

# USULAN INTERVAL PERAWATAN OPTIMAL MESIN MILLING MENGGUNAKAN METODE RISK BASED MAINTENANCE DAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS DI PT INDO INTEGRAL SEKAWAN

## PROPOSED OPTIMAL MAINTENANCE INTERVALS FOR MILLING MACHINE USING RISK BASED MAINTENANCE AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS AT PT INDO INTEGRAL SEKAWAN

Deanna Auliya Farid<sup>1</sup>, Endang Budiasih<sup>2</sup>, Judi Alhilman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

<sup>1</sup>deannaalyfrd@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>judi.alhilman@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

PT Indo Integral Sekawan adalah perusahaan outsourcing yang menawarkan pembuatan sparepart dan Dies forging. Dalam memproduksi produk Dies forging PT IIS menggunakan mesin Milling, mesin bubut, dan mesin Liqy Hising CNC20-L. Berdasarkan data kerusakan mesin, mesin Milling mengalami kerusakan dengan total 27 kali selama periode 2018-2019, besarnya frekuensi kerusakan akan mempengaruhi proses produksi dan mengakibatkan besarnya biaya perawatan. Maka, dibutuhkan observasi lebih mengenai perawatan mesin Milling tersebut. Metode yang digunakan untuk penelitian yaitu Risk-based maintenance (RBM) yang bertujuan meningkatkan reliability dan meminimasi risiko yang timbul akibat kegagalan. Hasil dari pengumpulan dan pengolahan menggunakan RBM diketahui bahwa mesin Milling dengan interval perawatan 2880 jam memiliki total risiko sebesar Rp6,395,124.84 dengan presentase risiko sebesar 0.67% melebihi batas toleransi risiko perusahaan yaitu 0.50%. Menggunakan pendekatan minimasi risiko didapat usulan interval perawatan menjadi 1100 jam dan berada pada kriteria penerimaan risiko perusahaan sebesar 0.50%. Penelitian ini juga menggunakan metode Analytical hierarchy process (AHP) untuk memutuskan kebijakan maintenance yang disesuaikan dengan kondisi perusahaan, komponen Spindel dan Ragum menggunakan kebijakan condition-based maintenance, dan komponen selang coolant menggunakan time-based maintenance.

**Kata kunci:** Mesin Milling, Risk Based Maintenance, Analytical Hierarchy Process, Kebijakan maintenance.

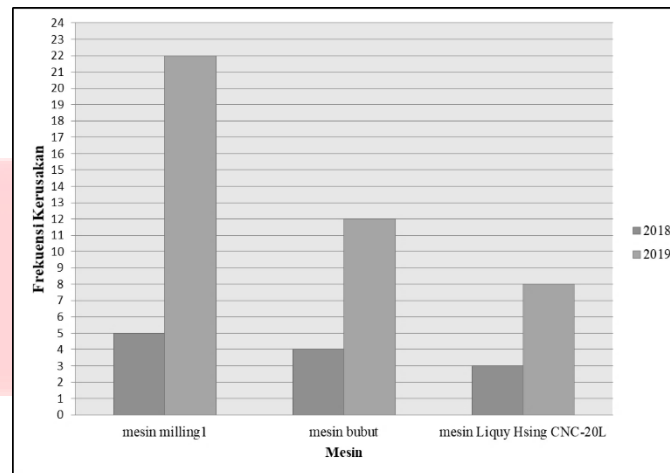
### Abstract

*PT Indo Integral Sekawan is an outsourcing company that offers manufacturing spare parts and forging Dies. In producing Dies forging products PT IIS uses Milling machines, lathes, and CNC 20-L Liqy Hising machines. Based on machine failure data, Milling Machines suffered a total of 27 times failure during the 2018-2019 period, the frequency of failure will affect the production process and resulted in large maintenance costs. Thus, it takes more observation regarding the maintenance of the Milling machine. The method used for research is Risk-based maintenance (RBM) which aims to estimate and minimize risks arising from failure. The results of collection and processing using RBM revealed that Milling machines with 2880 hours maintenance intervals had a total risk of Rp6,395,124.84 with the percentage of 0.67% exceeding the company's risk tolerance limit of 0.50%. Using the approach to minimizing risks, the proposed maintenance interval is 1100 hours and is at the company's risk acceptance criteria of 0.50%. This study also uses the Analytical Hierarchy Process (AHP) method which decides the maintenance policies that are tailored to the company's conditions, for Spindel components and rags using condition-based maintenance, and coolant hose components using time-based maintenance.*

**Keywords:** Milling machines, Risk Priority Number, Risk Based Maintenance, Analytical Hierarchi Process, Maintenance policy.

## 1. Pendahuluan

PT Indo Integral Sekawan adalah perusahaan yang menawarkan pembuatan *sparepart* dan *Dies forging*. PT IIS memproduksi *Dies forging* melewati 3 proses penggunaan mesin, yaitu mesin *Milling*, mesin bubut, dan mesin Liqy Hsing CNC20-L. Ketiga mesin tersebut pernah mengalami kerusakan, berikut merupakan data kerusakan mesin pada tahun 2018-2019.



Gambar 1. Kerusakan mesin  
(sumber: data kerusakan mesin PT IIS 2018-2019)

Mesin yang mengalami jumlah kerusakan terbanyak adalah mesin *Milling*, dari besarnya frekuensi kerusakan akan mempengaruhi proses produksi dan mengakibatkan besarnya biaya perawatan. Maka, dibutuhkan observasi lebih mengenai perawatan mesin *Milling* tersebut.

PT Indo Integral Sekawan telah menerapkan perawatan untuk keselamatan dan keandalan dengan mengadakan *corrective maintenance*, dan interval perawatan selama 2880 jam. Penerapan sistem perawatan tersebut masih menimbulkan risiko di luar kriteria penerimaan risiko perusahaan, sehingga perlunya sistem perawatan baru dengan pengoptimalan interval perawatan juga penyesuaian dengan kondisi perusahaan.

Strategi *Risk-based maintenance* (RBM) adalah metode pendekatan kuantitatif yang mengintegrasikan analisis reliabilitas dan penilaian risiko untuk mengembangkan kebijakan pemeliharaan yang hemat biaya, dengan tujuan mengurangi risiko keseluruhan dalam fasilitas operasi dan melihat seberapa besar risiko dan biaya yang dihasilkan dari suatu kegagalan mesin [1]. Pengoptimalan interval perawatan yang bertujuan mengurangi biaya *corrective maintenance*, dihitung dengan minimasi biaya perawatan dan risiko [2]. Selain itu, pada penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), AHP itu sendiri adalah alat pengambil keputusan multi kriteria yang telah digunakan di hampir semua aplikasi yang terkait dengan pengambilan keputusan [3]. Pada penelitian ini AHP bertujuan untuk pengambilan keputusan dalam menentukan tindakan *preventive maintenance* yang relevan dengan hasil perhitungan *Risk based maintenance* dan kondisi perusahaan.

## 2. Dasar Teori dan Metodologi

### 2.1 Pengertian *maintenance*

*Maintenance* yaitu memastikan bahwa semua peralatan dalam perusahaan diperbaiki, diganti, disesuaikan dan dimodifikasi sesuai dengan persyaratan produksi [4]. Menurut (Marquez et al,2009) [5] pemeliharaan didefinisikan sebagai kombinasi dari semua tindakan teknis, dan manajerial selama siklus hidup suatu item, untuk mempertahankan atau mengembalikannya ke keadaan dimana item dapat melakukan fungsi yang diperlukan. Berdasarkan literasi terdahulu dapat dikatakan *maintenance* adalah kegiatan teknis dan manajerial untuk mempertahankan atau mengembalikan kondisi suatu peralatan perusahaan dengan memperbaiki, mengganti, memodifikasi sesuai kondisi perusahaan.

### 2.2 Reliability (keandalan)

Reliability adalah kemungkinan yang menunjukkan kemampuan suatu sistem atau komponen untuk melakukan fungsinya di bawah kondisi yang ditetapkan untuk periode tertentu [6]. Dinotasikan dengan  $R(T)$ , dengan  $T$  (satuan waktu) yang telah ditetapkan dan memberikan probabilitas bahwa tidak ada gangguan operasional pada tingkat item (sistem) yang akan terjadi selama durasi  $T$  [7]. Fungsi keandalan terhadap waktu memiliki persamaan sebagai berikut:

$$R(T) = 1 - F(T) = \int_t^{\infty} f(T)dt \quad (1)$$

### 2.3 Risk based maintenance (RBM)

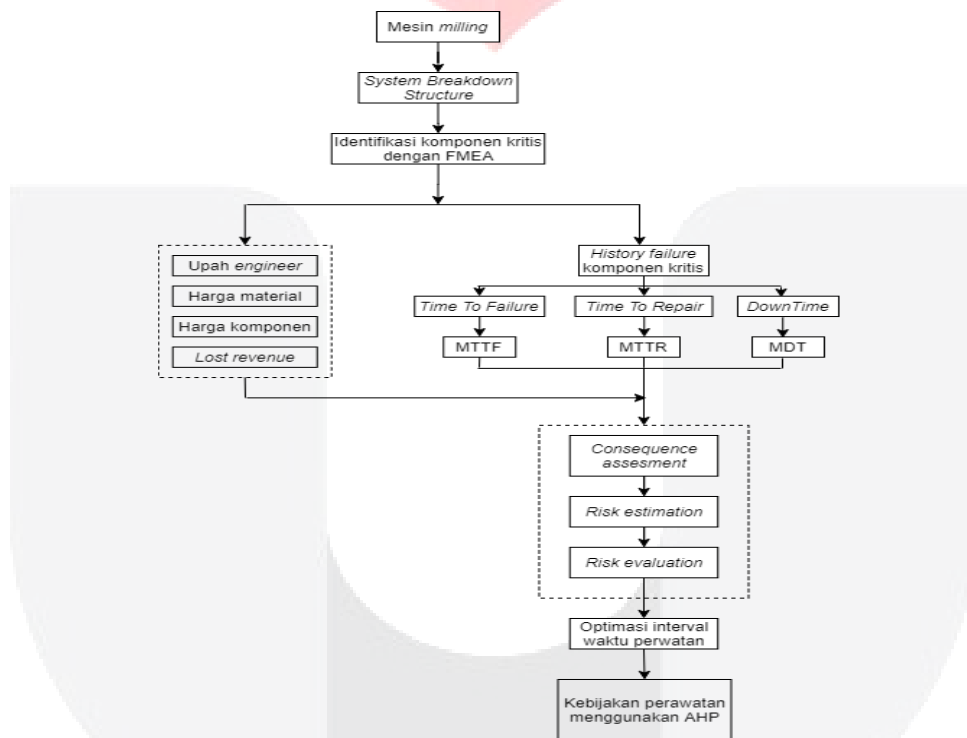
Strategi RBM adalah pendekatan kuantitatif yang mengintegrasikan analisis reliabilitas dan penilaian risiko untuk mengembangkan kebijakan pemeliharaan yang hemat biaya [1]. Metode RBM terdiri dari tiga tahap yang saling berkaitan, yaitu: *consequence assesment*, *risk estimation*, *risk evaluation*. Hasil yang diperoleh dari perhitungan gabungan tahap RBM dapat mengembangkan rencana perawatan keseluruhan untuk sistem.

### 2.4 Analytical hierarchy process (AHP)

Metode AHP adalah teknik terstruktur untuk mengatur dan menganalisa keputusan yang kompleks berdasarkan matematika dan psikologi [8]. Menggunakan AHP sebagai metode penentuan kebijakan *maintenance* memberikan dua keuntungan bagi penelitian. Pertama, AHP memudahkan peneliti dalam membandingkan dan mendeskripsikan penilaian kualitatif menjadi nilai kuantitatif. Kedua, *pairwise comparisons* memungkinkan AHP untuk membantu peneliti mencapai keputusan pada masalah pengambilan keputusan yang kompleks dengan mempertimbangkan beberapa faktor dalam periode waktu yang sama, dengan menghasilkan penilaian yang komprehensif dan praktis [9].

### 2.5 Model konseptual

Model konseptual merupakan penjelasan aliran penelitian dalam memecahkan masalah dalam bentuk kerangka berpikir berupa aliran informasi dan keterkaitan dalam proses analisis. Berikut merupakan model konseptual pada penelitian ini.



Gambar 2. Model konseptual

Berdasarkan pada gambar 2, dilihat dari frekuensi kerusakan tertinggi, didapat mesin *Milling1* sebagai objek penelitian. *System breakdown structure* dari mesin *Milling1* bertujuan untuk melihat kemungkinan penyebab kerusakan mesin dari komponen penyusun mesin. Selanjutnya, menentukan komponen kritis dari mesin dengan menggunakan FMEA dari perhitungan *risk priority number* (RPN), dimana penentuan *ranking* tersebut berdasarkan pada perkalian kriteria *severity* (S), *Occurance* (O), dan *Detection* (D) [1]. Meninjau data *history of failure* 2018-2019 dapat diketahui distribusi TTF, TTR, dan DT komponen kritis yang paling mewakili dibantu oleh *software* Minitab17 dalam proses pengujiannya. Penentuan bentuk parameter dari kompoen kritis didapat dengan bantuan *software* Avsim+, sehingga didapat nilai MTTF, MTTR, dan MDT dari komponen kirtis mesin *Miliing1*. Tahap selanjutnya, dilakukan perhitungan menggunakan tahapan metode RBM untuk mengetahui total risiko akibat kegagalan dengan tambahan informasi faktor biaya seperti: *lost revenue*, upah *engineer*, harga material, dan harga komponen. Kemudian, penentuan interval perawatan menggunakan minimasi biaya perawatan dan risiko. Tahap akhir, penentuan kebijakan *maintenance* menggunakan pendekatan metode AHP.

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data pada penelitian ini diambil berdasarkan observasi lapangan di PT Indo Integral Sekawan, pada Departmen Maintenance pabrik tersebut. Penelitian tugas akhir ini mengambil objek mesin Milling pada proses pembuatan Dies forging dan mengambil informasi data kerusakan mesin tersebut pada periode 2018-2019. Penelitian ini menggunakan metode RBM dan AHP untuk penyelesaian masalah yang ada pada pabrik.

#### 3.2 Penentuan komponen kritis

Menurut (Wang, Y et al., 2012) FMEA adalah metode yang direkomendasikan oleh standar international seperti AIAG [1]. FMEA mempertimbangkan 3 parameter yang biasanya dievaluasi, masing masing memiliki penilaian *range score* (min. 1 hingga max. 10), yaitu *severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Selanjutnya dilakukan perhitungan RPN yang diperoleh dari hasil diskusi dengan *maintenance crew*. Dari hasil tabel 1, komponen kritis dari mesin *Milling* yaitu *spindel*, selang *coolant*, dan ragum.

Tabel 1. Hasil perhitungan RPN

No	Component	RPN	Rank
1	Handle	10	7
2	Selang coolant	126	2
3	Motor	50	4
4	Chuck	48	5
5	Spindel	84	3
6	Ragum	210	1
7	Belt	45	6

#### 3.3 Penentuan distribusi data TTF, TTR, dan DT

Ditentukan distribusi yang mewakili sebaran data dari time to failure (TTF), time to repair (TTR), dan downtime (DT) dari komponen kritis menggunakan uji Anderson-Darling (AD) dengan menggunakan software Minitab17. Uji AD dilakukan terhadap tiga macam distribusi yaitu normal, eksponensial, dan weibull. Ada dua parameter yang akan menentukan distribusi terpilih yaitu AD dan P-Value. Nilai AD terkecil akan mewakili penyebaran data tersebut dan nilai P-Value digunakan untuk menerima atau menolak hipotesis dengan ketentuan  $H_0$  ditolak jika  $P\text{-Value} < \alpha$ .

Tabel 2. Distribusi data

Mesin	Komponen	Data	distribusi
Mesin Milling	Spindel	TTF	Normal
		TTR	
		DT	
	Selang coolant	TTF	Normal
		TTR	
		DT	
	Ragum	TTF	Normal
		TTR	
		DT	

#### 3.4 Penentuan data MTTF, MTTR, dan MDT

Penentuan Mean Time To Failure (MTTF), Mean Time To Repair (MTTR), dan Down Time (DT) dihitung berdasarkan parameter distribusi terpilih untuk setiap komponen kritis dengan menggunakan software Avsim +9.0. Nilai MTTF, MTTR, dan DT setiap komponen kritis dapat dilihat pada tabel 3, tabel 4, dan tabel 5.

Tabel 3. Perhitungan MTTF

MTTF				
Komponen	Distribusi	Parameter		MTTF (Jam)
Spindel	Normal	$\mu$	1488.08	1488.08
		$\sigma$	1016.06	
Selang coolant	Normal	$\mu$	1532.31	1532.31
		$\sigma$	1203.88	
Ragum	Normal	$\mu$	2249.98	2249.98
		$\sigma$	955.65	

Tabel 4. Perhitungan MTTR

MTTR				
Komponen	Distribusi	Parameter		MTTR (Jam)
Spindel	Normal	$\eta$	1.65667	1.66
		$\beta$	0.123458	
Selang coolant	Normal	$\mu$	2.02	2.02
		$\sigma$	0.385586	
Ragum	Normal	$\mu$	0.2275	0.23
		$\sigma$	0.105587	

Tabel 5. Perhitungan MTTR

MDT				
Komponen	Distribusi	Parameter		MDT (Jam)
Spindel	Normal	$\eta$	1.99	1.99
		$\beta$	0.173613	
Selang coolant	Normal	$\mu$	3.206	3.21
		$\sigma$	1.12768	
Ragum	Normal	$\mu$	0.375	0.38
		$\sigma$	0.163575	

### 3.5 Perhitungan Risk based maintenance

#### 3.5.1 Risk assessment

##### 3.5.1.1 Penyusunan skenario kegagalan

Tabel 6. Skenario kegagalan komponen kritis mesin milling

Sistem	Komponen	Kegagalan yang mungkin terjadi	Akibat
Mesin milling	Spindel	Poros berhenti	Tidak ada proses cutting pada benda kerja
		posisi longgar	Dapat terjadi kecacatan pada benda kerja
	Selang coolant	Selang tersumbat	Dapat terjadi overheating sehingga beberapa komponen lain mengalami kerusakan
		Selang bocor	Tidak maksimalnya proses pemotongan
	Ragum	Batang ulir macet	Tidak dapat berfungsi dengan baik untuk menjepit benda kerja sehingga menimbulkan pergerakkan
		Aus pada penahan batang ulir	Dapat terjadi kecacatan produk akibat longgarnya cengkaman

Komponen kritis mesin Milling yang terpilih akan dilakukan penyusunan skenario kegagalan berdasarkan hasil diskusi dengan *maintenance crew* diperusahaan.

### 3.5.1.2 Kuantifikasi konsekuensi

Setelah tersusunnya skenario kegagalan, maka selanjutnya melakukan kuantitatif konsekuensi akibat kegagalan fungsional mesin Milling yang mengakibatkan bertambahnya biaya perawatan dan kerugian akibat kegagalan. Data didapatkan melalui diskusi bersama *maintenance crew* dengan acuan skema kuantifikasi fungsi kinerja sistem hasil penelitian oleh Khan, F. I., & Haddara, M. M. (2003) [10] sebagai berikut.

Tabel 7. Normalisasi konsekuensi

Komponen	Skenario kegagalan	Normalisasi konsekuensi
Spindel	Poros berhenti, tidak ada cutting benda kerja	10
	Posisi longgar, terjadi kecacatan produk	10
Selang coolant	Selang macet, overheating pada komponen lain	8
	Selang bocor, tidak maksimal proses pemtongan	7
Ragum	Batang ulir macet, tidak dapat menjepit benda kerja dengan maksimal	5
	Aus pada penahan batang ulir, kecacatan produk akibat geseran benda kerja	7

### 3.5.2 Risk estimation

#### 3.5.2.1 Perhitungan *probability of failure*

Perhitungan peluang kegagalan mesin *Milling* dengan menghitung peluang terjadinya kegagalan untuk setiap komponen kritis selama 2880 jam operasional, dengan parameter distribusi MTTF yang sudah diketahui sebelumnya. Dapat diketahui peluang kegagalan didapat dari hasil substitusi persamaan *reliability* berikut:

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{T-\mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

Adapun hasil perhitungan *probability of failure* sebagai berikut:

Tabel 8. *Probability of failure*

Komponen	Parameter distribusi		T(jam)	R(T)	Q(T)
	$\mu$	$\sigma$			
<i>Spindel</i>	1488.08	1016.06	2880	0.0869	0.9131
<i>Selang coolant</i>	1532.31	1203.88		0.1335	0.8665
Ragum	2249.98	955.65		0.2578	0.7422

#### 3.5.2.2 Rekapitulasi *consequence of failure* dan penilaian risiko

Pada penelitian ini kegagalan yang terjadi pada mesin *Milling* hanya memberikan konsekuensi pada *system performance loss* (SPL). Perhitungan SPL yaitu melibatkan penjumlahan dari kerugian yang timbul dan perhitungan nilai risiko merupakan hasil perkalian dai SPL dan *probability of failure*, dengan persamaan sebagai berikut:

- $SPL = (\text{Loss of Revenue} \times DT) + (\text{MTTR} \times \text{engineer cost}) + \text{material cost} + \text{harga komponen}$  (3)

- $\text{Risk} = SPL \times Q(T)$  (4)

Dan berdasarkan persamaan SPL dan *Risk* maka hasil perkiraan konsekuensi yaitu:

Tabel 9. *Consequence of failure*

Komponen	MDT	MTTR	SPL	Q(T)	Risk
<i>Spindel</i>	1.99	1.66	Rp1,788,655.18	0.9131	Rp1,633,221.04
<i>Selang coolant</i>	3.206	2.02	Rp 2,046,022.92	0.8665	Rp1,772,878.86
Ragum	0.375	0.2275	Rp 4,027,249.99	0.7422	Rp2,989,024.94
Total					Rp6,395,124.84



### 3.5.3 Risk evaluation

Penentuan kriteria penerimaan dilakukan melalui diskusi dengan CEO perusahaan, dan memutuskan bahwa kriteria penerimaan risiko perusahaan yaitu sebesar 0.50% dari kapasitas produksi mesin. Kapasitas produksi mesin didapat berdasarkan jam operasional dan *hourly rate*. Berikut merupakan perhitungan persentase risiko yang ditimbulkan selama 2880 jam operasional.

Tabel 10. Kriteria penerimaan *existing*

Periode existing (hour)	Hourly rate	Kapasitas produksi mesin	Total risiko	Persentase	kriteria penerimaan
2880	Rp333,333	Rp960,000,000	Rp6,395,125	0.67%	0.50%

Dapat diketahui dari tabel 10, bahwa risiko yang ditimbulkan masih melebihi kriteria penerimaan risiko perusahaan yaitu sebesar 0.67%, sehingga perlu adanya evaluasi lebih dalam sistem pemeliharaan perusahaan.

### 3.6 Perencanaan perawatan

#### 3.6.1 Penentuan interval perawatan optimal

Penentuan interval perawatan optimal yaitu salah satu langkah dalam menurunkan tingkat risiko sehingga berada pada kriteria penerimaan risiko perusahaan. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu minimasi biaya perawatan dan risiko [11], dengan percobaan *trial and error* melihat besarnya nilai *reliability* mesin. Berikut merupakan rekapitulasi perbandingan interval waktu perawatan eksisting dan usulan.

Tabel 11. Perbandingan interval perawatan

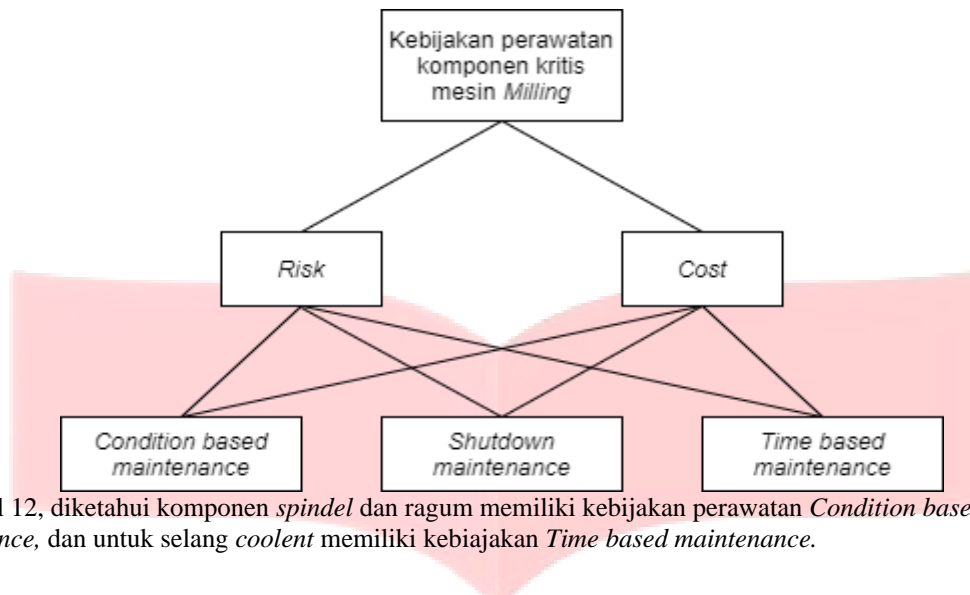
Komponen\Interval	Eksisting (2880 jam)	usulan (1100 jam)
<b>Risiko</b>		
Spindel	Rp 1,633,221	Rp 629,607
selang	Rp 1,772,879	Rp 743,116
ragum	Rp 2,989,025	Rp 463,536
total	Rp 6,395,125	Rp 1,836,259
<b>Reliability</b>		
Spindel	0.0708	0.648
selang	0.1335	0.6368
ragum	0.2578	0.8849

Dari tabel 11 dapat dinilai bahwa risiko usulan yang ditimbulkan lebih kecil dari risiko eksisting, didukung dengan presentase kriteria penerimaan interval perawatan usulan yaitu 0.50% dari kapasitas produksi, dan nilai *reliability* yang lebih besar maka interval perawatan 1100 jam dapat diusulkan menjadi perawatan optimal dari mesin *Millig*.

#### 3.6.2 Penentuan kebijakan kegiatan preventive maintenance

AHP digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan kebijakan perawatan yang cocok untuk komponen kritis dengan disesuaikan dengan kondisi perusahaan. Data diperoleh dengan memberikan kuesioner kepada 4 orang ahli (CEO, 2 *crew maintenance*, dan operator) guna menentukan prioritas pemeliharaan. Berikut merupakan hasil pengolahan dari AHP:

Gambar 2. Struktur hierarki



Dari tabel 12, diketahui komponen *spindel* dan ragum memiliki kebijakan perawatan *Condition based maintenance*, dan untuk selang *coolant* memiliki kebijakan *Time based maintenance*.

Tabel 12. Global score

Global scores			
komponen	TBM	SD	CBM
Spindel	0.356932	0.262062	0.381006
selang	0.52319	0.288738	0.188072
ragum	0.271841	0.236732	0.491427

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini mengambil objek mesin *Milling* berdasarkan pada frekuensi kegagalan mesin dan menggunakan *Risk Priority number* didapat komponen kritis yaitu *spindel*, selang *coolant*, dan ragum. Penggunaan metode *Risk based maintenance* dan *Analytical hierarchy procces* pada penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya risiko (*system performace loss*) yang ditimbulkan oleh kegagalan sistem dan menentukan kebijakan perawatan yang cocok dengan kondisi perusahaan. Hasil dari metode RBM adalah menghasilkan interвал perawatan usulan yaitu 1100 jam untuk ketiga komponen kritis mesin *Milling* dengan total risiko Rp1,836,259 dan presentase risiko berada pada batas penerimaan risiko perusahaan yaitu 0.50%. Berdasarkan metode AHP maka kebijakan perawatan untuk komponen *spindel* dan ragum yaitu menggunakan *Condition based maintenance* dan selang *Coolant* menggunakan *Time based maintenance*.



**Daftar Pustaka:**

- [1] Y. Wang, G. Cheng, H. Hu, and W. Wu, "Development of a risk-based maintenance strategy using FMEA for a continuous catalytic reforming plant," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 25, no. 6, pp. 958–965, 2012, doi: 10.1016/j.jlp.2012.05.009.
- [2] D. D. Astuti and J. Alhilman, "Optimasi Interval Waktu Perawatan Mesin Rotari Stork Dengan Menggunakan Metode Risk-Based Maintenance ( Rbm ) Di Pt Kharisma Printex Bandung Optimization Interval Time Maintenance of Rotari Stork Engine Using Risk-Based Maintenance ( Rbm ) Method in Pt Kh," *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 4014–4022, 2015.
- [3] N. S. Arunraj and J. Maiti, "Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming," *Saf. Sci.*, 2010, doi: 10.1016/j.ssci.2009.09.005.
- [4] H. Ab-Samat and S. Kamaruddin, "Opportunistic maintenance (OM) as a new advancement in maintenance approaches: A review," *J. Qual. Maint. Eng.*, 2014, doi: 10.1108/JQME-04-2013-0018.
- [5] A. C. Márquez, P. M. De León, J. F. G. Fernández, C. P. Márquez, and M. L. Campos, "The maintenance management framework: A practical view to maintenance management," *J. Qual. Maint. Eng.*, 2009, doi: 10.1108/13552510910961110.
- [6] J. Alhilman, "RELIABILITY BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF BASE TRANSCEIVER STATION ( BTS ) USING RELIABILITY , AVAILABILITY , AND MAINTAINABILITY ( RAM ) A ( t ) Jan MarMei Juli SepNov month," *Int. Semin. Ind. Eng. Manag.*, pp. 1–6, 2016.
- [7] B. S. Dhillon, *Reliability engineering*. 2016.
- [8] T. L. Saaty, "Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process," *Rev. la Real Acad. Ciencias Exactas, Fis. y Nat. - Ser. A Mat.*, 2008, doi: 10.1007/BF03191825.
- [9] T. Khamkanya, G. Heaney, and S. Mcgreal, "Introduction of AHP Satisfaction Index for workplace environments," *J. Corp. Real Estate*, 2012, doi: 10.1108/14630011211261687.
- [10] F. I. Khan and M. M. Haddara, "Risk-based maintenance (RBM): A quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning," *J. Loss Prev. Process Ind.*, 2003, doi: 10.1016/j.jlp.2003.08.011.
- [11] D. S. Dhamayanti, J. Alhilman, and N. Athari, "Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Komori Ls440 Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm Ii) Dan Risk Based Maintenance (Rbm) Di Pt Abc," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 02, p. 31, 2016, doi: 10.25124/jrsi.v3i02.29.