

PENILAIAN KINERJA BERBASIS *RELIABILITY* PADA *CONTINUOUS CASTING MACHINE 3* (CCM 3) PT KRAKATAU STEEL (Persero) Tbk MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY* *AVAILABILITY MAINTAINABILITY* DAN *COST OF UNRELIABILITY*

¹Ika Praesita, ²Judi Alhilman, ³Nopendri

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Telkom University
¹ika.praesita@gmail.com, ²judi.alhilman@gmail.com, ³nopendri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Industri baja merupakan industri strategis yang digunakan sebagai bahan baku penting bagi industri-industri secara keseluruhan, baik untuk infrastruktur, produksi barang modal, alat transportasi, otomotif, hingga persenjataan. World Steel Association mencatat, konsumsi baja per kapita pada tahun 2014, Indonesia mencapai 62,2 kg/kapita, namun angka tersebut masih tergolong rendah. Pemerintah Indonesia saat ini sadar akan hal tersebut dan merencanakan akan meningkatkan konsumsi baja nasional. Salah satu cara dalam mengurangi kerugian yang terjadi adalah dengan meningkatkan RAM (*Reliability Availability Maintainability*) dari mesin CCM 3. Dalam perhitungan RAM digunakan pemodelan RBD (*Reliability Block Diagram*) untuk mempermudah pemahaman terhadap sistem. Biaya yang dihasilkan dari masalah RAM dapat diketahui dengan menggunakan metode COUR (*Cost of Unreliability*). Hasil pengolahan data menggunakan RAM dengan pemodelan RBD didapatkan nilai *reliability* system sebesar 28,44% pada $t = 936$ dan nilai *maintainability* mesin sebesar 100% minimal membutuhkan waktu 13 jam. Dengan nilai *inherent availability* sebesar 99,47% dan *operational availability* sebesar 99,44%. Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan dengan menggunakan kebijakan perusahaan dan *Key Performance Indicator* IVARA, indikator *availability* telah mencapai target indikator yang diberikan. Dari hasil perhitungan menggunakan RAM didapatkan nilai COUR sebesar Rp 5.031.295.257,00 berdasarkan pada *downtime* atau *corrective time*.

Kata kunci: *Reliability, Availability, Maintainability, Cost of Unreliability, Key Performance Indicator, Reliability Block Diagram*

I. PENDAHULUAN

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk merupakan perusahaan penghasil baja terpadu dan terbesar di Indonesia. Kapasitas produksi baja yang dimiliki PT Krakatau Steel (Persero) Tbk mencapai 3,15 juta ton[1]. Sebagai salah satu perusahaan besi baja terbesar di Indonesia, PT Krakatau Steel (Persero) Tbk mendapatkan banyak permintaan baik dari dalam maupun luar negeri. Oleh karena itu, perusahaan harus selalu berusaha keras untuk menjaga kredibilitas perusahaannya agar tidak terdapat komplain dari konsumen. Hal ini dilakukan di semua pabrik

yang ada di PT Krakatau Steel (Persero) Tbk salah satu pabriknya yaitu SSP (*Slab Steel Plant*). Namun, saat ini SSP sedang tidak beroperasi dikarenakan mahalnya bahan baku yang hampir sama dengan biaya *import* baja *slab*. Kondisi tersebut tidak membuat aktivitas di SSP menjadi berhenti, seperti kegiatan *preventive maintenance* yang dilakukan agar mesin selalu berada pada kondisi baik. Mesin-mesin yang digunakan pada proses produksi dalam SSP ini hampir semua sudah pernah dilakukan *revitalization* atau *upgrade*. Berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu pekerja di SSP, terdapat satu mesin yang belum pernah dilakukan *revitalization* atau *upgrade* yaitu mesin CCM 3 (*Continuous Casting Machine 3*).

Angka *downtime* yang terjadi pada mesin CCM 3 meningkat setiap tahunnya dan mencapai angka tertinggi pada tahun 2013 sebesar 189,47 jam, yang berarti sebagian besar proses produksi di mesin CCM 3 tidak berjalan sesuai rencana dan tentunya menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Angka *downtime* yang terjadi diakibatkan oleh subsistem yang tidak bekerja dengan seharusnya. Hal ini dikarenakan belum adanya *maintenance* yang efektif untuk menanggulangi masalah tersebut. Apabila terjadi gangguan pada mesin CCM 3 seluruh proses harus berhenti, hal tersebut menyebabkan kerugian terutama dalam hal *revenue* yang akan didapat oleh perusahaan[2]. Maka dari itu, perlu adanya perhatian khusus pada mesin CCM 3 untuk mengetahui performansi kerja dilihat dari RAM (*Reliability Availability Maintainability*) dan COUR (*Cost of Unreliability*) untuk mengetahui seberapa besar biaya yang dikeluarkan akibat masalah RAM.

II. STUDI LITERATUR

A. RAM

RAM merupakan sebuah metode yang digunakan untuk memprediksi kinerja *reliability*, *availability* dan *maintainability* suatu sistem dan sebagai alat untuk

memberikan dasar untuk optimasi dari sistem. Umumnya pada sistem yang kompleks, sistem tersebut dibagi menjadi beberapa subsistem, sehingga dapat diperiksa lebih detail dan dapat diberikan perubahan-perubahan lebih rinci untuk mengoptimalkan kinerja dari keseluruhan sistem. Selain itu, RAM dapat digunakan untuk mengidentifikasi subsistem yang kritis dan sensitif dalam sistem produksi, yang dapat memberikan efek besar pada kinerja sistem.

Metode RAM membutuhkan pemahaman mendalam akan cara sistem bekerja, untuk mengetahui secara detail bagian yang akan menyebabkan kerusakan, ataupun bagian yang harus diperbaiki. Maka dari itu diperlukan sebuah model yang dapat merepresentasikan bagaimana sistem yang sedang diteliti bekerja. Pemodelan RBD (*Reliability Block Diagram*) dapat digunakan untuk memodelkan sistem yang sedang diteliti[3].

1. Reliability

Reliability merupakan probabilitas suatu sistem dapat berjalan tanpa adanya kegagalan dalam periode waktu tertentu saat kondisi sistem sedang beroperasi[4]. Nilai *reliability* suatu komponen maupun sistem biasanya dinyatakan dalam bentuk probabilitas atau peluang, dengan nilai *R (Reliability)* antara 0 – 1. Keandalan dari sebuah komponen dapat menurun sesuai dengan bertambahnya waktu[5].

a. Distribusi eksponensial

$$R(T) = e^{-\lambda T} \quad (1)$$

b. Distribusi normal

$$R(T) = \int_T^{\infty} \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{T-\bar{T}}{\sigma_T} \right)^2} \quad (2)$$

c. Distribusi weibull

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3)$$

2. Availability

Availability adalah *Reliability* merupakan probabilitas suatu sistem dapat berjalan tanpa adanya kegagalan dalam periode waktu tertentu saat kondisi sistem sedang beroperasi [6]. *Availability* merupakan fungsi dari suatu siklus waktu operasi dan waktu *downtime* dan merupakan ukuran keberhasilan suatu sistem untuk melaksanakan misi operasi tertentu saat waktu pemanggilan sistem tidak ditentukan.

a. Inherent availability

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (4)$$

b. Operational availability

$$A_o = \frac{uptime}{siklus operasi} \quad (5)$$

Indikator dalam pengukuran kinerja dibagi menjadi dua bagian, yaitu *Leading Indicator* dan *Lagging Indicator*. *Leading Indicator* sebagai indikator kinerja *availability* yang telah direncanakan sebelumnya (*scheduled maintenance*) dan *lagging Indicator* sebagai cara

perhitungan nilai *availability* sistem eksisting dari data kerusakan masa lalu[7].

3. Maintainability

Maintainability merupakan probabilitas suatu sistem atau komponen yang rusak dikembalikan ke fungsi awal dalam periode waktu yang telah disepakati dan dilakukan dengan prosedur perawatan tertentu[8].

$$M(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{MTTR}\right) \quad (6)$$

B. COUR

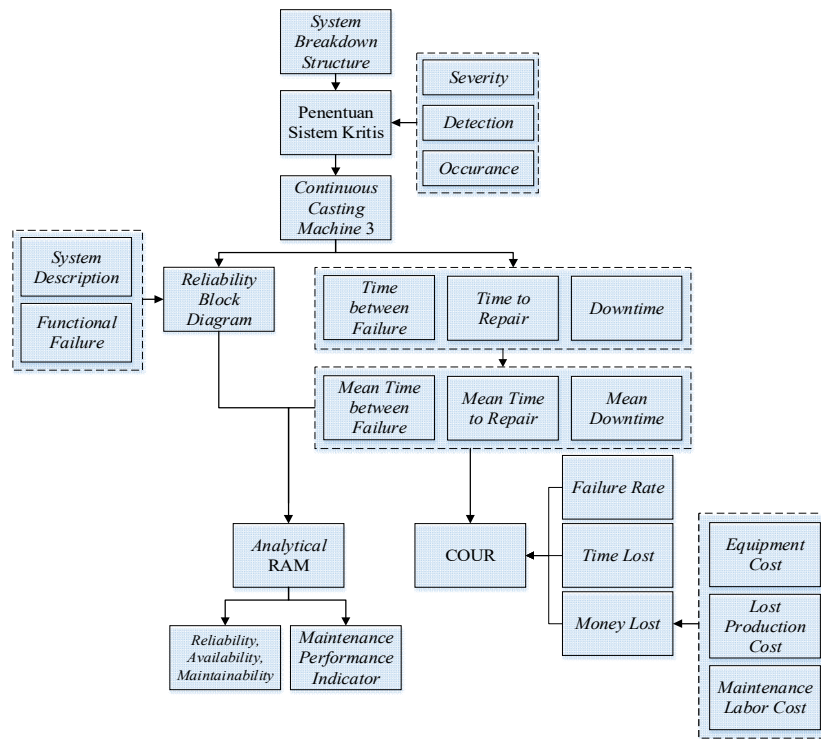
COUR merupakan seluruh biaya yang dihasilkan dari seluruh situasi yang berhubungan dengan masalah kegagalan, termasuk biaya yang berhubungan dengan program perawatan yang buruk[9]. Untuk mendapatkan COUR, maka sebaiknya memulai dengan gambaran besar dan membantu program peningkatan biaya langsung, yaitu dengan mengidentifikasi sumber masalah biaya, level masalah dan masalah apa saja yang muncul. COUR mempelajari fasilitas produksi sebagai suatu jaringan untuk sistem keandalan, dan biaya yang terjadi saat sistem gagal untuk melakukan pekerjaannya [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Konsep dalam penelitian ini diawali dengan melakukan penentuan distribusi pada data kerusakan yang di dalamnya terdapat *time to repair*, *downtime* dan *time between failure*. Penentuan distribusi dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 17. Setelah didapatkan distribusi yang paling baik, dapat dilakukan *plotting* data untuk menentukan parameter distribusi terpilih, yang dilakukan dengan menggunakan *software* AvSim+ 9.0. Hasil yang didapatkan dari uji tersebut adalah nilai MTBF, MDT, dan MTTR yang akan digunakan dalam perhitungan RAM dan COUR.

Perhitungan nilai dari *reliability*, *availability*, *maintainability* secara *analytical* dapat dilakukan dengan menggunakan nilai parameter distribusi dari setiap subsistem dan pemodelan RBD yang digunakan dalam memodelkan subsistem sistem CCM 3 agar mempermudah perhitungan dari RAM sistem. MTBF dari unit digunakan untuk menentukan *reliability* mesin, dan MTTR digunakan untuk menentukan *maintainability* mesin. Nilai *availability* dilakukan dengan menggunakan dua perhitungan, yaitu *inherent availability* dan *operational availability*. Data yang telah didapat sebelumnya dapat dibandingkan dengan menggunakan nilai *availability* kebijakan perusahaan dan *key performance indicator* IVARA.

Kerugian yang ditimbulkan dari masalah RAM dapat dilihat dari sudut pandang bisnis, untuk mengetahui dengan pasti nilai dari seluruh peluang. Nilai tersebut didapatkan dari biaya-biaya yang dihasilkan dari situasi-situasi kegagalan yang muncul. Untuk mengetahui seberapa besar sebenarnya seluruh biaya yang dihasilkan, yaitu dengan menggunakan metode COUR. Dengan menggunakan COUR, selain sebagai untuk melihat besarnya biaya yang dikeluarkan karena masalah RAM, tetapi juga menjadi parameter untuk melihat perubahan yang ditimbulkan oleh usulan peningkatan RAM.



Gambar 1 Metodologi penelitian

Perhitungan COUR dibagi menjadi tiga, yaitu *failure rate*, *time lost*, dan *money lost*. Data yang dibutuhkan dalam perhitungan COUR adalah *equipment cost*, *lost production cost*, dan *maintenance labor cost*. Keseluruhan konsep yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Semakin kecil nilai AD maka distribusi tersebut semakin mewakili distribusi terhadap penyebaran data tersebut. Nilai *P-Value* digunakan untuk mengetahui suatu hipotesis ditolak atau diterima dengan ketentuan H_0 ditolak jika $P-Value < \alpha$. Setelah penentuan distribusi, maka dilakukan *plotting* distribusi untuk menentukan nilai parameter. Tabel I dan Tabel II menunjukkan distribusi terpilih dan nilai parameter dari setiap subsistem.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Penentuan distribusi terpilih dan *plotting* distribusi

Data kerusakan yang digunakan pada penelitian ini adalah data kerusakan Januari 2011 – Desember 2013. Penentuan distribusi pada data *Time to Failure*, *Downtime*, dan *Time to Repair* dilakukan dengan menggunakan uji Anderson-Darling (AD).

TABEL I
DISTRIBUSI TERPILIH DAN PARAMETER *TIME TO FAILURE*

Subsistem	Distribusi Terpilih	Parameter	
		η	β
Ladle Turret	Weibull	2366,32	4,43715
Tundish Car	Weibull	4278,78	9,79755
Mould	Weibull	996,902	5,30505
Segment	Weibull	1179,7	7,00783
TCM	Weibull	1089,82	7,33381

TABEL II
DISTRIBUSI TERPILIH DAN PARAMETER *DOWNTIME*

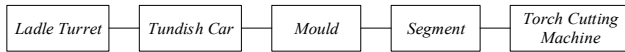
Subsistem	Distribusi Terpilih	Parameter	
		η	β
Ladle Turret	Weibull	1,47078	3,03943
Tundish Car	Weibull	1,96212	2,39291
Mould	Weibull	1,67772	3,47518
Segment	Weibull	1,6866	2,98575
TCM	Weibull	1,40197	3,18123

TABEL III
DISTRIBUSI TERPILIH DAN PARAMETER *TIME TO REPAIR*

Subsistem	Distribusi Terpilih	Parameter	
		η	β
Ladle Turret	Weibull	1,47078	3,03943
Tundish Car	Weibull	1,96212	2,39291
Mould	Weibull	1,67772	3,47518
Segment	Weibull	1,6866	2,98575
TCM	Weibull	1,40197	3,18123

B. Perhitungan *reliability*

Perhitungan *reliability* yang dilakukan pada sistem CCM 3 menggunakan data permodelan RBD agar dapat melihat hubungan antar subsistem. Pemodelan RBD dari mesin CCM 3 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 RBD sistem CCM 3

Waktu yang digunakan pada perhitungan *reliability* antara 24 – 936 jam dengan interval 24 jam dan didapatkan hasil *reliability system* pada t = 936 jam sebesar 28,44%. Hasil perhitungan *reliability* dapat dilihat pada Tabel IV dan hasil dari *reliability system* dapat dilihat pada Tabel V.

TABEL IV
PERHITUNGAN *RELIABILITY*

t	Ladle Turret	Tundish Car	Mould	Segment	TCM	Reliability System
24	100%	100%	100%	100%	100%	100%
48	100%	100%	100%	100%	100%	100%
72	100%	100%	100%	100%	100%	100%
96	100%	100%	100%	100%	100%	100%
120	100%	100%	100%	100%	100%	100%
144	100%	100%	100%	100%	100%	100%
168	100%	100%	99,99%	100%	100%	99,99%

TABEL V
RELIABILITY SYSTEM

t	Reliability System	t	Reliability System	t	Reliability System
24	100%	336	99,64%	648	86,76%
48	100%	360	99,47%	672	83,91%
72	100%	384	99,25%	696	80,64%
96	100%	408	98,96%	720	76,93%
120	100%	432	98,57%	744	72,76%
144	100%	456	98,08%	768	68,14%
168	99,99%	480	97,45%	792	63,11%
192	99,98%	504	96,66%	816	57,70%
216	99,97%	528	95,68%	840	52,00%
240	99,94%	552	94,49%	864	46,09%
264	99,90%	576	93,03%	888	40,11%
288	99,84%	600	91,28%	912	34,18%
312	99,76%	624	89,20%	936	28,44%

C. Perhitungan *maintainability*

Perhitungan *maintainability* dilakukan dengan menggunakan data *Time to Repair* dan didapatkan *maintainability* dari setiap subsistem pada sistem CCM 3. Waktu yang digunakan pada perhitungan *maintainability* antara 1 – 13 jam dengan interval satu jam. Hasil perhitungan *maintainability* sistem CCM 3 dapat dilihat pada Tabel VI dan Tabel VII.

TABEL VI
PERHITUNGAN *MAINTAINABILITY*

t	Ladle Turret	Tundish Car	Mould	Segment	TCM
1	53,28%	43,73%	48,45%	48,53%	54,91%
2	78,17%	68,33%	73,43%	73,50%	79,67%
3	89,80%	82,18%	86,30%	86,36%	90,84%
4	95,23%	89,97%	92,94%	92,98%	95,87%
5	97,77%	94,36%	96,36%	96,39%	98,14%
6	98,96%	96,82%	98,12%	98,14%	99,16%
7	99,51%	98,21%	99,03%	99,04%	99,62%
8	99,77%	98,99%	99,50%	99,51%	99,83%
9	99,89%	99,43%	99,74%	99,75%	99,92%
10	99,95%	99,68%	99,87%	99,87%	99,97%
11	99,98%	99,82%	99,93%	99,93%	99,98%
12	99,99%	99,90%	99,96%	99,97%	99,99%
13	99,99%	99,94%	99,98%	99,98%	100%

D. Perhitungan *availability*

Perhitungan *availability* yang dilakukan pada sistem CCM 3 menggunakan data pemodelan RBD agar dapat melihat hubungan antar subsistem. Perhitungan *availability* dibagi menjadi dua, yaitu *inherent availability* dan *operational availability*.

1. Perhitungan *inherent availability*

Perhitungan *inherent availability* menggunakan data *Time to Repair* dan *Time to Failure* dengan menggunakan pemodelan RBD. Perhitungan *inherent availability* dari setiap subsistem pada sistem CCM 3 dapat dilihat pada Tabel VIII.

TABEL VII
INHERENT AVAILABILITY

Ladle Turret	Tundish Car	Mould	Segment	TCM	Availability System
99,94%	99,96%	99,84%	99,86%	99,88%	99,47%

2. Perhitungan *operational availability*

Perhitungan *operational availability* menggunakan data *operational time* dan *downtime* dengan menggunakan pemodelan RBD. Perhitungan *operational availability* dari setiap subsistem pada sistem CCM 3 dapat dilihat pada Tabel IX.

TABEL VIII
OPERATIONAL AVAILABILITY

Ladle Turret	Tundish Car	Mould	Segment	TCM	Availability System
99,93%	99,95%	99,83%	99,86%	99,87%	99,44%

Berdasarkan target perusahaan nilai *availability* minimal sebesar 85% dan target berdasarkan *key performance indicator* IVARA minimal sebesar 95%, dapat dikatakan bahwa *inherent availability* sebagai *leading indicator* dan *operational availability* sebagai *lagging indicator* sudah mencapai target perusahaan dan *key performance indicator* IVARA. Hal ini dapat ditunjukkan dengan nilai dari semua subsistem yang mencapai target.

E. Perhitungan COUR

Perhitungan COUR dilakukan dalam tiga tahap perhitungan, yaitu *failure rate*, *time lost*, dan *money lost* [11].

1. Perhitungan *failure rate*

Tahap pertama dalam perhitungan COUR adalah menentukan nilai *failure rate* dari masing-masing subsistem pada sistem CCM 3. Berdasarkan perhitungan *failure rate* yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar *number of failure*, maka akan semakin besar juga nilai *failure rate*, begitu pula sebaliknya.

TABEL IX
PERHITUNGAN FAILURE RATE

	Ladle Turret	Tundish Car	Mould	Segment	TCM
Study Interval	25200	25200	25200	25200	25200
Number of Failures	13	7	29	24	26
MTBF (jam)	2157,68	4067,07	918,45	1103,60	1021,90
Failure Rate	0,046%	0,0246%	0,1089%	0,0906%	0,0979%

2. Perhitungan *time lost*

Tahap kedua dalam perhitungan COUR adalah mencari nilai *time lost* dari seluruh kegagalan yang terjadi selama observasi dilakukan. *Time lost* digunakan untuk mengidentifikasi masalah yang terjadi yang menyebabkan hilangnya waktu operasional produksi. *Time lost* dihitung dari dua data waktu yaitu berdasarkan *time lost corrective time* dan *time lost downtime*. Namun, pada penelitian ini data waktu yang dimiliki adalah *downtime* dan data *time to repair* yang diasumsikan sama dengan *downtime*.

TABEL X
PERHITUNGAN CORRECTIVE TIME LOST

	Ladle Turret	Tundish Slide	Mould	Segment	TCM
Failure Rate	0,05%	0,02%	0,11%	0,09%	0,10%
Number of Failures	13	7	29	24	26
Corrective Time/Failure (MTTR)	1,31	1,74	1,51	1,51	1,26
Corrective Lost Time Hours/3 years	17,08	12,18	43,76	36,14	32,64

TABEL XI
PERHITUNGAN DOWNTIME LOST TIME

	Ladle Turret	Tundish Slide	Mould	Segment	TCM
Failure Rate	0,05%	0,02%	0,11%	0,09%	0,10%
Number of Failures	13	7	29	24	26
DT/Failure	1,31	1,74	1,51	1,51	1,26
DT Hours/3 years	17,08	12,18	43,76	36,14	32,64

3. Perhitungan *money lost*

Tahap ketiga dalam perhitungan COUR adalah mencari nilai *money lost*. Perhitungan *money lost* digunakan untuk membantu mengidentifikasi masalah biaya.

TABEL XII
MONEY LOST BERDASARKAN CORRECTIVE TIME

	Ladle Turret	Tundish Car	Mould
Corrective Lost Time (Hrs/3 Years)	17,08381966	12,17503142	43,75972693
Lost Production Cost	Rp 597.933.688	Rp 426.126.099	Rp 1.531.590.442
Equipment / Sparepart Cost	Rp 2.318.842	Rp 2.225.897	Rp 5.496.767,
Labor Maintenance Cost	Rp 1.245.752	Rp 887.803	Rp 3.190.959
Corrective COUR	Rp 601.498.283	Rp 429.239.800	Rp 1.540.278.169

TABEL XIII
MONEY LOST BERDASARKAN CORRECTIVE TIME (LANJUTAN)

	Segment	TCM
Corrective Lost Time (Hrs/3 Years)	36,13884014	32,63839555
Lost Production Cost	Rp 1.264.859.405	Rp 1.142.343.844
Equipment / Sparepart Cost	Rp 4.649.861	Rp 3.669.408
Labor Maintenance Cost	Rp 2.635.244	Rp 2.379.991
Corrective COUR	Rp 1.272.144.510	Rp 1.148.393.244

TABEL XIV
MONEY LOST BERDASARKAN DOWNTIME

	Ladle Turret	Tundish Car	Mould
Downtime Lost Time (Hrs/3 Years)	17,08381966	12,17503142	43,75972693
Lost Production Cost	Rp 597.933.688	Rp 426.126.099	Rp 1.531.590.442
Equipment / Sparepart Cost	Rp 2.318.842	Rp 2.225.897	Rp 5.496.767,
Labor Maintenance Cost	Rp 1.245.752	Rp 887.803	Rp 3.190.959
Downtime COUR	Rp 601.498.283	Rp 429.239.800	Rp 1.540.278.169

TABEL XV
MONEY LOST BERDASARKAN DOWNTIME (LANJUTAN)

	Segment	TCM
Downtime Lost Time (Hrs/3 Years)	36,13884014	32,63839555
Lost Production Cost	Rp 1.264.859.405	Rp 1.142.343.844
Equipment / Sparepart Cost	Rp 4.649.861	Rp 3.669.408
Labor Maintenance Cost	Rp 2.635.244	Rp 2.379.991
Downtime COUR	Rp 1.272.144.510	Rp 1.148.393.244

V. KESIMPULAN

Perhitungan RAM dengan menggunakan pemodelan RBD agar dapat melihat hubungan antar subsistem. Berdasarkan perhitungan *reliability* 24 – 936 jam dengan interval 24 jam dan didapatkan hasil *reliability system* pada t = 936 jam sebesar 28,44%. Waktu minimal subsistem mencapai kondisi awal dengan nilai *maintainability* sebesar 100% adalah 13 jam. Nilai *inherent availability* sistem CCM 3 sebesar 99,47% dan nilai *operational availability* sistem CCM 3 sebesar 99,44%. Berdasarkan target perusahaan dan *key performance indicator* IVARA, nilai *availability* tersebut sudah mencapai target. Biaya yang dihasilkan oleh masalah RAM sebesar Rp 5.031.295.257,00 berdasarkan pada *downtime* atau *corrective time*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemenperin, “Industri Baja Bangkit Tahun Ini,” 2016. [Online]. Available: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/15400/Industri-Baja-Bangkit-Tahun-Ini>.
- [2] Kirana, U., Alhilman, J., & Sutrisno, S. (2016). Perencanaan Kebijakan Perawatan Mesin Corazza FF100 Pada Line 3 PT XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 3(01), 47-53.
- [3] F. Arina, P. Ferro, and A. Hamid, “Penentuan Keandalan Dengan Menggunakan Reliability Block Diagram (RBD) yang Berkonfigurasi Redundant Pada Mesin Boiler di PT . X.”. Seminar Nasional IENACO, pp. 1–7, 2013.
- [4] B. Syam, S. Sinullingga, and I. Isranuri, “Analisis Reliability Dan Availability Mesin Pabrik Kelapa Sawit Pt . Perkebunan Nusantara 3,” *Dinamis*, vol. II, no. 6, pp. 6–22, 2010.
- [5] Dhamayanti, D., Alhilman, J., & Athari, N. (2016). Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Komori LS440 Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II dan Risk Based Maintenance (RBM) di PT ABC. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 3(02), 31-37.
- [6] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press Inc, 1997.
- [7] A. Weber and R. Thomas, “Key Performance Indicators - Measuring and Managing the Maintenance,” *IVARA Work Smart*, 2005.

- [8] C. Ebeling, *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*. The McGraw-Hill Companies, 1997.
- [9] F. Vicente, “Assesing the Cost of Unreliability in Gas Plant to Have a Sustainable Operation,” *IEEE*, 2012.
- [10] M. Bradley and R. Dawson, “The cost of unreliability : a case study,” *Quality*, vol. 4, no. 3, pp. 212–218, 1998.
- [11] H. P. Barringer, “Cost Of Unreliability,” *Barringer Assoc. Inc.*, 2008.