

Analisis Keandalan dan Performansi pada Mesin Bingham Lean Benfield (J1107) dengan Metode *Reliability, Availability, Maintainability*, dan *Safety Analysis (RAMS)* di PT Pupuk Kujang

Reliability and Performance Analysis of Bingham Lean Benfield Machine (J1107) Using Reliability, Availability, Maintainability, and Safety Analysis (RAMS) Methods at PT Pupuk Kujang

1st Daffa Mukhtar Dzakir
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
faksmail@student.telkomuniversity.
ac.id

2nd Judi Alhilman
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
alhilman@telkomuniversity.ac.id

3rd Endang Budiasih
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
endangbudiasih@telkomuniversity.a
c.id

Abstrak—PT Pupuk Kujang merupakan perusahaan yang bergerak pada bidang petrokimia, dan didirikan pada tanggal 9 Juni 1975 di lingkungan departemen Perindustrian, di desa Dawuan Cikampek. Berdasarkan hasil wawancara dan data kerusakan yang ada, mesin yang sering mengalami kerusakan dan downtime adalah mesin bingham lean benfield J1107-C yang terdapat pada plant Ammonia 1A. Fungsi dari mesin bingham lean benfield J1107-C untuk mengalirkan larutan Benfield dari striper ke absorber dimana larutan benfield itu berfungsi untuk menyerap CO_2 yang berperan dalam proses pembuatan amoniak, jika mengalami kerusakan maka pabrik akan mengalami shutdown dan membuat perusahaan mengeluarkan biaya perbaikan dan kerugian biaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai keandalan, ketersediaan, kemampuan, dan tingkat keamanan dari masing-masing subsistem kritis mesin bingham lean benfield J1107-C. Metode yang digunakan ialah *reliability, availability, maintainability*, dan *safety analysis*. Dari hasil risk matrix, terpilih subsistem kritis mesin yaitu pump impeller + shaft, dan coupling, sehingga penelitian fokus pada subsistem kritis tersebut. Nilai keandalan eksisting pada masing-masing subsistem kritis pada $t = 480$ jam adalah 76,42% untuk pump impeller + shaft, 74,04% untuk coupling, dan pada *reliability system* adalah 56,58%. Nilai inherent *Availability* subsistem kritis dari mesin bingham lean benfield J1107-C memiliki nilai 99,84%. Menurut standar IVARA, untuk

nilai minimum inherent *availability* sebesar 95%, maka nilai inherent *availability* dari mesin bingham lean benfield J1107-C adalah baik, karena diatas 95%, dan penggunaan sistem pada *Reliability Block Diagram Operational Availability* yang bernilai 99.819%. Untuk mencapai nilai *maintainability* 100% membutuhkan 25 jam untuk Pump Impeller + Shaft dan 10 jam untuk Coupling. Untuk nilai *safety integrity level* berada pada level SIL 2 untuk $t = 24$ jam dan SIL 1 untuk $t = 144$ jam.

Kata kunci—*Reliability, availability, maintainability, safety integrity level, reliability block diagram.*

Abstract—PT Pupuk Kujang is a company engaged in the petrochemical sector, and was established on June 9, 1975 within the Ministry of Industry, in the village of Dawuan Cikampek. Based on the results of interviews and existing damage data, the machine that often experiences damage and downtime is the Bingham lean Benfield J1107-C engine which is found in the Ammonia 1A plant. The function of the Bingham Lean Benfield J1107-C machine is to drain the Benfield solution from the striper to the absorber where the Benfield solution serves to absorb CO_2 which plays a role in the process of making ammonia, if it is damaged, the factory will shutdown and make the company incur repair costs and cost losses. The purpose of this study was to determine the value of *reliability, availability, maintainability, and safety level* of each critical subsystem of the Bingham lean Benfield J1107-C machine. The methods used are *reliability,*

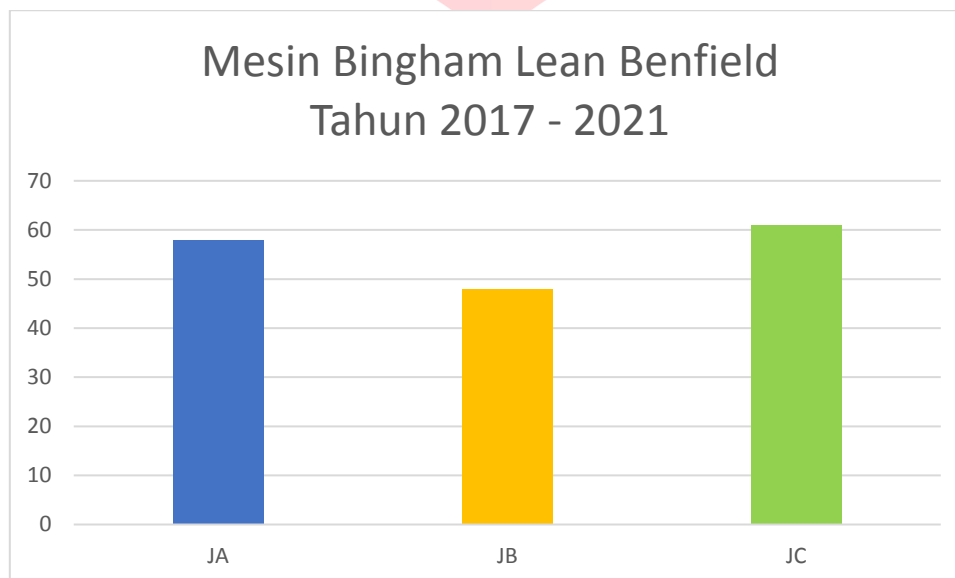
availability, maintainability, and safety integrity level. From the results of the risk matrix, the engine critical subsystems, namely pump impeller + shaft, and coupling were selected, so the research focused on these critical subsystems. The existing reliability value for each critical subsystem at $t = 480$ hours is 76.42% for pump impeller + shaft, 74.04% for coupling, and 56.58% for system reliability. The inherent Availability value of the critical subsystem of the Bingham Lean Benfield J1107-C engine has a value of 99.84%. According to IVARA standards, for the minimum inherent availability value of 95%, the inherent availability value of the Bingham Lean Benfield J1107-C machine is good, because it is above 95%, and the use of the system on the Reliability Block Diagram Operational Availability is worth 99,819%. To achieve 100% maintainability, it takes 25 hours for Pump Impeller + Shaft and 10 hours for Coupling. For the value of safety integrity level is at the level of SIL 2 for $t = 24$ hours and SIL 1 for $t = 144$ hours.

Keywords—reliability, availability, maintainability, safety integrity level, reliability block diagram.

tahun 1975 di lingkungan Departemen Perindustrian, di desa Dawuan Cikampek, Jawa Barat. Salah satu proses pada pembuatan pupuk pada PT Pupuk Kujang adalah mengalirkan larutan benfield dari striper ke absorber. Mesin yang berfungsi untuk menjalankan larutan benfield adalah mesin bingham lean benfield. Terdapat 3 jenis mesin bingham lean benfield yang di pasang secara paralel, yaitu J-1107 A, J-1107 B, dan J-1107 C. Fungsi dari mesin bingham lean benfield untuk mengalirkan larutan Benfield dari striper ke absorber dimana larutan Benfield itu berfungsi untuk menyerap CO_2 yang berperan dalam proses pembuatan amoniak. Mesin ini, salah satu yang mempengaruhi proses produksi pupuk, maka jika mengalami kerusakan maka pabrik akan mengalami shutdown dan membuat perusahaan mengeluarkan biaya perbaikan dan kerugian biaya. Berikut ini merupakan data kerusakan ketiga mesin bingham lean benfield dari rentang waktu 2017-2021.

I. PENDAHULUAN

PT Pupuk Kujang merupakan perusahaan yang memproduksi berbagai jenis pupuk dan berdiri sejak



GAMBAR 1
(Frekuensi Kerusakan Mesin)

Bisa dilihat pada grafik diatas, bahwa mesin J1107-C yang mengalami *downtime* sebanyak 61 kali, mesin J1107-A mengalami *downtime* sebanyak 58 kali, dan mesin J1107-B mengalami *downtime* sebanyak 48 kali. Bisa dilihat pada gambar I.2, bahwa mesin J1107-C yang mengalami *downtime* tertinggi sebanyak 61 kali, mesin J1107-A mengalami *downtime* sebanyak 58 kali, dan mesin J1107-B mengalami *downtime* sebanyak 48 kali. *Downtime* yang terjadi pada mesin dikarenakan oleh beberapa faktor. Pelaksanaan Kegiatan perawatan mesin pada Kujang Pupuk merupakan perawatan korektif yaitu melakukan perbaikan pada saat rusak agar tidak mengganggu proses produksi. Kegiatan yang dapat mengganggu proses produksi akan meningkatkan *downtime*. Oleh karena itu, perusahaan perlu meneliti *reliability, availability, maintainability* pada mesin Bingham Lean Benfield untuk mengatasi masalah *downtime* mesin. Kondisi atau kinerja mesin dapat dilihat pada

nilai tersebut. Maka dengan menambahkan *reliability, availability, maintainability*, serta *safety analysis* (RAMS) dapat mengetahui tingkat keamanan pada mesin bingham lean benfield dan berguna bagi perusahaan untuk perusahaan dalam melakukan evaluasi kinerja (Lundteigen, Rausand, & Utne, 2009) dari subsistem kritis mesin J1107-C.

II. KAJIAN TEORI

A. RAMS

Dalam studi (Ahmadi, Moosazadeh, Hajihassani, Moomivand, & Rajaei, 2019) dijelaskan bahwa analisis RAM merupakan metode penting untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan meningkatkan fungsi operasi sistem. *Reliability, availability, maintainability* (RAM) Merupakan metode yang dapat digunakan untuk memprediksi kinerja keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), kemampuan

perawatan (*maintainability*) suatu sistem atau komponen sebagai dasar pengoptimalan sistem. Selain itu, RAM juga dapat mengidentifikasi subsistem kunci dalam proses produksi, subsistem tersebut dapat mempengaruhi kinerja sistem (Alhilman, 2016).

1. *Reliability*

Keandalan adalah probabilitas yang menunjukkan bahwa komponen atau sistem tertentu dapat dioperasikan sesuai kebutuhan dalam jangka waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi (O'Connor, 1998). Tujuan keandalan secara umum, ialah suatu mesin atau sistem dapat menjalankan fungsinya dan dapat diandalkan, dimana suatu sistem atau mesin tidak akan mengalami kegagalan pada periode waktu kurun tertentu.

2. *Availability*

Ketersediaan (*Availability*) dapat diartikan sebagai probabilitas suatu sistem beroperasi sesuai fungsinya dalam waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah ditetapkan (O'Connor, 1998).

a. *Inherent Availability*

Inherent availability merupakan ukuran kesiapan dalam sistem saat dievaluasi dalam kondisi lingkungan yang ideal (Ebeling, 2000). Berikut merupakan persamaan untuk mencari nilai A_i :

$$A_i = \text{MTTF}/(\text{MTTF}+\text{MTTR})$$

b. *Operational Availability*

Operational Availability merupakan ukuran *availability* sistem yang mempertimbangkan seluruh jenis downtime, seperti delay, corrective dan preventive maintenance (Ebeling, 2000).

Berikut merupakan persamaan untuk mencari nilai A_o :

$$A_o = (\text{operational time}-DT)/(\text{operational time})$$

3. *Maintainability*

Menurut (O'Connor, 1998), *maintainability* adalah peluang suatu sistem yang rusak untuk dikembalikan pada kondisi optimum dalam suatu periode waktu yang telah ditentukan dan dengan prosedur maintenance tertentu. Penelitian (Setyowati, Alhilman, Tatas, & Atmaji, 2019) menunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu *maintainability*, nilai *maintainability* setiap subsistem akan meningkat seiring waktu, dan kualitas kerja subsistem akan lebih optimal.

4. *Safety Integrity Level*

Safety integrity level ialah tingkatan suatu keamanan pada komponen mesin yang konfigurasi dengan *safety instrumented system* (SIS). Nilai ini didapatkan melalui rentang nilai PFD (*Probability of Failure on Demand*).

Menentukan nilai PFD dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PFD = \frac{\lambda \cdot Ti}{2}$$

Dimana λ merupakan laju kerusakan komponen, dan TI adalah test interval yang akan digunakan. Setelah mendapatkan nilai dari PFD masing-masing dari komponen subsistem, tingkatan dapat dilihat pada tabel di bawah, sesuai dengan standar IEC 61508 (Di, Petrokimia, Rahmawati, Hs, & Lapangan, 2013).

TABEL 1
(IEC 61208)

Safety integrity level	Probability of failure on demand	Risk reduction factor
4	<0,0001	>10000
3	0,001-0,0001	1000-10000
2	0,01-0,001	100-1000
1	0,1-0,01	10-100

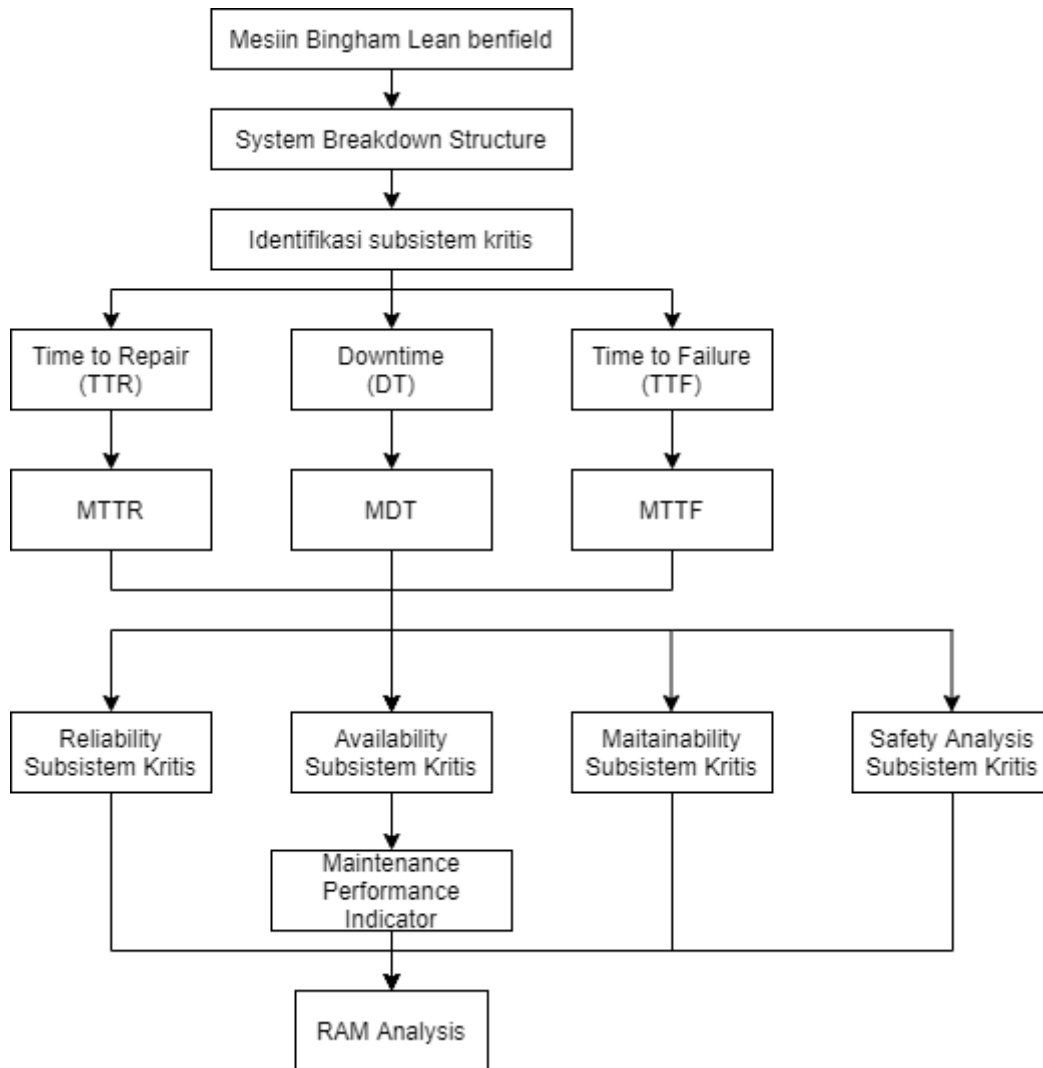
RRF (*Risk Reduction Factor*) ialah tingkat penurunan risiko pada subsistem komponen. Nilai RRF dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$RRF = \frac{1}{PFD}$$

Sesuai dengan persamaan sebelumnya, besarnya nilai RRF berbanding terbalik dengan nilai PFD. Semakin

kecil nilai PFD, maka semakin besar nilai tingkat penurunan resiko pada subsistem komponen, dan sebaliknya.

III. METODE



GAMBAR 2 (Metode Konseptual)

Berdasarkan model konseptual pada gambar 2, tujuan penelitian ini berupaya untuk mencari nilai reliability, availability, maintainability, dan safety analysis pada subsistem kritis. Penelitian ini dimulai dari mesin atau objek mana yang akan dilakukan penelitian dengan melihat tingkat kerusakan yang tertinggi. selanjutnya, melakukan system breakdown structure untuk menentukan pembagian sistem berdasarkan fungsi dari mesin bingham lean benfield. Selanjutnya, menggunakan risk matrix untuk mengidentifikasi subsistem kritis. Setelah memilih subsistem kritis, selanjutnya melakukan pengolahan data berdasarkan analisis data TTF, TTR dan MDT pada subsistem kritis dengan menggunakan uji anderson darling. Langkah selanjutnya adalah menghitung reliability, availability, dan maintainability pada subsistem kritis. Kemudian melakukan perhitungan Maintenance Performance Indicator yang diperoleh dari nilai availability subsistem kritis. Untuk bagian "System Integrity Level (SIL)", digunakan untuk menentukan tingkat target pengurangan risiko keselamatan dan untuk membandingkan reliabilitas instrumen (komponen). Untuk perhitungannya dapat menggunakan data dari MTTF, yang digunakan untuk mencari nilai lambda. Pada akhir penelitian, metode reliability, availability, maintainability, dan safety akan dilakukan analisis RAMS untuk setiap pengolahan data berdasarkan rumusan masalah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. penentuan subsistem kritis

Pada Gambar 3, warna kuning menunjukkan bahwa tidak ada risiko tinggi atau sistem yang diklasifikasikan sebagai kuning adalah subsistem volute, bearing, dan mechseal. Kemudian warna oranye pada risk matrix memiliki resiko yang cukup tinggi adalah pump i. + shaft, dan coupling. Maka dari itu, subsistem yang akan dianalisis lebih lanjut adalah sistem pump i. + shaft, dan coupling.

Likelihood	Consequence				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Catastrophic (5)
Almost Certain (5)	Yellow	Orange	Red	Dark Red	Dark Red
Likely (4)	Yellow	Orange	Orange	Red	Dark Red
Possible (3)	Green	Yellow	Yellow	Orange	Red
Unlikely (2)	Green	Green	Mechseal	Pump i. + Shaft	Orange
Rare (1)	Green	Green	Volute, Bearing	Coupling	Yellow

GAMBAR 3 (Risk Matrix)

B. Nilai MTTF

Menentukan distribusi yang tepat untuk data *time to failure*, penulis menggunakan *software* Minitab 17 untuk menentukan nilai *goodness of fit-test* dimana distribusi yang terpilih memiliki nilai Anderson Darling (AD) yang terkecil dan memiliki nilai *p-value* > α . Dengan hasil pengujian uji goodness of fit test

dengan menggunakan software minitab 17, diperoleh nilai AD yang terkecil pada pump impeller + shaft dan coupling secara berurutan adalah 0,159 dengan p-value 0,25 dan 0,266 dengan p-value 0,542. Maka distribusi yang terpilih untuk data time to Repair secara berurutan adalah weibull dan normal

Selanjutnya, Menentukan nilai MTTF ditentukan dengan jenis Distribusi yang terpilih pada perhitungan sebelumnya. Berikut perhitungan dari nilai MTTF dengan distribusi masing-masing pada subsistem kritis mesin bingham lean benfield J1107-C.

TABEL 2
(Nilai MTTF Mesin Bingham Lean Benfield)

Subsistem	Distribusi	Parameter		$\Gamma(1+1/\beta)$	MTTF (jam)
Pump Impeller + Shaft	Weibull	η	2955,22	1,22618	3623,63166
		β	0,722504		
Coupling	Normal	μ	5014,33	-	5014,33

C. Nilai MTTR

Menentukan distribusi yang tepat untuk data time to repair, penulis menggunakan software Minitab 17 untuk menentukan nilai goodness of fit-test dimana distribusi yang terpilih memiliki nilai Anderson Darling (AD) yang terkecil dan memiliki nilai p-value > α . Dengan hasil pengujian uji goodness of fit test dengan menggunakan software minitab 17, diperoleh

nilai AD yang terkecil pada pump impeller + shaft dan coupling secara berurutan adalah,467 dengan p-value 0,231 dan 0,387 dengan p-value 0,25. Maka distribusi yang terpilih untuk data time to Repair secara berurutan adalah weibull dan weibull. Berikut perhitungan dari nilai MTTF dengan distribusi Weibull pada subsistem kritis mesin bingham lean benfield J1107-C.

TABEL 3
(Nilai MTTR Mesin Bingham Lean Benfield)

Subsistem	Distribusi	Parameter		$\Gamma(1+1/\beta)$	MTTR (jam)
Pump Impeller + Shaft	Weibull	η	5,13969	0,9033	4,642681977
		β	1,29197		
Coupling	Weibull	η	2,04856	0,89352	1,830429331
		β	1,67005		

D. Nilai MDT

Menentukan distribusi yang tepat untuk data downtime, penulis menggunakan software Minitab 17 untuk menentukan nilai goodness of fit-test dimana distribusi yang terpilih memiliki nilai Anderson Darling (AD) yang terkecil dan memiliki nilai p-value > α . Dengan hasil pengujian uji goodness of fit test dengan menggunakan software minitab 17, diperoleh nilai AD yang terkecil pada pump impeller + shaft dan

coupling secara berurutan adalah 0,464 dengan p-value 0,233 dan 0,544 dengan p-value 0,102. Maka distribusi yang terpilih untuk data downtime secara berurutan adalah weibull dan normal. Berikut perhitungan dari nilai MDT dengan distribusi masing - masing pada subsistem kritis mesin bingham lean benfield J1107-C.

TABEL 4
(Nilai MDT Mesin Bingham Lean Benfield)

Subsistem	Distribusi	Parameter		$\Gamma(1+1/\beta)$	MTTR (jam)
Pump Impeller + Shaft	Weibull	η	30,746	0,9033	27,7728618
		β	1,49396		
Coupling	Normal	μ	37,4285	-	37,4285

E. Perhitungan Reliability dengan Analytical Approach

Keandalan dapat diartikan sebagai peluang suatu mesin atau sistem dapat menjalankan fungsinya berdasarkan dengan waktu kurun tertentu dan kondisi

tertentu (Nasution, 2006). Tujuan keandalan secara umum, ialah suatu mesin atau sistem dapat menjalankan fungsinya dan dapat diandalkan, dimana suatu sistem atau mesin tidak akan mengalami kegagalan pada periode waktu kurun tertentu. Selang waktu yang digunakan adalah 24 jam sesuai dengan

mesin beroperasi sehari-hari sampai 480 jam sesuai dengan 20 hari waktu kerja operasional mesin bingham lean benfield beroperasi.. Berikut perhitungan reliability sesuai dengan distribusi subsistem masing-masing.

TABEL 5
(Reliability System)

Reliability			
t(jam)	Pump Impeller + Shaft	coupling	System
24	96,96%	76,29%	73,97%
48	95,03%	76,18%	72,39%
72	93,40%	76,06%	71,04%
96	91,94%	75,94%	69,81%
120	90,59%	75,82%	68,69%
144	89,34%	75,70%	67,63%
168	88,16%	75,58%	66,64%
192	87,05%	75,46%	65,69%
216	85,98%	75,34%	64,78%
240	84,96%	75,23%	63,91%
264	83,98%	75,11%	63,07%
288	83,03%	74,99%	62,26%
312	82,12%	74,87%	61,48%
336	81,23%	74,75%	60,72%
360	80,37%	74,63%	59,99%
384	79,54%	74,51%	59,27%
408	78,73%	74,40%	58,57%
480	76,42%	74,04%	56,58%

Dilihat pada tabel, mesin bingham lean benfield, ketika t mencapai waktu 480 jam maka nilai reliabilitas system sebesar 56,58%.

F. Perhitungan Availability dengan Analytical Approach

Ketersediaan (*Availability*) dapat diartikan sebagai probabilitas suatu sistem beroperasi sesuai fungsinya dalam waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah ditetapkan. Perhitungan ini, dibagi ke dalam dua

bagian yaitu, inherent availability, dan operational availability.

1. Inherent availability

Inherent availability merupakan ukuran kesiapan dalam sistem saat dievaluasi dalam kondisi lingkungan yang ideal. *Inherent availability* hanya menilai tentang hal-hal ke dalam sistem adalah *active repair time* (MTTR) dan waktu antar kegagalan (MTTF). Perhitungan *inherent availability* pada mesin bingham lean benfield bisa dilihat pada tabel 6.

TABEL 6
(Perhitungan Inherent Availability System)

Subsistem Kritis	MTTF	MTTR	Inherent Availability
Pump Impeller + Shaft	3623,6317	4,642681977	99,87%
Coupling	5014,3300	1,830429331	99,96%
Inherent Availability System			99,84%

Nilai *inherent Availability system* dari mesin bingham lean benfield J1107-C memiliki nilai 99,84%. Menurut

standar IVARA, untuk nilai minimum inherent availability sebesar 95%, maka nilai *inherent*

availability dari mesin bingham lean benfield adalah baik, karena diatas 95%.

2. Operational availability

Operational Availability merupakan ukuran availability sistem yang mempertimbangkan seluruh

jenis downtime, seperti delay, corrective dan preventive maintenance. Pada PT Pupuk Kujang, menetapkan bahwa jam kerja operasional dari Januari 2017 sampai Desember 2021 sebesar 36000 jam. Perhitungan operational availability pada mesin bingham lean benfield bisa dilihat pada tabel 7.

TABEL 7
(Perhitungan Operational Time System)

Subsistem Kritis	Operational Time	DT	operational Availability
Pump Impeller + Shaft	36000	27,7728618	99,923%
Coupling	36000	37,4285	99,896%
Operational Availability System			99,819%

Nilai *operational Availability system* dari mesin bingham lean benfield J1107-C memiliki nilai 99,819%. Menurut standar IVARA, untuk nilai minimum inherent availability sebesar 95%, maka nilai *operational availability* dari mesin bingham lean benfield adalah baik, karena diatas 95%.

Maintainability adalah peluang suatu sistem yang rusak untuk dikembalikan pada kondisi optimum dalam suatu periode waktu yang telah ditentukan dan dengan prosedur maintenance tertentu. Salah satu parameter maintainability adalah Mean Time to Repair (MTTR). Pada penelitian kali ini jangka waktu yang digunakan adalah 25 jam untuk melihat kedua dari subsistem kritis mencapai nilai 100%. Perhitungan maintainability pada mesin bingham lean benfield bisa dilihat pada tabel 7.

G. Perhitungan Maintainability dengan Analytical Approach

Tabel 8 Perhitungan Maintainability System

Maintainability			Maintainability		
t (jam)	Pump Impeller + Shaft	Coupling	t (jam)	Pump Impeller + Shaft	Coupling
1	19%	42%	14	95%	100%
2	35%	66%	15	96%	100%
3	48%	81%	16	97%	100%
4	58%	89%	17	97%	100%
5	66%	93%	18	98%	100%
6	73%	96%	19	98%	100%
7	78%	98%	20	99%	100%
8	82%	99%	21	99%	100%
9	86%	99%	22	99%	100%
10	88%	100%	23	99%	100%
11	91%	100%	24	99%	100%
12	92%	100%	25	100%	100%
13	94%	100%			

5. Perhitungan Safety Integrity Level

Perhitungan untuk mengetahui nilai dari safety integrity level, dengan melalui beberapa tahapan. Dibutuhkan perhitungan seperti PFD, failure rate, RRF, dan SIL pada subsistem kritis. Pada tabel IV.22 menunjukkan nilai SIL masing-masing subsistem

kritis, dimana T_i yang dipakai adalah 24 jam atau satu hari jam kerja dan 144 jam atau satu minggu jam kerja pada PT Pupuk Kujang. Sebelum melakukan perhitungan nilai SIL, perlu menghitung terlebih dahulu nilai λ , probability failure on deman (PFD), dan Risk reduction factor (RRF) dari masing-masing

subsistem kritis. Perhitungan dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut dan hasil dapat dilihat pada tabel 8 sebagai berikut.

TABEL 9
(Perhitungan Safety Integrity Level)

Komponen	t (Hours)	λ	PFD	RRF	SIL
Pump Impeller + Shaft	24	0,000276	0,003	301,969	SIL 2
	144	0,000276	0,020	50,328	SIL 1
Coupling	24	0,00019943	0,002	417,848	SIL 2
	144	0,00019943	0,014	69,641	SIL 1

Pada tabel terdapat nilai laju kerusakan terkecil pada coupling sebesar 0,00019943. Sehingga memiliki nilai PFD yang kecil dan RRF yang besar. Hal ini menunjukkan semakin kecil nilai λ maka semakin tinggi tingkat keamanan pada sebuah sistem atau subsistem (Lundteigen et al., 2009).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, berikut merupakan kesimpulan yang menjawab perumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya.

A. Kesimpulan Perhitungan RAM Analisis

1. Nilai reliability system dengan menggunakan metode RAM pada $t = 480$ jam adalah 76,42% untuk pump impeller + shaft, 74,04% untuk coupling, dan pada reliability system adalah 56,58%.
2. Berdasarkan hasil perhitungan maintainability diperlukan waktu minimal 25 jam untuk pump impeller + shaft dan 10 jam untuk coupling, agar mendapatkan nilai maintainability 100%.
3. Perhitungan nilai inherent availability pada mesin bigham lean benfield pump impeller + shaft dengan nilai 99,87% dan coupling dengan nilai 99,6%. Inherent availability system 98,4 %, berdasarkan perhitungan availability analytical approach. Perhitungan nilai operational availability pada mesin bigham lean benfield pump impeller + shaft dengan nilai 99,923% dan coupling dengan nilai 99,896%. Operational availability system 99,819 %, berdasarkan perhitungan availability analytical approach.

B. Nilai tingkat keamanan pada subsistem kritis mesin bingham lean benfield pada interval waktu 24 jam atau satu hari jam kerja dan 144 jam atau satu minggu jam kerja, pada setiap komponen subsistem kritis pada waktu 24 jam memiliki nilai pada range SIL 2 dan pada waktu 144 jam memiliki nilai pada range SIL 1 masih pada standar safety IEC 65108.

C. Berdasarkan pada evaluasi yang telah dilakukan dengan world class maintenance key performance indicator, terdapat dua aspek yang menjadi tolak ukur pengukuran yaitu leading indicator dan lagging indicator pada inherent maupun operational availability sebesar 95% dan keduanya memiliki nilai diatas 95%.

REFERENSI

1. Barringer, H., & Weber, D. (1996). Life Cycle Cost Tutorial. *Fifth International Conference on Process Plant Reliability*.

2. Sinisuka, N. I., & Nugraha, H. (2013). Life cycle cost analysis on the operation of power generation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(1), 5–24. <https://doi.org/10.1108/13552511311304447>
3. Ebeling, C. E. (2000). *An Introduction to reliability an Maintainability Engineering.pdf*.
4. Lundteigen, M. A., Rausand, M., & Utne, I. B. (2009). Integrating RAMS engineering and management with the safety life cycle of IEC 61508. *Reliability Engineering and System Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.res.2009.06.005>

