USULAN KEBIJAKAN PEMELIHARAAN DAN UMUR EKONOMIS UNTUK POMPA PENYERAP LARUTAN CO MENGGUNAKAN METODE *RISK BASED MAINTENANCE* (RBM) DAN *REMAINING LIFE ASSESSMENT* DI PT. XYZ

PROPOSED MAINTENANCE POLICY AND ECONOMICAL AGE FOR CO ABSORBENT PUMPS USING RISK BASED MAINTENANCE METHOD AND REMAINING LIFE ASSESSMENT AT PT. XYZ

Sophia Yasmine Agnaputri[1], Judi Alhilman[2], Fransiskus Tatas Dwi Atmaji[3]
[1,2,3]Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom
[1]**sophiayasmineap@gmail.com**, [2]**alhilman@telkomuniversity.ac.id**,
[3]**franstatas@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di industri petrokimia dan berperan penting dalam bidang pertanian. Salah satu produk yang dihasilkan adalah bahan baku untuk pabrik asam formiat yang merupakan konsumen dari PT. XYZ, dimana prosesnya memanfaatkan Gas CO2 yang dihasilkan dalam proses pabrik Amonia yang ada di PT. XYZ. Pompa Penyerap Larutan CO merupakan aset yang penting dalam proses pemurnian gas CO yang akan di distribusikan ke konsumen. Dalam proses penyerapannya, larutan CO yang diserap mengandung tembaga, tembaga tersebut menempel pada dinding pompa. Pemakaian yang berlebihan (tidak sesuai dengan umur pakainya) dapat menyebabkan beberapa komponen pada pompa mengalami aus dan terjadi kegagalan yang menyebabkan pemberhentian pompa, sehingga menghambat proses pemurnian gas dan pendistribusian ke konsumen yang akan menimbulkan kerugian bagi PT. XYZ. Berdasarkan permasalahan tersebut, untuk menghindari pemakaian yang berlebihan dan mengurangi kegagalan dengan kebijakan pemeliharaan yang tepat supaya pompa dapat digunakan sesuai dengan fungsi dan umur ekonomisnya. Metode yang digunakan untuk menentukan kebijakan pemeliharaan adalah dengan menggunakan metode *Risk Based Maintenane* (RBM) dan *Remaining Life Assessment.* Metode *Risk Based Maintenance* (RBM) digunakan untuk mengetahui nilai risiko yang diterima oleh perusahaan karena adanya kegagalan pada komponen kritis. Berdasarkan metode RBM nilai risiko yang diterima oleh perusahaan melebihi dari kriteria penerimaan dari perusahaan yaitu sebesar Rp. 440.451.691 atau dalam bentuk persen sebesar 2%. Metode *Remaining Life Assessment* yang digunakan untuk menentukan penilaian umur pompa, supaya konponen kritis dan pompa tidak aus dan mengalami kegagalan. Dengan membandingkan dua kebijakan yaitu mempertahankan pompa lama atau membeli pompa baru. Dari metode *Remaining Life Assessment* diperoleh bahwa kebijakan yang sebaiknya dilakukan adalah dengan mengganti pompa.

Kata kunci : ***Maintenance, Risk Based Maintenance,*** **Nilai Risiko,** ***Remainig Life Assessment,*** **Umur Ekonomis Mesin,** ***Replacement Analysis*****.**

Abstract

PT. XYZ is a company engaged in the petrochemical industry and plays an important role in agriculture. One of the products produced is raw material for formic acid factories which are consumers of the company. CO absorbing pumps are an important asset in the CO gas purification process that will be distributed to consumers. In the process of absorption, the absorbed CO solution contains copper, the copper sticks to the pump wall. Excessive use (not in accordance with its economic life) can cause some components in the pump to wear out and there is a failure that causes the pump to stop, thus inhibiting the gas purification process and distribution to consumers which will cause harm to PT. XYZ. Based on these problems, to avoid excessive use and reduce failure with

appropriate maintenance policies so that the pump can be used in accordance with the function and economic life. The method used to determine maintenance policies is to use the Risk Based Maintenance (RBM) and Remaining Life Assessment methods. The Risk Based Maintenance (RBM) method is used to determine the value of risk received by a company due to a failure on a critical component. Based on the RBM method, the risk value received by the company exceeds the company's acceptance criteria, which is Rp. 440.451.691 or in the form of a percent of 2%. The Remaining Life Assessment method is used to determine the life of the pump, so that critical components and pumps do not wear out and fail. By comparing the two policies, which are maintaining the old pump or buying a new pump. From the Remaining Life Assessment method it is found that the policy that should be carried out is to replace the pump.

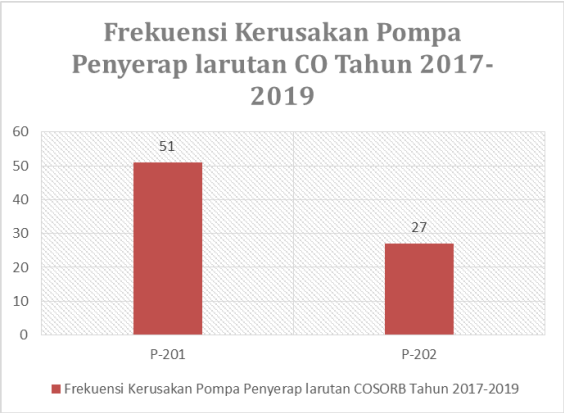
Keywords: Maintenance, Risk Based Maintenance, Risk Value, Remaining Life Assessment, Economic Age of Machine, Replacement Analysis

1. Pendahuluan

Pesatnya pertumbuhan perekonomian di suatu Negara pada era globalisasi ini, salah satunya dipengaruhi oleh sektor industri. Kabupaten Karawang merupakan salah satu kawasan industri di Indonesia yang paling aktif diantara kota lainnya. Salah satu industri di karawang adalah industri pupuk, perekoniman Indonesia dipengaruhi oleh hasil pertanian dikarenakan Indonesia merupakan Negara agraris. Perusahaan yang memproduksi pupuk di Indonesia adalah PT. XYZ yang berlokasi di Cikampek kabupaten Karawang merupakan industri petrokimia yang menghasilkan pupuk di Indonesia yang memiliki peran penting dalam mendukung sektor pertanian. PT. XYZ menghasilkan beberapa produk pupuk dengan jumlah yang terus meningkat setiap tahunnya, berikut merupakan data produksi pupuk di PT. XYZ pada tahun 2014-2018:

Gambar 1 Grafik Data Produksi Pupuk di PT.XYZ

Pada pabrik Amonia PT. XYZ menghasilkan produk sampingan atau *side product* yaitu gas CO yang dihasilkan akibat reaksi kimia antara gas alam dengan *steam*, Gas CO ini dihasilkan oleh pabrik pupuk kujang 1A, dan pabrik pupuk kujang 1A tersebut merupakan pabrik tua dan konsumsi energinya boros atau besar. Gas CO (Karbon monoksida), merupakan gas pencemar udara yang sangat berbahaya bagi tubuh dimana dapat menyebabkan sakit kepala, pusing, lemas dan lain-lain. Oleh karena itu PT. XYZ mengolah kembali gas CO di pabrik PPCO atau pemurnian CO, gas CO ini dijual ke konsumen atau pabrik lain yang membutuhkan gas CO sebagai bahan baku. Salah satu mesin yang digunakan dalam proses pemurnian CO adalah pompa penyerap larutan CO, yang mana dalam penyerapan nya, larutan CO yang diserap oleh P-201 mengandung tembaga, tembaga tersebut menempel pada dinding pompa, ini dapat menyebabkan pompa P-201 rusak atau mengalami kegagalan dan tidak dapat menyerap larutan CO dan tidak dapat menyalurkan gas CO yang sudah terpisah dari CO2. Berikut merupakan data frekuensi kerusakan masing-masing pompa P-201 dan P-202 dari tahun 2017 hingga 2019:



Gambar 2 Grafik Frekuensi Kerusakan Pompa Penyerap Larutan CO

Berdasarkan data frekuensi kerusakan tersebut, pompa p-201 mengalami kerusakan yang paling sering dibandingkan pompa p-202. Hal ini terjadi karena pada pompa p-201 lebih sering digunakan untuk menyerap dan menyalurkan larutan CO yang masih mengandung tembaga, penggunaan yang berlebihan, pemasangan komponen yang salah, faktor lingkungan dan lainnya. Salah satu metode *maintenance* yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko dan penentuan kebijakan pemeliharaan adalah *Risk Based Maintenance* atau RBM dan *Remaining life assessment*. RBM digunakan untuk melakukan penilaian risiko yang dapat terjadi dan dapat membantu dalam pengambilan keputusan mengenai kebijakan pemeliharaan aset. Selain itu, penting bagi perusahaan untuk mengetahui umur ekonomis untuk pompa dan komponen kritisnya [1], supaya PT.XYZ tidak mengalami kerugian dalam hal biaya sebaiknya PT.XYZ melakukan perhitungan kebijakan perbaikan atau penggantian mesin. *Remaining life assessment* merupakan metode yang menilai sisa masa pakai atau umur ekonomis berdasarkan perbandingan risiko total dan digunakan untuk strategi pemeliharaan (melakukan perbaikan atau penggantian).

2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Manajemen Perawatan

Manajemen perawatan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang-ulang dengan tujuan agar peralatan selalu memiliki kondisi yang sama dengan keadaan awalnya. Maintenance juga dilakukan untuk menjaga peralatan tetap berada dalam kondisi yang dapat diterima oleh penggunanya[2].

2.1.2 *Risk Based Maintenance* (RBM)

Risk Based Maintenance merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengurangi risiko yang akan terjadi disebabkan oleh kemungkinan terjadinya kegagalan atau kerusakan dari sebuah komponen yang mendadak atau tidak terduga dan untuk mendapatkan jadwal perawatan atau pemeliharaan yang optimal[3]. Perhitungan risiko dilakukan dengan metode RBM, dilakukan untuk mengetahui risiko yang diterima oleh perusahaan ketika pompa dan komponen kritis mengalami kegagalan[4].

Perhitungan *Risk Based Maintenance* dilakukan dengan tiga tahap yaitu perhitungan peluang kegagalan, perhitungan, konsekuensi kegagalan, dan *risk of failure*. Peluang kegagalan (Pf) merupakan peluang terjadinya kejadian akibat kegagalan[1]. Berikut merupakan persamaan dari peluang kegagalan:

$$Pf = 1 - Rm \quad (1)$$

Perhitungan konsekuensi kegagalan dilakukan dengan menilai *system performance loss* (SPL), *Consequence assessment* merupakan kombinasi dari empat kategori konsekuensi yang berupa *System*

Performance Loss, Financial Loss, Human Health Loss, dan Environment and Ecological Loss [5]. Berikut merupakan rumus perhitungan SPL:

$$SPL = (MDT \text{ x } LOR)+(MTTR \text{ x } EC)+MC+\text{HK} \quad (2)$$

Perhitungan selanjutnya adalah menghitung nilai risiko akibat adanya kegagalan dari komponen kritis [1]. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung *risk of failure*:

$$R_f = P_f \cdot \textit{System Perfomace Loss} \quad (3)$$

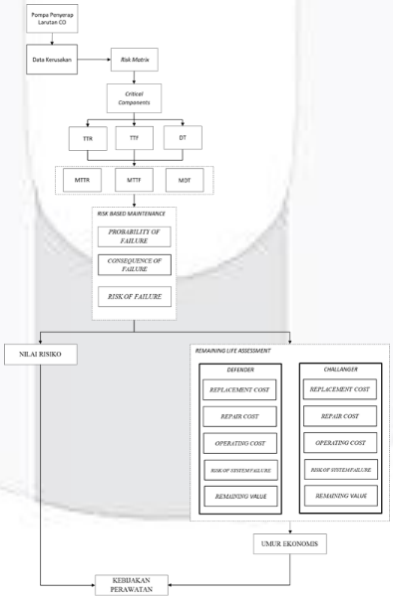
2.1.3 *Remaining Life Assessment*

Perhitungan umur optimal untuk pompa dan komponen kritis sangat penting untuk mengurangi risiko kegagalan dan mengurangi biaya yang diakibatkan karena pemberhentian pompa secara mendadak [6]. Remaining *life assessment* digunakan untuk menentukan kebijakan pemeliharaan dengan membandingkan total risiko dan umur ekonomis dari dua opsi yaitu *defender* (opsi 1) dan *challenger* (opsi 2) [1], berikut merupakan rumus untuk menghitung total risiko:

$$RT = \sum_{Nu} (Crep+Co.t+Crepair) + Rf - \sum_{Nu} Rv \quad (4)$$

Untuk menghitung total risiko dan juga untuk membuat keputusan perawatan apakah dilakukan penggantian atau tetap menggunakan pompa lama, perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan EUAC (Equivalent Uniform Annual Cost) yaitu merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk setiap tahun atau bulan atau dalam kata lain biaya yang dikeluarkan secara merata setiap tahunnya [7]. Dalam mengambil keputusan dalam analisis penggantian yang ditentukan oleh perbandingan umur ekonomis yaitu umur ekonomis sama dengan umur dimana nilai EUAC minimum [8].

2.2 Model Konseptual



Gambar 3 Model Konseptual

Tahap pertama pada penelitian ini berdasarkan model konseptual pada gambar 3 adalah melakukan penentuan pompa yang akan dijadikan objek penelitian berdasarkan data frekuensi kerusakan dari tahun 2017-2019. Selanjutnya adalah penentuan *risk matrix* berdasarkan data kerusakan dan wawancara yang dilakukan terhadap departemen pemeliharaan di PT.XYZ. Setelah menentukan

komponen kritis dilakukan perhitungan TTR, TTF, dan DT untuk dilakukan pengujian distribusi dan menentukan MTTR, MTTF dan DT. Selanjutnya adalah perhitungan nilai risiko kegagalan dengan menggunakan metode *risk based maintenance*. Hasil dari perhitungan RBM adalah nilai risiko kegagalan, yang dapat digunakan di perhitungan *remaining life assessment*. Selanjutnya pada perhitungan penentuan umur ekonomis dengan menggunakan EUAC of *Total risk* dan membandingkan hasil total risiko dari *defender* dan *challenger*. Setelah melakukan perhitungan tersebut, melakukan penentuan kebijakan pemeliharaan dari perbandingan umur ekonomis, total risiko dan nilai risiko kegagalan, apakah melakukan pergantian pompa atau tetap menggunakan pompa lama.

3. Pembahasan

3.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data yaitu data historis yang dikumpulkan dan dilakukan di PT.XYZ yaitu data kerusakan dari tahun 2017 sampai 2019, terdapat tiga komponen kritis yaitu *bearing ball*, *mechseal* dan *impeller*, data kerusakan tersebut di olah dan ketiga data kerusakan komponen kritis berdistribusi weibull.

Table 1 Penentuan Distribusi Data

Komponen Kritis	Data	Distribusi
Bearing ball	TTR	Weibull
	TTF	Weibull
	DT	Weibull
Mechseal	TTR	Weibull
	TTF	Weibull
	DT	Weibull
Impeller	TTR	Weibull
	TTF	Weibull
	DT	Weibull

3.2 Perhitungan *Risk Based Maintenance*

Sebelum melakukan perhitungan RBM, dilakukan penentuan komponen kritis menggunakan *risk matrix* didapatkan tiga komponen kritis yaitu *bearing ball*, *mechseal* dan *impeller*. Setelah itu melakukan penentuan distribusi untuk menghitung nilai MTTR, MTTF, dan MDT menggunakan *software* Minitab (penentuan distribusi) dan Avsim (penentuan nilai parameter). Berikut merupakan hasil MTTR, MTTF dan MDT:

Table 2 Nilai MTTR Komponen kritis

CRITICAL COMPONENT	DISTRIBUTION	PARAMETER		MTTR (HOUR)
BEARING BALL	WEIBULL	η	3,752	3,323
		β	2,252	
MECHSEAL	WEIBULL	η	4,277	3,810
		β	1,746	
IMPELLER	WEIBULL	η	3,392	3,094
		β	4,473	

Table 3 Nilai MTTF Komponen kritis

CRITICAL COMPONENT	DISTRIBUTION	PARAMETER		MTTF (HOUR)
BEARING BALL	WEIBULL	η	1617,110	1637,80
		β	0,971	
MECHSEAL	WEIBULL	η	1902,890	2113,33
		β	0,823	
IMPELLER	WEIBULL	η	2209,540	3101,77
		β	0,635	

Table 4 Nilai MDT Komponen kritis

CRITICAL COMPONENT	DISTRIBUTION	PARAMETER		MDT (HOUR)
BEARING BALL	WEIBULL	η	4,828	4,278
		β	2,344	
MECHSEAL	WEIBULL	η	5,909	5,248
		β	1,857	
IMPELLER	WEIBULL	η	4,602	4,107
		β	2,947	

Nilai MTTR, MTTF, dan MDT digunakan untuk perhitungan *probability of failure*, *consequence of failure* dan *risk of* failure. Setelah melakukan perhitungan MTTR, MTTF dan MDT selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai risiko kegagalan menggunakan metode RBM secara berurutan, berikut merupakan perhitungan RBM:

3.2.1 Perhitungan Peluang Kegagalan

Kegagalan Probabilistik (*Probability of Failure*) merupakan perhitungan yang dilakukan untuk mengatahui peluang kegagalan (Pf) yang dapat terjadi pada setiap komponen kritis pada pompa dalam satu tahun, dengan waktu operasi pompa yang sudah dikurangi dengan *interval* kerusakan dalam 1 tahun sebesar 2036 jam.

Table 5 Probability of Failure

Komponen Kritis	Distribusi	Parameter Distribusi		Periode (jam)	R(T)	Q(T)
		η	β			
Bearing Ball	Weibull	1617,11	0,971428	2036	0,286	0,714
Mechseal	Weibull	1902,89	0,823393		0,347	0,653
Impeller	Weibull	2209,54	0,634699		0,387	0,613

R(T) merupakan keandalan atau kekuatan komponen untuk bekerja sesuai dengan fungsi nya dalam periode 2284 jam, sedangkan Q(T) merupakan peluang kegagalan yang dapat terjadi karena kerusakan pada komponen kritis selama periode 2036 jam.

3.2.2 Perhitungan Konsekuensi Kegagalan

Perhitungan konsekuensi kegagalan dilakukan untuk menghitung nilai konekuensi yang diakibatkan karena penurunan *system performance loss* (SPL). Berikut merupakan perhitungan SPL:

Table 6 Consequence of failure

Komponen Kritis	MDT	MTTR	*Loss of revenue*	*Material Cost*	*Engineer Cost*	Harga Komponen	SPL
Bearing ball	4,278	3,324	Rp 41.318.817	Rp 1.124.472	Rp 160.014	Rp 10.762.248	Rp 189.162.706
Mechseal	5,211	3,809	Rp 47.351.935	Rp 1.124.472	Rp 160.014	Rp 24.480.000	Rp 272.953.468
Impeller	4,106	3,097	Rp 38.503.660	Rp 1.124.472	Rp 160.014	Rp 48.000.000	Rp 207.730.724

System Perfomance Loss merupakan biaya yang dikeluarkan akibat adanya penurunan kinerja sistem yang ditimbulkan oleh pemberhentian pompa, perbaikan pompa dan beberapa variable yang mempengaruhi kerugian seperti loss of revenue, material cost, engineer cost dan harga komponen. Perhitungan SPL dilakukan dengan dengan rumus:

$$\text{SPL} = (MDT \text{ x } LOR)+(MTTR \text{ x } EC)+MC+\text{HK} \quad (5)$$

3.2.3 Perhitungan Nilai Risiko Kegagalan

Selanjutnya adalah menghitung nilai risiko atau risiko kegagalan atau risk of failure akibat kegagalan yang terjadi pada mesin untuk setiap komponen kritis, berikut merupakan perhitungan nilai risiko berdasarkan peluang kegagalan Q(T) atau P(f) pada setiap komponen kritis:

$$R_f = P_f \cdot System\ Perfomace\ Loss \quad (6)$$

Table 7 Risk of Failure

Komponen Kritis	Q(T)	SPL	Nilai Risiko (Rp.)
Bearing ball	0,714	Rp 189.162.706	Rp 134.999.052
Mechseal	0,653	Rp 272.953.468	Rp 178.114.644
Impeller	0,613	Rp 207.730.724	Rp 127.337.995
TOTAL			Rp 440.451.691

Table 8 Penentuan kriteria penerimaan Risiko

Periode (Jam)	*Hourly Rate*	Kapasitas Produksi 1 tahun	Total Risiko	%*Risk*	Kriteria Penerimaan
2036	Rp 12.432.000	Rp 25.307.809.358	Rp 440.451.691	2%	1%

Berdasarkan tabel 8, dengan periode 2036 jam selama satu tahun dan hourly rate sebesar Rp. 12.432.000 sehingga kapasitas produksi 1 tahun pompa penyerap larutan CO sebesar Rp. 25.307.809.358. Dengan begitu dengan melakukan pembagian kapasitas produksi dengan total risiko dihasilkan kriteria penerimaan risiko yang diterima oleh perusahaan selama satu tahun lebih besar dari pada kriteria penerimaan dari perusahaan tersebut yaitu sebesar 2% selama satu tahun.

3.3 Perhitungan *Remaining Life Assessment*

Perhitungan ini dilakukan untuk strategi pemeliharaan dan untuk menilai sisa masa pakai atau melihat umur ekonomis untuk setiap komponen kritis dan juga umur ekonomis dari pompa, pada perhitungan ini juga dapat digunakan untuk menentukan kebijakan pergantian pompa atau tetap mempertahankan pompa lama dengan melakukan perbandingan total risiko antara pompa *defender* (Opsi 1) dan pompa *challenger* (Opsi 2). Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan rumus total risiko, untuk mendukung perhitungan total risiko digunakan perhitungan EUAC yang mana untuk mengetahui umur ekonomis dari komponen kritis dan pompa. Penggunaan rumus EUAC ini untuk mengetahui umur ekonomis yang akan sama dengan nilai EUAC minimum. Berikut merupakan perhitungan umur ekonomis untuk opsi 1 dan opsi 2.

3.3.1 Perhitungan Umur Ekonomis Komponen Kritis *Defender* (Opsi 1)

Perhitungan pompa *defender* atau pompa lama atau opsi 1 melakukan *overhaul* untuk meningkatkan *performance* pompa supaya berfungsi sesuai standar (Biaya *replacement*) sehingga pompa dapat digunakan kembali untuk 5 tahun kedepan, Biaya perbaikan untuk tahun pertama dan kedua sama karena ada pada masa *useful life* sedangkan tahun selanjutnya mengalami peningkatan secara gradien untuk komponen *bearing ball* sebesar Rp. 308.417, untuk *mechseal* Rp. 559.639, untuk *impeller* Rp. 932.749, dan pompa *defender* tidak memiliki nilai sisa. Berikut merupakan perhitungan Total risiko untuk komponen kritis opsi 1.

Table 9 Total Risiko *Bearing Ball* Opsi 1

Tahun	BIAYA REPLACEMENT	BIAYA OPERASI	BIAYA PERAWATAN	*RISK OF FAILURE*	TOTAL	UMUR EKONOMIS
1	Rp 14.031.961	Rp 81.160.014	Rp 6.168.340	Rp 134.999.052	Rp 236.359.367	2 TAHUN
2	Rp 7.286.226	Rp 83.111.913	Rp 6.168.340	Rp 134.999.052	Rp 231.565.530	
3	Rp 5.041.112	Rp 84.978.593	Rp 6.263.332	Rp 137.078.038	Rp 233.361.075	
4	Rp 3.922.453	Rp 86.857.447	Rp 6.379.127	Rp 139.612.300	Rp 236.771.327	
5	Rp 3.254.635	Rp 88.651.084	Rp 6.500.971	Rp 142.278.953	Rp 240.685.643	

Table 10 Total Risiko *Mechseal* Opsi 1

Tahun	BIAYA REPLACEMENT	BIAYA OPERASI	BIAYA PERAWATAN	*RISK OF FAILURE*	TOTAL	UMUR EKONOMIS
1	Rp 21.047.941	Rp 81.160.014	Rp 11.192.788	Rp 178.114.644	Rp 291.515.388	2 Tahun
2	Rp 10.929.338	Rp 83.111.913	Rp 11.192.788	Rp 178.114.644	Rp 283.348.684	
3	Rp 7.561.668	Rp 84.978.593	Rp 11.365.157	Rp 180.857.610	Rp 284.763.028	
4	Rp 5.883.679	Rp 86.857.447	Rp 11.575.273	Rp 184.201.257	Rp 288.517.657	
5	Rp 4.881.953	Rp 88.651.084	Rp 11.796.366	Rp 187.719.579	Rp 293.048.981	

Table 11 Total Risiko *Impeller* Opsi 1

Tahun	BIAYA REPLACEMENT	BIAYA OPERASI	BIAYA PERAWATAN	*RISK OF FAILURE*	TOTAL	UMUR EKONOMIS
1	Rp 35.641.602	Rp 81.160.014	Rp 18.654.986	Rp 127.337.995	Rp 262.794.597	3 Tahun
2	Rp 18.507.232	Rp 83.111.913	Rp 18.654.986	Rp 127.337.995	Rp 247.612.125	
3	Rp 12.804.575	Rp 84.978.593	Rp 18.942.273	Rp 129.299.000	Rp 246.024.441	
4	Rp 9.963.148	Rp 86.857.447	Rp 19.292.472	Rp 131.689.446	Rp 247.802.513	
5	Rp 8.266.872	Rp 88.651.084	Rp 19.660.967	Rp 134.204.769	Rp 250.783.691	

Dari ketiga tabel tersebut, ke empat biaya dilakukan perhitungan EUAC terlebih dahulu untuk mengetahui biaya tahunan yang akan dibayarkan, setelah itu dilakukan perhitungan total risiko dimana EUAC *of replacement cost,* EUAC *of repair cost,* EUAC *of operation cost* dan EUAC *of risk failure* dijumlahkan.

Perhitungan keempat biaya pada tabel 9 sampai dengan 11 menggunakan perhitungan EUAC, EUAC *of replacement cost* yaitu biaya *overhaul* yang dilakukan untuk meningkatkan *performance* ketiga komponen kritis, EUAC *of operation cost* yaitu biaya operasi yang harus dibayarkan setiap tahunnya, EUAC *of repair cost* yaitu biaya perbaikan yang yang harus dibayarkan setiap tahunnya karena adanya kegagalan, EUAC *of risk failure* yaitu biaya yang dibayarkan atau dikeluarkan karena adanya kegagalan komponen kritis.

Setelah melakukan perhitungan masing-masing biaya yang dibayarkan setiap tahun nya (EUAC), selanjutnya adalah menghitung total risiko masing-masing komponen yaitu dengan menjumlahkan biaya-biaya. Sehingga didapatkan umur ekonomis masing-masing komponen sesuai dengan total risiko paling minimum (yang diberi warna kuning).

3.3.2 Perhitungan Umur Ekonomis Komponen Kritis *Challanger* (Opsi 2)

Perhitungan umur ekonomis pada komponen kritis untuk opsi 2 dilakukan perhitungan EUAC terlebih dahulu sebelum menghitung total risko dimana terdapat ketentuan pada opsi 2 yaitu, opsi 2 menggunakan komponen baru sehingga umur pakai pompa adalah 6 tahun, biaya operasi di opsi 2 sama dengan di opsi 1, Biaya perbaikan untuk tahun pertama terdapat warranty sehingga pada tahun pertama biaya perbaikan Rp. 0, sedangkan tahun selanjutnya mengalami peningkatan biaya secara gradien untuk komponen bearing ball sebesar Rp. 154.208, untuk mechseal Rp. 279.820, untuk impeller Rp. 466.375. Untuk mendapatkan biaya *risk of failure,* parameter η dari *time to failure* diasumsikan lebih besar dari η opsi 1, yaitu untuk *bearing ball* η = 4851.33, untuk *mechseal* η = 7611.56, untuk *impeller* η = 11047.7 sehingga didapatkan nilai risiko untuk masing-masing komponen kritis. Tidak memiliki nilai sisa. Berikut merupakan hasil total risiko dan umur ekonomis ketiga komponen kritis:

Table 12 Total Risiko *Bearing Ball* Opsi 2

Tahun	BIAYA REPLACEMENT	BIAYA OPERASI	BIAYA PERAWATAN	*RISK OF FAILURE*	TOTAL	UMUR EKONOMIS
1	Rp 20.045.658	Rp 81.160.014	Rp -	Rp 30.648.469	Rp 131.854.142	3 TAHUN
2	Rp 10.408.894	Rp 83.111.913	Rp 3.158.344	Rp 30.648.469	Rp 127.327.620	
3	Rp 7.201.588	Rp 84.978.593	Rp 3.229.280	Rp 31.120.456	Rp 126.529.917	
4	Rp 5.603.504	Rp 86.857.447	Rp 3.300.679	Rp 31.695.802	Rp 127.457.432	
5	Rp 4.649.479	Rp 88.651.084	Rp 3.368.839	Rp 32.301.205	Rp 128.970.607	
6	Rp 4.014.700	Rp 90.396.024	Rp 3.435.148	Rp 32.910.949	Rp 130.756.821	

Table 13 Total Risiko *Mechseal* Opsi 2

Tahun	BIAYA REPLACEMENT	BIAYA OPERASI	BIAYA PERAWATAN	*RISK OF FAILURE*	TOTAL	UMUR EKONOMIS
1	Rp 30.068.487	Rp 81.160.014	Rp -	Rp 36.887.462	Rp 148.115.963	3 TAHUN
2	Rp 15.613.340	Rp 83.111.913	Rp 5.730.987	Rp 36.887.462	Rp 141.343.702	
3	Rp 10.802.383	Rp 84.978.593	Rp 5.859.705	Rp 37.455.528	Rp 139.096.208	
4	Rp 8.405.256	Rp 86.857.447	Rp 5.989.261	Rp 38.147.996	Rp 139.399.961	
5	Rp 6.974.219	Rp 88.651.084	Rp 6.112.941	Rp 38.876.639	Rp 140.614.883	
6	Rp 6.022.050	Rp 90.396.024	Rp 6.233.264	Rp 39.610.506	Rp 142.261.843	

Table 14 Total Risiko *Impeller* Opsi 2

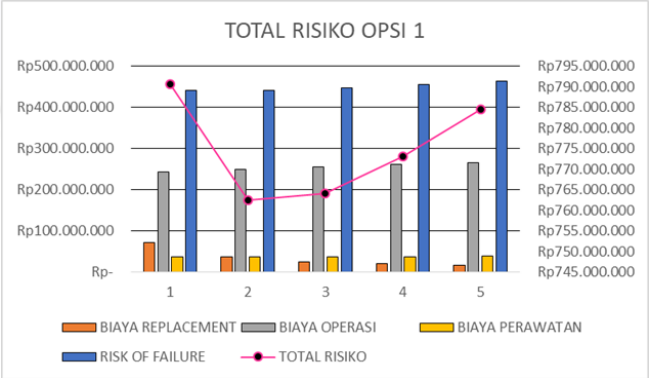
Tahun	BIAYA REPLACEMENT	BIAYA OPERASI	BIAYA PERAWATAN	*RISK OF FAILURE*	TOTAL	UMUR EKONOMIS
1	Rp 41.570.843	Rp 81.160.014	Rp -	Rp 31.218.020	Rp 153.948.878	4 TAHUN
2	Rp 21.586.045	Rp 83.111.913	Rp 9.551.819	Rp 31.218.020	Rp 145.467.797	
3	Rp 14.934.710	Rp 84.978.593	Rp 9.766.352	Rp 31.698.778	Rp 141.378.433	
4	Rp 11.620.590	Rp 86.857.447	Rp 9.982.283	Rp 32.284.816	Rp 140.745.137	
5	Rp 9.642.126	Rp 88.651.084	Rp 10.188.421	Rp 32.901.470	Rp 141.383.100	
6	Rp 8.325.716	Rp 90.396.024	Rp 10.388.962	Rp 33.522.545	Rp 142.633.246	

Perhitungan keempat biaya pada tabel 12 sampai dengan 14 menggunakan perhitungan EUAC, EUAC *of replacement cost* yaitu nilai beli komponen baru yang harus dibayarkan setiap tahunnya, EUAC *of operation cost* yaitu biaya operasi yang harus dibayarkan setiap tahunnya, EUAC *of repair cost* yaitu biaya pemeliharaan dari *preventive maintenance* yang harus dibayarkan setiap tahunnya dimana ditahun pertama pada opsi 2 terdapat *warranty* sehingga biaya perbaikan tidak dibayarkan, EUAC *of risk failure* yaitu biaya yang dibayarkan atau dikeluarkan karena adanya kegagalan komponen kritis.

Setelah melakukan perhitungan masing-masing biaya yang dibayarkan setiap tahun nya (EUAC), selanjutnya adalah menghitung total risiko masing-masing komponen yaitu dengan menjumlahkan biaya-biaya. Sehingga didapatkan umur ekonomis masing-masing komponen sesuai dengan total risiko paling minimum (yang diberi warna oranye).

3.3.3 Perhitungan Total Risiko Pompa Opsi 1 dan Opsi 2

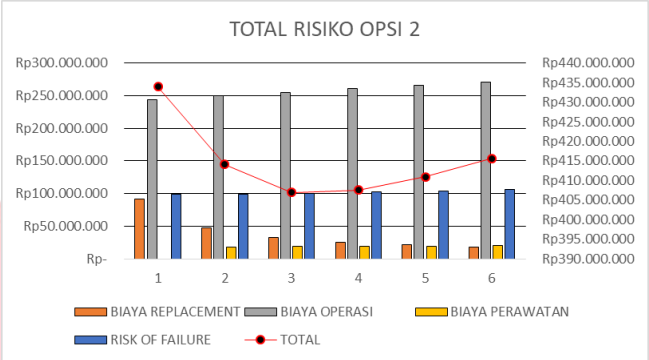
Setelah melakukan perhitungan total risiko menggunakan EUAC pada ketiga komponen kritis, selanjutnya adalah menentukan umur ekonomis untuk pompa. Berdasarkan penelitian pada jurnal acuan dan menurut departemen pemeliharaan pada PT. XYZ bahwa umur ekonomis dari pompa dapat ditentukan dari penjumlahan EUAC total risiko dari ketiga komponen. Berikut merupakan total risiko dan umur ekonomis dari opsi 1 dan opsi 2.



Gambar 4 Grafik Total Risiko Pompa Opsi 1

Berdasarkan data grafik pada gambar 4 EUAC total terendah ada pada tahun kedua. Total risiko pada gambar tersebut didapatkan dari hasil penjumlahan total risiko dari ketiga komponen kritis, setelah total risiko dijumlahkan total risiko untuk pompa opsi 1 memiliki biaya terendah pada tahun kedua. Maka berdasarkan perhitungan EUAC total risiko, pompa opsi 1 memiliki umur ekonomis selama dua

tahun setelah dilakukannya overhaul, dengan biaya total risiko yang harus dibayarkan setiap tahun selama 2 tahun sebesar Rp. 762.526.339.



Gambar 5 Grafik Total Risiko Pompa Opsi 2

Berdasarkan data grafik pada gambar 5 EUAC total terendah ada pada tahun ke empat. Total risiko pada gambar tersebut didapatkan dari hasil penjumlahan total risiko dari ketiga komponen kritis, setelah total risiko dijumlahkan total risiko untuk pompa opsi 2 memiliki biaya terendah pada tahun ke tiga. Maka berdasarkan perhitungan EUAC total risiko, pompa opsi 2 memiliki umur ekonomis selama tiga tahun setelah dilakukannya pembelian pompa baru pada tahun ke-0, dengan biaya total risiko yang harus dibayarkan selama empat tahun sebesar Rp. 407.004.558.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan metode *risk based maintenance,* nilai risiko kegagalan atau risk of failure yang disebabkan karena ketidakandalan pada pompa penyerap larutan CO yang disebabkan karena kegagalan pada ketiga komponen kritis, dalam periode satu tahun atau 2284 jam dengan menggunakan metode risk based maintenance, risiko yang harus ditanggung perusahaan adalah sebesar Rp. 440.451.691 atau dalam bentuk persen sebesar 2%.

Berdasarkan perhitungan EUAC total risiko untuk menentukan umur ekonomis ketiga komponen kritis pada kedua opsi (*defender* dan *challenger*) yang ditentukan dengan melihat EUAC minimum, sehingga pada opsi 1 atau *defender* untuk komponen kritis *bearing ball* dan *mechseal* memiliki umur ekonomis dua tahun dan untuk impeller memiliki umur ekonomis 3 tahun. Untuk ketiga komponen kritis pada opsi 2 atau challenger yaitu *bearing ball, mechseal dan impeller* memiliki umur ekonomis masing-masing sebesar tiga tahun, tiga tahun dan empat tahun.

Berdasarkan perhitungan EUAC total risiko dari ketiga komponen kritis untuk pompa opsi 1 yaitu *defender* memiliki umur ekonomis 2 tahun dengan total risiko yang disebabkan karena kegagalan ketiga komponen kritis sebesar Rp. 762.526.339, sedangkan pompa opsi 2 yaitu challenger memiliki umur ekonomis 3 tahun dengan total risiko yang disebabkan oleh kegagalan tiga komponen kritis sebesar Rp. 407.004.558. Maka setelah membandingkan kedua opsi tersebut diperoleh hasil terbaik adalah dengan mengganti pompa *defender* dengan pompa *challenger*.

Daftar Pustaka:

[1] M. Khalifa, F. Khan, and J. Thorp, “Risk-based maintenance and remaining life assessment for gas turbines,” *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 100–111, 2015.

[2] Asyari Daryus, “Manajemen Perawatan Preventif Menggunakan Metode Kompleksitas Perbaikan,” *Rekayasa Teknol. Fak. Tek. UHAMKA*, 2014.

[3] N. S. Arunraj and J. Maiti, “Risk-based maintenance-Techniques and applications,” *J. Hazard. Mater.*, 2007.

[4] 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.

[5] F. I. Khan, R. Sadiq, and M. M. Haddara, “Risk-based inspection and maintenance (RBIM)

multi-attribute decision-making with aggregative risk analysis," *Process Saf. Environ. Prot.*, 2004.

[6] J. Alhilman, R. R. Saedudin, F. T. D. Atmaji, and A. G. Suryabrata, "LCC application for estimating total maintenance crew and optimal age of BTS component," *2015 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2015*, pp. 543–547, 2015.

[7] M. Giatman, *Ekonomi Teknik*. 2005.

[8] Newnan DG, Eschenbach T, Lavelle JP. *Engineering economic analysis*. Oxford University Press; 2004.