaan ialah lebih bersifat <i>preventive maintenance</i> .
10	(Dhamayanti dkk., 2016)	RCM II dan RBM	Mesin Komori LS400 (pada perusahaan cetak)	<i>System Breakdown Structure</i> (SBS) untuk klasifikasi item secara sistematis hingga pada <i>level maintainable item</i> . <i>Maintainable item</i> pada mesin Corazza FF100 terdiri dari <i>motor, brake, valve, cylinder, sensor, gearbox, agitator, piston, nozzle, heater, dan ejector</i> . <i>Maintainable item</i> pada mesin Corazza FF100 berjumlah 27.
11	(Riyanto dkk., 2018)	RCM dan RCS	Mesin ILA-0005	Kebijakan <i>preventive maintenance</i> sebagai berikut, sebanyak 8 <i>Scheduled on Condition Task</i> , 1 <i>Scheduled Restoration Task</i> , dan 2 <i>Scheduled Discard Task</i> .

Levitt (2008) mengatakan bahwa buruknya penjadwalan pemeliharaan menjadi faktor yang mengakibatkan sering terjadinya pemborosan biaya pada proses. Salah satu metode untuk mengidentifikasi kerusakan mesin serta memperhitungkan interval waktu pemeliharaan yaitu menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

Hingga saat ini, telah banyak penelitian yang dilakukan menggunakan metode RCM. (Atmaji dkk., 2017) melakukan penelitian di salah satu mesin pesawat CT7 di perusahaan *maintenance* komponen pesawat menggunakan metode RCM untuk mendapatkan usulan interval perawatan yang optimal untuk komponen mesin pesawat tersebut.

Yssaad dan Abene (2015) melakukan penelitian yang menyajikan aplikasi metode RCM untuk mengoptimalkan manajemen pemeliharaan dengan objek EFS (*Electric Feeder System*), dimana penelitian ini membahas mengenai dua tujuan utama dari RCM, yaitu untuk memastikan keselamatan melalui tindakan pemeliharaan preventif, dan untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara yang paling ekonomis. Penelitian ini melakukan pendekatan didasarkan pada analisis FMECA (*Failure Modes Effect and Critically Analysis*). Implementasi dari FMECA ini akan mengurangi biaya pemeliharaan dengan

melakukan menentukan persyaratan keterkaitan, identifikasi fungsi penting pada sistem, dan penentuan kebijakan pemeliharaan untuk sistem serta komponennya. Sehingga, didapatkan hasil bahwa perlunya dilakukan integrasi ulang dari strategi pemeliharaan yang telah dilakukan termasuk menyajikan implementasi yang optimal. Adapun penelitian lain yang berhubungan dengan metode RCM dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya, pada dasarnya RCM digunakan untuk menentukan strategi biaya pemeliharaan yang efektif berdasarkan keandalan komponen dalam sebuah sistem. Metode ini berisikan strategi penentuan kebijakan pemeliharaan dari mesin serta melakukan pemeliharaan pada waktu yang tepat agar pencegahan kerusakan pada mesin dapat dilakukan. *Output* yang didapatkan dari perhitungan RCM adalah mengetahui komponen dalam mesin yang termasuk ke dalam sistem kritis dengan interval waktu pemeliharaan peralatan sesuai dengan fungsi (*task*) masing-masing.

Industri manufaktur terutama sektor industri otomotif semakin mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, terutama pada industri kendaraan bermotor. Di Indonesia, industri kendaraan bermotor menjadi salah satu industri yang berkembang sangat baik. Menurut riset yang

dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), 80% dari total kendaraan bermesin di Indonesia merupakan sepeda motor. Dengan meningkatnya pengguna sepeda motor, maka diiringi pula dengan permintaan terhadap suku cadang atau *spare part* sepeda motor. Salah satu perusahaan yang memproduksi *spare part* kendaraan bermotor yaitu PT. XYZ. PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang produksi *spare part* dan aksesoris otomotif khususnya sepeda motor. Produk yang dihasilkan antara lain: *manual cover crankcase, racing muffler, apparel, footsteps, clutch, block kopling, paddock stand, racing muffler* dan knalpot, baik nasional maupun internasional.

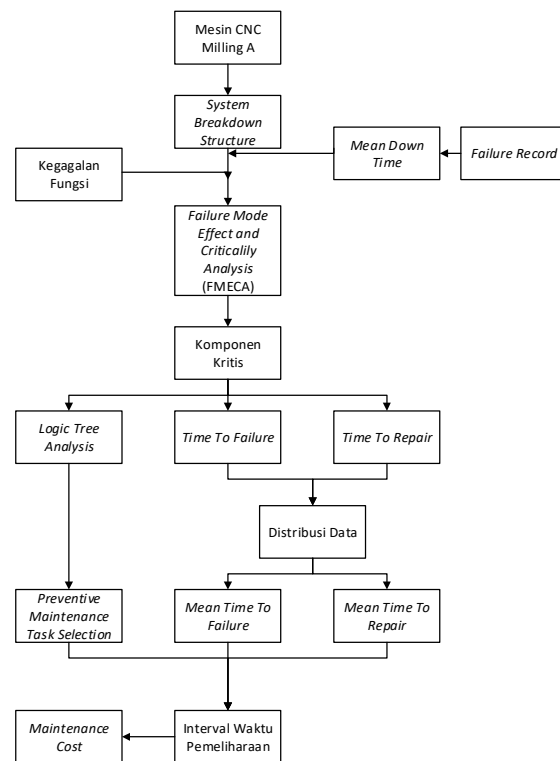
II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan sesuai dengan alur pada Gambar 1. Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dengan menggunakan analisis kegagalan *Failure Modes Effect and Criticality Analysis* (FMECA) untuk menentukan mode kegagalan yang terjadi pada sistem. FMECA bertujuan untuk mengambil tindakan guna menghilangkan atau mengurangi kegagalan, berdasarkan prioritas tertinggi yang dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN). *Output* yang didapatkan dari penelitian menggunakan perhitungan RCM berbasis FMECA ini adalah interval waktu pemeliharaan peralatan yang optimal sesuai dengan fungsi (*task*) masing-masing dengan total biaya perawatan mesin yang minimum.

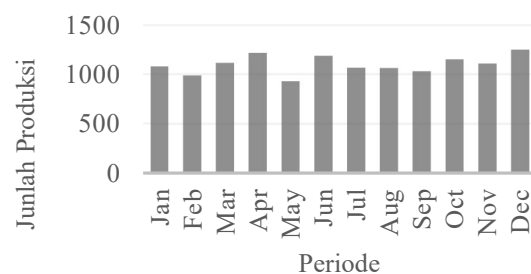
Dari Gambar 1 dapat dilihat alur metode penelitian ini. Penelitian ini dilakukan pada mesin CNC Milling-A karena berdasarkan data dari department Maintenance, mesin ini merupakan mesin yang kritis untuk produksi dan paling banyak mengalami kerusakan. Langkah pertama adalah melakukan analisa *System Breakdown Structure* untuk mengidentifikasi bagian-bagian mesin agar dapat ditentukan *critical component* untuk penelitian lebih lanjut. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam melakukan penelitian. Data dasar darimesin CNC Milling-A pada tahun 2017-2018 yang dikumpulkan terdiri dari data-data kerusakan

mesin, data waktu perbaikan mesin, data pergantian komponen, biaya perawatan eksisting dan data-data lain yang menunjang perhitungan RCM dan FMECA.

Data yang didapatkan akan diolah dengan menggunakan metode RCM berbasis FMECA untuk menentukan interval waktu preventive maintenance dan biaya usulan pemeliharaan pada mesin. Gambar 2 memperlihatkan jumlah produksi untuk produk *footstep* pada tahun 2018. Dalam menunjang proses produksi, perusahaan memiliki 11 mesin CNC (*Computer Numerical Control*) yang terdiri dari 4 CNC Lathe (2 *axis*) dan



Gambar 1. Metode Penelitian



Gambar 2. Data Produksi *footstep* PT. XYZ Tahun 2018 (sumber; PT. XYZ 2019)

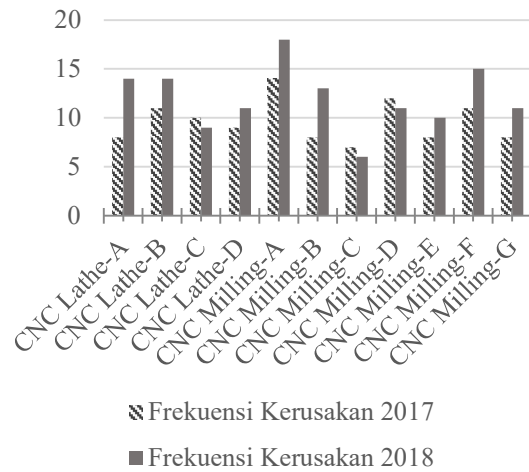
7 CNC Milling (3 axis). Dimana seluruh mesin digunakan aktif selama 18 jam dalam sehari.

Gambar 3 memperlihatkan jumlah kerusakan masing-masing mesin pada tahun 2017 hingga 2018. Dari data terlihat bahwa mesin CNC Milling A memiliki jumlah kerusakan terbanyak yaitu 32 kali kerusakan dalam 2 tahun. Maka dari itu dibutuhkan upaya menjaga fungsi mesin melalui kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) (Praesita dkk., 2017)

Dengan tingginya jumlah kerusakan pada mesin CNC Milling-A, maka mesin ini akan menjadi objek pada penelitian. Pengolahan data dilakukan berdasarkan penentuan waktu antar kerusakan dari mesin dengan menggunakan uji Anderson-Darling, dan menggunakan software AvSim+, sehingga didapatkan *Mean Down Time* (MDT) untuk setiap komponen mesin. Dengan menggunakan FMECA akan didapatkan komponen kritis dari mesin. Kemudian menentukan *Mean Time to Repair* (MTTR) dan *Mean Time to Failure* (MTTF) dari data *Time to Repair* (TTR) dan *Time to Failure* (TTF) dengan menggunakan uji Anderson-Darling dan software Avsim+. Hasil parameter dari Avsim+ berupa parameter θ , Γ , dan parameter β Jika komponen kritis berdistribusi normal atau eksponensial, maka μ merupakan MTTF atau MTTR komponen tersebut. Namun jika komponen berdistribusi Weibull maka perlu mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$MTTR/MTTF = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (1)$$

Tahap pengolahan data selanjutnya yaitu melakukan pendefinisian sistem berupa *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk memperoleh *preventive maintenance task*. Pada metode RCM, *preventive maintenance task selection*, MTTR, MTTF digunakan sebagai *input* dalam penentuan interval *preventive task* dimana selanjutnya akan dilakukan perhitungan *maintenance cost*. Perhitungan interval waktu pemeliharaan dibagi menjadi tiga yaitu; *scheduled on-condition task*, *scheduled restoration* dan *scheduled discard task*. Pada *scheduled on-condition task* dilakukan dengan menghitung 1/2 dari P-F Interval masing-masing komponen tersebut. P-F Interval yang digunakan



Gambar 3. Jumlah Kerusakan Mesin PT. XYZ Tahun 2017-2018 (Sumber; PT. XYZ,2019)

merupakan data MTTF dari tiap komponen kritis. Sedangkan untuk *scheduled restoration* dan *scheduled discard task* dihitung dengan perhitungan biaya perbaikan atau pergantian kerusakan komponen. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Cf = Cr + MTTR (Co + Cw) \quad \dots (2)$$

Dimana Cf merupakan biaya pergantian karena kerusakan komponen setiap siklus pemeliharaan, Cr yaitu biaya pergantian kerusakan komponen, Co yaitu biaya kerugian produksi (*loss of revenue*) dan Cw sebagai biaya tenaga kerja. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai Cm dengan menjumlahkan biaya *downtime* + biaya tenaga kerja + biaya perbaikan.

Jika nilai Cm dan Cf telah diketahui, maka dapat melakukan perhitungan interval *preventive maintenance* (TM) dengan persamaan 4.

$$TM = \eta \times \left(\frac{Cm}{Cr(\beta - 1)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \dots (3)$$

Biaya pemeliharaan (Tc) didapat melalui rumus;

$$Tc = (Cm + Cr) \times Fm \quad \dots (4)$$

Dimana Cm merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan, didapat dari penjumlahan biaya *downtime*, biaya tenaga kerja

dan biaya *preventive maintenance*. Cr merupakan biaya komponen yang terdapat pada *scheduled restoration task*. Dan Fm merupakan frekuensi pelaksanaan *preventive maintenance*.

Sehingga penelitian ini akan mendapatkan dua *output* yaitu berupa interval waktu pemeliharaan dan *maintenance cost* usulan bagi perusahaan sesuai dengan *preventive task* yang dilakukan serta komponen kritis pada sistem mesin CNC Milling A.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

System Breakdown Structure Mesin CNC Milling

System breakdown structure (SBS) didefinisikan sebagai suatu alat untuk mendokumentasikan, menganalisis, dan mempermudah proses identifikasi bagian dari mesin pada level sistem, subsistem, hingga komponen secara terstruktur dan rinci (Atmaji & Alhilman, 2018).

Gambar diatas menunjukkan *system breakdown structure* pada mesin CNC Milling-A, dimana mesin CNC Milling ini memiliki 3 sistem utama, yaitu: Mekanik, yang merupakan komponen mesin yang bergerak; Elektrik, dimana bagian ini berfungsi untuk memberikan tenaga ke komponen mekanik sehingga dapat bergerak

Tabel 2. Frekuensi Kerusakan Mesin CNC Milling A

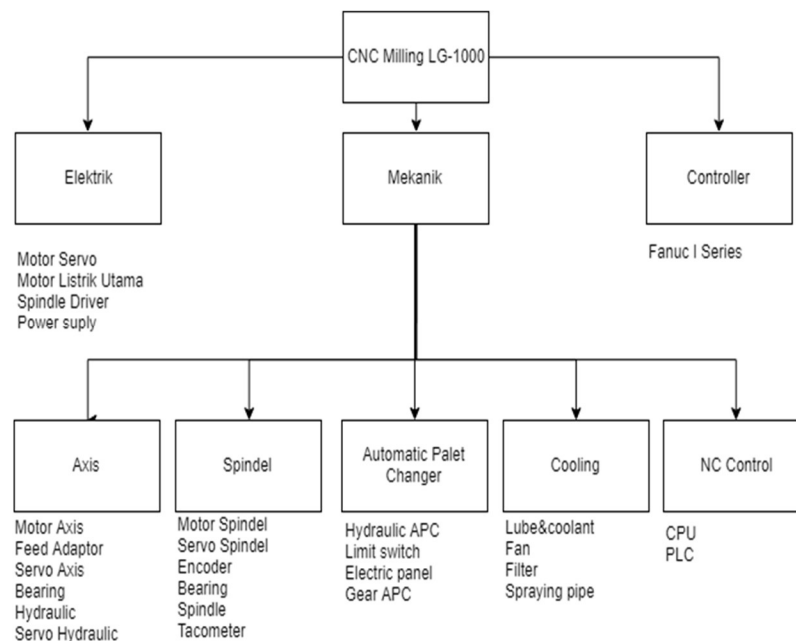
Komponen	Frekuensi kerusakan	Persentase kerusakan
<i>Bearing Rel</i>	9	28%
<i>Bearing spindle</i>	7	22%
<i>Electric panel</i>	1	3%
Filter udara	2	3%
Selang	7	6%
<i>Drawbar Spindle</i>	1	22%
<i>Servo Hydraulic</i>	1	3%
<i>Spindle nose</i>	3	9%
<i>Z-axis feed adaptor</i>	1	3%
Total	32	100%

sesuai dengan perintah; dan *Controller* yang merupakan pengatur seluruh kegiatan mesin.

Pengumpulan Data

Berdasarkan data kerusakan CNC Milling A. Didapatkan *mean down time* atau rata rata waktu kerusakan dari sistem. Tabel 2 menunjukkan rekapitulasi frekuensi kerusakan komponen pada mesin CNC Milling A selama tahun 2017-2018

Berdasarkan frekuensi kerusakan diatas, bahwa komponen *bearing rel* memiliki kerusakan tertinggi sebanyak 9 kali kerusakan dalam tahun



Gambar 4. System Breakdown Structure

Tabel 3. Nilai MDT

Komponen	Distribusi	Parameter	MDT
<i>Bearing Rel</i>	Normal	μ 173 σ 61,36	173
<i>Bearing Spindle</i>	Normal	μ 144,4 σ 43,08	144,4
<i>Drawbar Spindle</i>	Ekspensial	λ 2	2
<i>Electric Panel</i>	Ekspensial	λ 1,75	1,75
Filter Udara	Normal	μ 2 σ 0,6016	2
Selang	Normal	μ 79,15 σ 34,65	79,15
<i>Servo Hydraulic</i>	Ekspensial	λ 50	50
<i>Spindle Nose</i>	Normal	μ 1,637 σ 0,471	1,637
Z-axis adaptor	Ekspensial	λ 2,47	2,47

2017-2018 dengan presentase kerusakan sebanyak 28%.

Penentuan Distribusi dan Nilai Mean Down Time

Pada tahap ini, dilakukan penentuan parameter yang sesuai dengan distribusi untuk

setiap komponen yang mengalami kegagalan. Penentuan distribusi menggunakan uji Anderson-Darling, dan penentuan parameter menggunakan software Avsim+. Berikut merupakan *output* dari distribusi MDT pada Tabel 3.

Melalui hasil dari uji distribusi didapatkan 4 komponen berdistribusi eksponensial dan 5

Tabel 4. FMECA Worksheet

No	Equipment	Function	Functional Failure	RPN	Criticality	Risk Category	Maintenance plan
1	<i>Bearing rel</i>	Sebagai tenaga untuk menggerakkan rel kearah sumbu -x dan +x dengan kecepatan tertentu	<i>Bearing macet</i> <i>Bearing pecah</i> <i>Bearing aus</i>	256	<i>Critical</i>	<i>Unacceptable</i>	CM: pembersihan area sekitar bearing CM: penggantian bearing PM: Terminal lubrikasi oli diganti,
2	<i>Z-axis feed adaptor</i>	menggerakkan sumbu <i>axis</i> searah sumbu Z dengan kecepatan RPM yg ditentukan	<i>Z axis feed adaptor off</i>	90	<i>High</i>	<i>Tolarable</i>	Skematik preventive maintenance
3	<i>Servo Hydraulic</i>	sumber tenaga penggerak hydraulic	<i>hydraulic</i> tidak berfungsi	144	<i>High</i>	<i>Tolarable</i>	Pemberian pelumas dan pengecekan secara terjadwal dan rutin
4	<i>Drawbar Spindle</i>	Pengikat <i>arbor</i> agar arbor pada <i>spindle</i> dapat bergerak dengan baik	<i>Drawbar macet</i>	60	<i>Medium</i>	<i>Tolarable</i>	Pemberian pelumas, pengencangan pada drawbar
5	<i>Bearing spindle</i>	Tenaga penggerak poros <i>spindle</i> untuk proses <i>milling</i> dengan kecepatan RPM tertentu	<i>bearing spindle</i> aus <i>bearing</i> pecah	192	<i>Critical</i>	<i>Unacceptable</i>	CM pemberian pelumas Perlunya pemeliharaan berkala dengan skema <i>preventive maintenance</i>
6	<i>Spindle nose</i>	tempat peletakkan <i>tool/cutter</i> pada pengoperasian mesin	<i>Spindle nose</i> macet atau off	64	<i>High</i>	<i>Tolarable</i>	CM dengan pemberian pelumas pada <i>spindle nose</i>

Tabel 4. FMECA Worksheet (lanjutan)

No	Equipment	Function	Functional Failure	RPN	Criticality	Risk Category	Maintenance plan
7	Electric panel	Mendistribusikan sumber daya ke sub panel distribusinya	Sumber daya tidak terdistribusi ke panel lainnya	84	High	Tolerable	Corrective action
8	Filter udara	Menyaring udara dari luar yang masuk ke mesin	Filter kotor sehingga tidak berfungsi	56	Medium	Tolerable	Pembersihan berkala
9	Selang	penyalur coolant pada benda kerja	Gagal untuk mengalirkan coolant ke meja kerja	192	Critical	Unacceptable	Pergantian komponen selang
		Memompa coolant dan memberikan besaran tekanan yang dibutuhkan	Laju aliran coolant melambat				Pengecekan berkala, serta pembersihan pada coolant tank

komponen berdistribusi normal. Dengan hasil penentuan parameter dengan *software* Avsim+ berupa parameter λ pada distribusi eksponensial, dan parameter μ dan σ pada distribusi normal.

Failure Modes Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Tahap selanjutnya yaitu melakukan analisis kegagalan sistem dengan menggunakan FMECA. Adapun hasil FMECA *Worksheet* terlihat pada Tabel 4.

Melalui hasil dari FMECA *Worksheet* didapatkan 3 komponen yang termasuk kategori kritis yaitu *bearing rel* dengan nilai RPN sebesar 256, *bearing spindle* dan selang dengan nilai RPN sebesar 192. Kemudian 3 komponen tersebut yang akan menjadi fokus penelitian ini.

Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Sebelum menghitung MTTF dan MTTR, maka terlebih dahulu melakukan pengujian distribusi terhadap waktu *failure* (TTF) dan waktu *repair* (TTR) masing-masing komponen kritis. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* MiniTab 17. Kemudian ditentukan parameter masing-masing distribusi dengan menggunakan *software* Avsim+ 9.0 dengan hasil parameter berupa parameter θ , Γ , dan parameter β . Hasil dari MTTF dan MTTR dapat dilihat pada Tabel 5.

RCM Decision Worksheet

RCM *decision worksheet* digunakan untuk mencari jenis kegiatan pemeliharaan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure modes* pada komponen kritis mesin CNC Milling A. Hasil dari RCM *decision worksheet* berupa 2 kegiatan *scheduled on condition*, 2 kegiatan *scheduled restoration* dan 2 kegiatan *scheduled discard task*

Penentuan Maintenance Task dan Perhitungan Interval Preventive Maintenance

Setelah melakukan analisis dengan menggunakan RCM *decision worksheet*, langkah selanjutnya adalah menentukan kebijakan pemeliharaan berdasarkan karakteristik dan mode kegagalan pada komponen tersebut.

Tabel 6 mencantumkan kebijakan pemeliharaan yang diusulkan untuk setiap komponen kritis beserta dengan intervalnya.

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan interval *preventive maintenance* untuk setiap kerusakan pada komponen kritis. Dengan hasil 2 *scheduled on-condition task*, 3 *scheduled discard task* dan 2 *scheduled restoration task*. Interval waktu pemeliharaan untuk komponen *bearing rel* yaitu 2 bulan sekali untuk *scheduled on-condition task* dan 0,74 bulan sekali untuk *scheduled restoration* dan *schedule discard task*. Sedangkan

Tabel 5. Nilai MTTF dan MTTR

Komponen	TTF		TTR	
	Distribusi	MTTF(Jam)	Distribusi	MTTR(Jam)
<i>Bearing Rel</i>	3-parameter Weibull	1725,7	Normal	171,8
<i>Bearing Spindle</i>	3-parameter Weibull	1780,6	3-parameter Weibull	148,3
Selang	3-parameter Weibull	1881,9	Normal	78,97

Tabel 6. Interval Maintenance Time

Information Reference		Proposed Maintenance	Interval Maintenance Time (Jam)
Komponen	Failure Modes		
<i>Bearing Rel</i>	1 Masuknya cairan coolant pada <i>bearing</i>	<i>Do the scheduled restoration task.</i> Lakukan pembersihan pada sekitar table dan rel	321,24
	2 <i>Bearing overheat</i>	<i>Do the scheduled discard task.</i> Lakukan pergantian komponen bearing	320,47
	3 Keausan pada <i>bearing</i>	<i>Do the scheduled on-condition task.</i> Lakukan greasing pada bearing	862,85
<i>Bearing Spindle</i>	1 Keausan pada <i>bearing spindle</i>	<i>Do the scheduled on-condition task.</i> Lakukan greasing pada bearing	890,32
	2 <i>Bearing spindle overheat</i>	<i>Do the scheduled discard task.</i> Lakukan pergantian komponen bearing spindle	622,68
Selang	1 Selang bocor	<i>Do the scheduled discard task.</i> Lakukan pergantian komponen selang	791,17
	1 Selang macet	<i>Do the scheduled restoration task.</i> Lakukan pembersihan pada selang dan coolant tank	793,40

untuk komponen bearing *spindle* selama 2,06 bulan sekali untuk *schedule on-condition task* dan 1,44 bulan sekali untuk *schedule discard task*. Dan untuk komponen selang selama 1,84 bulan sekali untuk *schedule restoration* dan *schedule discard task*.

Perhitungan Biaya Pemeliharaan Komponen Kritis

Perhitungan biaya pemeliharaan bergantung pada waktu perbaikan pemeliharaan, harga peralatan, biaya engineer, biaya penggunaan material untuk kegiatan pemeliharaan, dan *loss revenue*.

Melalui hasil perhitungan, biaya yang dikeluarkan untuk melakukan kegiatan *preventive maintenance actual* dari perusahaan yaitu sebesar Rp513.957.950, sedangkan untuk kegiatan

preventive maintenance usulan yang dilakukan sesuai dengan *task* yang telah ditentukan didapatkan nilai sebesar Rp342.638.633. Sehingga, dengan menggunakan metode RCM berbasis FMECA analisis, perusahaan dapat menghemat biaya pemeliharaan senilai Rp175.602.300.

IV. SIMPULAN

Penelitian pada mesin CNC Milling A di PT.XYZ ini pada dasarnya menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dengan menggunakan analisis kegagalan *Failure Modes Effect and Criticality Analysis* (FMECA). Metode RCM berbasis FMECA ini merupakan pengembangan dari metode FMEA dengan menambahkan faktor *Critical*(C) bila dibandingkan dengan FMEA biasa. Metode RCM digunakan

untuk menentukan interval beserta *maintenance task* yang sesuai untuk menjaga performansi sistem berdasarkan keandalan. Sedangkan FMECA berfokus pada analisis kegagalan khususnya pada komponen kritis mesin. Implementasi dari FMECA ini akan mengurangi biaya pemeliharaan dengan melakukan identifikasi fungsi penting pada sistem, dan penentuan kebijakan pemeliharaan untuk sistem serta komponennya. Berdasarkan perhitungan dan analisis dengan menggunakan metode RCM berbasis FMECA, didapatkan kebijakan *preventive maintenance* yang baru untuk komponen kritis mesin CNC Milling A; yaitu dua *scheduled on-condition*, dua *scheduled restoration*, dan tiga *scheduled discard task*. Untuk *scheduled on-condition*, prinsipnya tindakan perawatan dilakukan dengan melihat tanda-tanda kerusakan pada komponen dan dilakukan pada interval setengah P (Probability) –F (Failure) interval. Sedangkan untuk *scheduled restoration*, kegiatan perawatan dilakukan sesuai jadwal tertentu sebelum batas usia komponen habis. Untuk *scheduled discard task*, kegiatan perawatan mesin dilakukan dengan cara mengganti suku cadang atau komponen tertentu dari suatu sistem sebelum batas usianya tanpa memperhatikan kondisi komponen tersebut, jadi tetap diganti sesuai estimasi umur pakai, walau komponen tersebut belum rusak parah. Dengan usulan interval pemeliharaan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalan yang terjadi diharapkan kehandalan dari mesin dapat terjaga dan meminimasi *breakdown* mesin secara mendadak. Selain itu, dari sisi perhitungan total biaya perawatan mesin, dengan adanya interval perawatan mesin yang sesuai kebutuhan; didapatkan bahwa perusahaan dapat menghemat biaya pemeliharaan sekitar 34%. Untuk ke depannya, penelitian ini masih perlu ditingkatkan agar hasil yang didapat bisa lebih optimal, misalnya dengan menambahkan variabel ketersediaan *spare part* untuk komponen-komponen kritis yang terpilih dalam penelitian ini. Disamping itu jumlah tingkat ketersediaan data kerusakan mesin juga perlu menjadi bahan pertimbangan, karena semakin banyak data kerusakan yang bisa kita analisis, maka hasil yang akan didapat juga akan lebih optimal.

REFERENCES

- Adoghe, A.U., Awosope, C.O.A., Daramola, S.A. (2012) 'Critical Review of Reliability Centred Maintenance (RCM) for Asset Management in Electric Power Distribution (RCM)', *International Journal of Engineering*, 2 (6), 1020–1026.
- Anbuselvan, S., Arunkumar, S., Guhan, G., Muruganatham, K., Rajesh, T. (2014) 'Optimization of Productivity in Agro Industries Using Reliability Centered Maintenance', *International Journal of Technology and Engineering System*, 6 (2), 203–208.
- Atmaji, F.T.D. (2015) 'Optimasi Jadwal Perawatan Pencegahan Pada Mesin Tenun Unit Satu Di PT KSM, Yogyakarta', *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 2 (2), 7–11.
- Atmaji, F.T.D., Noviyanti, A. A. and Juliani, W. (2017) 'Implementation of Maintenance Scenario for Critical Subsystem in Aircraft Engine: Case Study NTP CT7 Engine', *International Journal of Innovation in Enterprise System*. doi: 10.25124/ijies.v1i01.85.
- Atmaji, F.T.D., Alhilman, J. (2018) 'A framework of wireless maintenance system monitoring: A case study of an automatic filling machine at SB company', in *2018 6th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2018*. doi: 10.1109/ICoICT.2018.8528722.
- Awad, M., Afif As'ad, R. (2016) 'Reliability centered maintenance actions prioritization using fuzzy inference systems', *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 22(4), pp. 433–452. doi: 10.1108/JQME-07-2015-0029.
- Bae, C. et al. (2009) 'A study on reliability centered maintenance planning of a standard electric motor unit subsystem using computational techniques', *Journal of Mechanical Science and Technology*, 23(4), pp. 1157–1168. doi: 10.1007/s12206-009-0305-8.
- Carretero, J. et al. (2003) 'Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks', *Reliability Engineering & System Safety*, 82(3), pp. 257–273. doi: 10.1016/S0951-8320(03)00167-4.
- Dhamayanti, D. S., Alhilman, J. and Athari, N. (2016) 'Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Komori Ls440 (Rcm Ii) Dan Risk Based Maintenance (Rbm) Di Pt Abc', *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 3(April), pp. 31–37.
- Gupta, G., Mishra, R.P. (2018) 'Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance', *Procedia CIRP*, 69 (May), 905–909. doi:

- 10.1016/j.procir.2017.11.122.
- Holgado, M., Macchi, M., Fumagalli, L. (2016) 'Value-in-use of e-maintenance in service provision: survey analysis and future research agenda', *IFAC-Papers On Line*. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.024.
- Alhilman, J., Atmaji, F.T.D. (2017) 'Software Application for Maintenance System', *2017 Fifth International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 0(RCM II).
- Levitt, J. (2008) 'Lean Maintenance', in *Maintenance Management*. Available at: <https://www.amazon.com/Joel-Levitt-Maintenance-2008-08-15-Hardcover/dp/B00IH6YXES>.
- Pamungkas, I.B., Rachmat, H., Kurniawati, A. (2014) 'Pengembangan Program Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di Plant Ammonia Pt Pupuk Kujang 1a', *Jurnal Rekayasa dan Sistem Industri (JRSI)*, 1(1), pp. 99–105. Available at: <http://jr.si.telkomuniversity.ac.id/index.php/JRSI/article/view/115>.
- Praesita, I., Alhilman, J., Nopendri (2017) 'Penilaian Kinerja Berbasis Reliability pada Continuous Casting Machine 3 (CCM 3) PT Krakatau Steel (Persero) Tbk Menggunakan Metode Reliability Availability Maintainability dan Cost of Unreliability', *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 4(2), 2884–2891.
- Riyanto, A., Atmaji, F.T.D., Budiasih, E. (2018) 'Perancangan Usulan Pengelolaan Sparepart Dan Kebijakan Maintenance Pada Mesin ILA-0005 Menggunakan Metode Reliability Centered Spares (RCS) dan Reliability Centered Maintenance (RCM) Di PT. XYZ. *eProceedings of Engineering*, 5 (2), 2809–2815.
- Ruijters, E., Guck, D., van Noort, M., Stoelinga, M. (2016) 'Reliability-centered maintenance of the electrically insulated railway joint via fault tree analysis: A practical experience report', *Proceedings - 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN 2016*, pp. 662–669. doi: 10.1109/DSN.2016.67.
- Smith, D.J. (2011). *Reliability, Maintainability and Risk 8e, Reliability, Maintainability and Risk 8e*. doi: 10.1016/C2010-0-66333-4.
- Atmaji, F.T.D., Putra, A.A.N.N.U. (2018). 'Kebijakan Persediaan Suku Cadang Di PT ABC Menggunakan Metode RCS (Reliability Centered Spares) Spare Part Inventory Policy at ABC Company Using RCS (Reliability Centered Spare) method', *Jurnal Manajemen Industri dan Logistik*, 2(1), 84–94. Available at: <http://jurnal.poltekapp.ac.id/index.php/JMIL/article/view/106>.
- Yssaad, B., Abene, A. (2015) 'Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems', *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 73, 350–360. doi: 10.1016/j.ijepes.2015.05.015.
- Zhou, X., Xi, L., Lee, J. (2007) 'Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation', *Reliability Engineering and System Safety*, 92 (4), 530–534. doi: 10.1016/j.res.2006.01.006.