

**OPTIMALISASI UMUR MESIN DAN JUMLAH MAINTENANCE SET CREW
DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE COST (LCC) DAN
RELIABILITY AVAILABILITY MAINTAINABILITY ANALYSIS (RAM) PADA
WATER SYSTEM HOT STRIP MILL DI PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) Tbk**

**OPTIMIZATION OF RETIREMENT AGE OF MACHINE AND NUMBER OF
MAINTENANCE SET CREW USING LIFE CYCLE COST (LCC) AND RELIABILITY
AVAILABILITY MAINTAINABILITY ANALYSIS (RAM) ON WATER SYSTEM HOT
STRIP MILL IN PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK**

¹Ilham Nur Hakim, ²Judi Alhilman, ³Nopendri

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹Ilhamhakim69@gmail.com, ²judi.alhilman@gmail.com, ³nopendri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak-Kebutuhan baja kasar (*crude steel*) tercatat terus meningkat, yaitu dari 7,4 juta ton pada 2009 menjadi 12,7 juta ton pada 2014. Kebutuhan baja kasar diproyeksikan akan mencapai 17,5 juta ton di tahun 2019. PT Krakatau Steel adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan mempunyai kapasitas sebanyak 3,15 juta ton per tahun. kapasitas yang paling besar yaitu baja *Hot Rolled Coil/Plate* sebesar 1,55 juta ton per tahun yang dihasilkan di pabrik *Hot Strip Mill (HSM)*. Bisa dikatakan 49% kapasitas produksi pada PT Krakatau Steel dihasilkan oleh pabrik HSM. Untuk menjaga agar kualitas dari baja yang dihasilkan, terdapat *Water System* yang merupakan sistem pengairan pada pabrik yang digunakan untuk mengurangi *defect* pada produk akibat *scale*. Oleh karena itu, perlu adanya analisis *Reliability*, *Availability*, dan *Maintainability* (RAM) serta penentuan umur mesin optimal pada *Water System* dan jumlah *maintenance crew* yang tepat. Metode yang digunakan adalah metode *Life Cycle Cost* dan RAM. Dari hasil pengolahan data menggunakan RAM Analysis dengan menggunakan pemodelan *reliability block diagram* (RBD), sistem memiliki nilai *Reliability* 34,447% pada jam ke 168. Nilai *Inherent Availability* sebesar 99,9993% dan *Operational Availability* 99,9973223%. Berdasarkan *World Class Maintenance Key Performance Indicator* (KPI), indikator dari *Leading Availability* sudah mencapai target indikator yang diberikan. Berdasarkan hasil perhitungandidapatkan *Life Cycle Cost* terkecil adalah Rp 27.348.870.107 dengan umur optimal tujuh tahun dan jumlah *maintenance crew* berjumlah dua.

Kata Kunci: *Reliability, Availability, Maintainability, Life Cycle Cost*

Abstract-The demand of crude steel is increasing, 7.4 million tons in 2009 to 12.7 million tons in 2014. In 2019, the demand for crude steel is projected to reach 17.5 million tons. PT Krakatau Steel is a State Owned Industry (BUMN) and has a capacity of 3.15 million tons per year. The largest capacity is Hot Rolled Coil / Plate of 1.55 million tons per year produced in the factory Hot Strip Mill. It can be said that 49% of production capacity in PT Krakatau Steel produced by HSM factory. To maintain the quality of the steel produced, there is a water system which is a watering system at the plant which is used to reduce defects in products due to scale. Therefore, there is a need to analyze the reliability, availability, and maintenance (RAM) and the determination of optimum age on the water system and the optimum number of maintenance crews. The method is life cycle cost and RAM analysis. From the data processing using RAM Analysis using reliability block diagram (RBD) modeling based on analytic approach, at 168 hours, the system has reliability 34.447. Inherent Availability Value 99.9993% and Operational Availability 99.9973223%. With key performance indicators of world-class maintenance (KPI), indicators of leading availability have reached the target indicators provided. Based on the calculated result, the life cycle cost is Rp 27.348.870.107 with the optimal age is seven years and the number of maintenance crew is two.

Key Word: *Reliability, Availability, Maintainability, Life Cycle Cost*

1 Pendahuluan

Kebutuhan baja kasar (*crude steel*) tercatat terus meningkat, yaitu dari 7,4 juta ton pada 2009 menjadi 12,7 juta ton pada 2014. Kebutuhan baja kasar diproyeksikan akan mencapai 17,5 juta ton di tahun 2019. Dalam menghadapi situasi tersebut, industri baja dalam negeri harus terus berupaya meningkatkan kapasitas produksi guna membendung arus impor baja dari negara lain. PT Krakatau Steel (Persero) Tbk adalah produsen baja dengan kapasitas terbesar di seluruh Indonesia yaitu sebanyak 3,15 juta ton per tahun. Kapasitas yang paling besar yaitu baja *Hot Rolled Coil/Plate* sebesar 1,55 juta ton per tahun yang dihasilkan di pabrik HSM. Bisa dikatakan 49% kapasitas produksi pada PT Krakatau Steel (Persero) Tbk dihasilkan oleh pabrik HSM. Tiap tahunnya biaya *maintenance* per ton meningkat. Artinya biaya perawatan yang dikeluarkan pada tiap satu ton yang dihasilkan

mengikat. Hal ini mengakibatkan tingginya biaya perawatan jika kapasitas produksi ditingkatkan. Untuk menjaga agar kualitas dari baja yang dihasilkan, PT Krakatau Steel (Persero) Tbk melakukan beberapa upaya agar persentase *defect* relatif kecil. Dari tabel diatas kita bisa melihat bahwa pada tahun 2016 jumlah persentase *defect* relatif meningkat tiap bulannya. *Defect* yang sering terjadi adalah terdapatnya *scale* pada baja. Hal ini terjadi karena tidak berfungsinya *Water System* yang tidak optimal. *Water System* merupakan sistem pengairan pada pabrik yang digunakan untuk mendinginkan mesin dan menghilangkan *scale* pada baja saat proses *rolling* berlangsung. *Water System* pada dasarnya dibagi dua, yaitu *Work Roll Cooling* dan *Water Descaler*. *Work Roll Cooling* berfungsi untuk mendinginkan *roller* agar tidak terlalu panas saat proses *rolling* berlangsung. *Water Descaler* menyemprotkan air dengan tekanan tinggi pada baja agar *scale* pada baja yang muncul akibat bereaksi dengan udara dihilangkan.

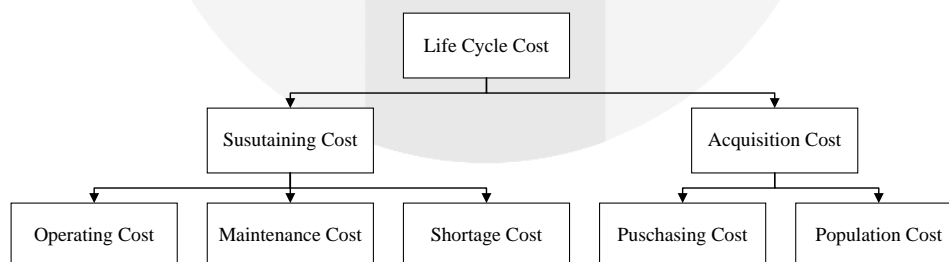
Seiring dengan penggunaan mesin secara terus menerus maka akan menyebabkan penuaan pada mesin tersebut. Hal ini dapat menyebabkan *failure rate* akan meningkat dan bertambahnya biaya *maintenance*. Untuk mengurangi biaya *maintenance*, bisa dilakukan dengan cara menentukan umur mesin yang optimal dan menentukan jumlah *maintenance set crew*. Jika mesin mengalami kerusakan maka *maintenance set crew* lah yang akan menangani kerusakan tersebut. Normalnya jika jumlah mesin yang rusak sama dengan jumlah *maintenance set crew* yang tersedia, maka kerusakan yang terjadi pada mesin akan dapat diatasi dengan segera. Akan tetapi jika jumlah *maintenance crew* lebih sedikit daripada jumlah mesinnya maka mesin tersebut akan menunggu giliran untuk diperbaiki dan akan memakan waktu *down time* yang lama. Pada tahun 2016, PT Krakatau Steel (Persero) Tbk sudah memulai pembangunan pabrik HSM II. Penambahan jumlah barik ini dimaksudkan untuk menambah jumlah kapasitas produksi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. Untuk itu baiknya dilakukan perencanaan yang baik dalam pemeliharaan aset dan investasi aset tersebut.

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada perusahaan ini, maka akan dilakukan analisis yang berkaitan dengan pendekatan biaya, salah satu metodenya adalah *Life Cycle Cost (LCC)*. Metode LCC merupakan pendekatan total biaya yang dikeluarkan dari awal sampai akhir yang mempertimbangkan beberapa biaya seperti *maintenance cost*, *operating cost*, *shortage cost*, *population cost*, dan *purchasing cost*. Dengan metode ini dapat diketahui umur optimal dari mesin serta jumlah *maintenance set crew* yang optimal. Selain dalam aspek finansial, penentuan umur mesin juga harus memperhatikan aspek dari kondisi mesin itu sendiri. Maka dari itu perlu dilihat nilai *reliability*, *availability* dan *maintainability* pada mesin. Nilai-nilai tersebut menunjukkan kondisi mesin, sehingga akan lebih banyak aspek yang diperhatikan selain aspek finansialnya. Dengan ditambahkan aspek kondisi mesin maka perlunya analisis *Reliability*, *Availability*, dan *Maintainability (RAM)* pada mesin tersebut sehingga yang dapat memberikan masukan kepada perusahaan dalam menentukan kebijakan perawatannya

2 Dasar Teori/Material dan Metodologi/Perancangan

2.1 Life Cycle Cost (LCC)

Life Cycle Cost merupakan penjumlahan perkiraan biaya dari awal hingga penyelesaian, baik peralatan maupun proyek seperti yang ditentukan oleh studi analisis dan perkiraan pengeluaran total yang dialami selama hidup [1]. Tujuan dari analisis LCC adalah untuk memilih pendekatan biaya yang paling efektif dari serangkaian alternatif sehingga *cost term ownership* (kepemilikan) yang paling pendek tercapai [2]. Pendekatan *Life Cycle Cost* menekankan pada pertimbangan *total cost* selama pengoperasian *equipment* dari pada *initial cost*. Model LCC yang dipakai adalah sebagai berikut.



Gambar 1 Model *Life Cycle Cost*

2.2 Sustaining Cost

Sustaining Cost merupakan biaya yang dikeluarkan untuk mendukung atau menunjang dari beroperasinya *equipment* tersebut. *Operating cost* merupakan biaya yang harus dikeluarkan atas beroperasinya suatu alat setiap periodenya. *Maintenance cost* merupakan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan atas *equipment* itu sendiri secara terus – menerus setiap periodenya selama siklus operasi sebuah *equipment*. Dalam perhitungannya, *maintenance cost* dipengaruhi oleh jumlah *maintenance site crew* yang disediakan dan besarnya biaya perbaikan *equipment* tersebut. *Shortage cost* merupakan biaya yang harus dikeluarkan karena terjadinya kekurangan

perangkat sebagai akibat dari kekurangan *site crew* untuk memperbaiki perangkat yang rusak dan digunakan model teori antrian [3].

2.3 Acquisition Cost

Acquisition cost merupakan biaya yang dikeluarkan atas kepemilikan *equipment*. *Purchasing cost* merupakan keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian seluruh perangkat yang diperlukan dalam suatu sistem. Untuk setiap *retirement age* yang berbeda juga mempunyai *annual purchasing cost* yang berbeda pula. Pada perhitungan *purchasing cost* harus mempertimbangkan besarnya suku bunga untuk kredit. *Population cost* merupakan biaya yang dikeluarkan setiap periode atas kepemilikan terhadap suatu alat. *Population cost* didapatkan dari *annual equivalent cost* per unit dikali jumlah populasi unit perangkatnya. *Equivalent cost* adalah selisih antara *purchasing cost* dengan *book value*.

2.4 Reliability, Availability, Maintainability (RAM) Analysis

Reliability, Availability & Maintainability (RAM) Analysis adalah sebuah metode yang digunakan untuk memprediksi kinerja (*Reliability, Availability dan Maintainability*) suatu sistem atau *equipment* dan sebagai alat untuk memberikan dasar untuk optimasi dari sistem atau *equipment* tersebut [4].

2.5 Reliability

Reliability merupakan probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menjalankan fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi [5]. Keandalan dari sebuah komponen dapat menurun sesuai dengan bertambahnya waktu [6].

2.6 Reliability Block Diagram

Reliability Block Diagram (RBD) dapat digunakan untuk memodelkan sistem yang sedang diteliti, karena RBD dapat merepresentasikan sebuah sistem sebagai sebuah jaringan dari komponen-komponen atau subsistem-subsistem, mengidentifikasi dalam kontinuitas operasi, dan kontribusi serta efek dari masing-masing komponen/subsistem dalam sistem tersebut [7].

2.7 Availability

Availability didefinisikan sebagai suatu ukuran waktu yang dibutuhkan bagi suatu sistem untuk benar-benar beroperasi [8]. *Availability* dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem beroperasi sesuai fungsinya dalam suatu waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah ditetapkan [8]. *Availability* dibagi dua, *Inherent Availability* dan *Operational Availability*. *Inherent Availability* dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$A_I = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (1)$$

Operational availability dapat ditentukan berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$A_O = \frac{uptime}{siklus operasi} \quad (2)$$

2.8 Maintainability

Maintainability didefinisikan sebagai peluang suatu sistem atau komponen yang rusak dikembalikan pada kondisi kerja penuh dalam suatu periode waktu yang telah ditentukan dan dengan prosedur perawatan tertentu [6].

2.9 Maintenance Performance Indicator (MPI)

Sebagai hasil dari beberapa perhitungan, *performance indicator (PI)* dapat digunakan dalam kegiatan perawatan, yang dinamakan *Maintenance Performance Indicator*. Indikator kinerja ini biasanya digunakan untuk mengurangi *down time*, biaya dan *waste*, beroperasi lebih efisien, dan meningkatkan kapasitas operasi [9].

3 Pembahasan

3.1 Pengolahan Data Time to Failure pada Water System

Pengolahan data yang dilakukan adalah penentuan distribusi dan penentuan MTBF. Penentuan distribusi *Time to Failure* dilakukan menggunakan data historis kerusakan dari Water System. Data kerusakan yang digunakan adalah data kerusakan pada tahun 2016. Perhitungan *Time to Failure* dilakukan dengan menggunakan uji Anderson Darling menggunakan perangkat lunak *Minitab 17*. Dalam perhitungan ini juga dilakukan penentuan *Mean Time Between Failure* yang dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1 Mean Time Between Failure

Komponen	Distribusi	Parameter		MTBF (hour)
Work Roll Cooling	Weibull	η	329,089	305,7551811
		β	1,26379	

Water Descaler	Weibull	η	382,088	346,7815149
		β	1,44002	
Pompa Power Water	Weibull	η	230,733	218,5529746
		β	1,16927	

3.2 Pengolahan Data *Time to Repair* pada *Water System*

Pengolahan data yang dilakukan adalah penentuan distribusi dan penentuan MTTR. Penentuan distribusi *Time to Repair* dilakukan menggunakan data historis kerusakan dari *Water System*. Data kerusakan yang digunakan adalah data kerusakan pada tahun 2016. Perhitungan *Time to Repair* dilakukan dengan menggunakan uji Anderson Darling menggunakan perangkat *Minitab* 17. Dalam perhitungan ini juga dilakukan penentuan *Mean Time to Repair* yang dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2 *Mean Time to Repair*

Komponen	Distribusi	Parameter		MTTR (hour)
Work Roll Cooling	Weibull	η	1,11868	1,018010903
		β	1,41415	
Water Descaler	Weibull	η	1,04455	0,949851427
		β	1,42111	
Pompa Power Water	Weibull	η	1,602	1,552554168
		β	1,08577	

3.3 Life Cycle Cost (LCC)

Life Cycle Cost didapatkan dengan menjumlahkan biaya *sustaining cost* dan *acquisition cost*. *Sustaining cost* terdiri dari *operating cost*, *maintenance cost*, dan *shortage cost* [10]. *Acquisition cost* terdiri dari *purchasing cost* dan *population cost*. Dalam perhitungan LCC pada penelitian kali ini, mesin yang diperhatikan adalah *Pompa Power Water* yang terdapat pada *Water System* yang terdiri dari enam unit *Pompa Power Water*.

3.4 Annual Operating cost

Operating cost atau biaya operasi adalah biaya yang timbul selama operasi mesin. *Operating cost* terdiri dari *energy cost* dan *labor cost*, atau biaya tenaga kerja. *Operating cost* diperkirakan akan meningkat sebesar 3,5% tiap tahunnya. Kenaikan inflasi didasarkan dari rata-rata tingkat inflasi pada tahun 2016. Berikut merupakan *Annual operating cost* pada *Pompa Power Water*. M merupakan jumlah *maintenance set crew*.

3.5 Annual Maintenance Cost

Maintenance cost adalah biaya yang dikeluarkan untuk perawatan mesin atau perangkat memperbaiki atau mengganti bagian-bagian komponen. biaya pemeliharaan dihitung untuk mengetahui besarnya biaya pemeliharaan mesin per tahun. Biaya pemeliharaan terdiri dari biaya tenaga kerja pemeliharaan, *consumable cost*, *repair cost*, dan *sparepart cost*. *Maintenance cost* diperkirakan akan meningkat sebesar 3,5% tiap tahunnya. Kenaikan inflasi didasarkan dari rata-rata tingkat inflasi pada tahun 2016.

3.6 Annual Shortage cost

Shortage Cost merupakan biaya yang harus dikeluarkan karena terjadinya kekurangan perangkat sebagai akibat dari kekurangan *maintenance crew* untuk memperbaiki perangkat yang rusak. Pada perhitungan *shortage cost*, untuk menghitung estimasi kurangnya *maintenance crew*, peneliti menggunakan teori antrian *multiple channel*. Dimana laju kedatangan menggunakan MTTR dan laju pelayanan menggunakan MTBF dengan asumsi tiap tahunnya MTTR meningkat sebesar 10% dan MTBF menurun sebesar 10%.

3.7 Annual Purchasing Cost

Annual Purchasing Cost adalah semua biaya yang dikeluarkan untuk pembelian seluruh perangkat *Pompa Power Water*. *Annual purchasing cost* akan berbeda pada setiap *retirement age* yang dipengaruhi oleh suku bunga yang berlaku. Asumsi suku bunga pinjaman adalah 7,5% berdasarkan set harga bunga Oleh Bank Indonesia pada tahun 2016. menunjukkan harga satuan mesin. Harga satu unit *Pompa Power Water* adalah sebesar Rp 5.000.000.000. sedangkan pompa yang terdapat pada pabriknya sebanyak 6 *Pompa Power Water*.

3.8 Annual Population Cost

Population cost adalah biaya yang harus dikeluarkan pada setiap periode atas kepemilikan suatu alat. *Population cost* diperoleh dari *annual equivalent cost* per unit dikali jumlah unit perangkat. Berikut merupakan hasil perhitungan *population cost* pada tahun pertama sampai tahun ke lima.

3.9 Total Life Cycle Cost

Total Life Cycle Cost adalah perhitungan total cost dari awal biaya pembelian sampai akhir dari umur mesin. LCC diperoleh dari menjumlahkan total operating cost, maintenance cost, shortage cost, dan population cost. Hasil dari LCC keseluruhan bisa dilihat pada tabel

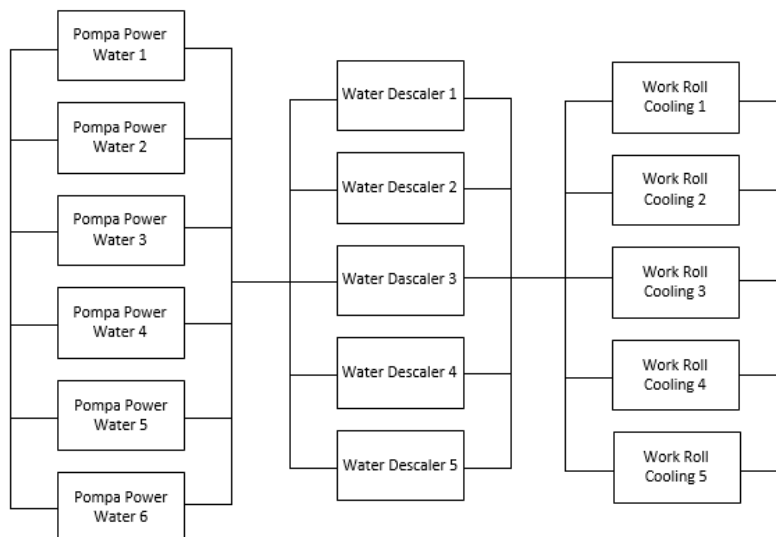
Tabel 3 Life Cycle Cost

year	M					
	1	2	3	4	5	6
1	Rp 49.429.845.753	Rp 49.656.554.540	Rp 49.963.069.929	Rp 50.281.016.582	Rp 50.602.230.797	Rp 50.924.722.930
2	Rp 34.740.184.128	Rp 34.942.811.725	Rp 35.254.457.562	Rp 35.581.614.060	Rp 35.913.192.741	Rp 36.246.498.453
3	Rp 30.311.382.540	Rp 30.476.859.207	Rp 30.791.771.164	Rp 31.127.771.321	Rp 31.469.764.973	Rp 31.814.095.276
4	Rp 28.465.037.681	Rp 28.574.817.692	Rp 28.890.285.692	Rp 29.234.495.139	Rp 29.586.842.074	Rp 29.942.354.872
5	Rp 27.681.566.871	Rp 27.709.154.625	Rp 28.021.273.240	Rp 28.372.680.024	Rp 28.735.158.967	Rp 29.101.934.520
6	Rp 27.464.042.225	Rp 27.371.257.547	Rp 27.674.419.084	Rp 28.031.477.918	Rp 28.403.641.179	Rp 28.781.647.678
7	Rp 27.617.612.823	Rp 27.348.870.107	Rp 27.635.020.645	Rp 27.995.428.985	Rp 28.376.507.501	Rp 28.765.552.482
8	Rp 28.068.690.044	Rp 27.542.110.302	Rp 27.799.643.225	Rp 28.160.015.805	Rp 28.548.782.981	Rp 28.948.444.246
9	Rp 29.053.508.913	Rp 28.014.936.310	Rp 28.186.640.183	Rp 28.522.505.721	Rp 28.905.576.775	Rp 29.307.521.846
10	Rp 29.870.355.790	Rp 28.399.191.868	Rp 28.541.227.983	Rp 28.884.412.494	Rp 29.281.968.638	Rp 29.700.136.990
11	Rp 31.356.124.399	Rp 29.038.084.267	Rp 29.073.721.385	Rp 29.394.121.520	Rp 29.790.460.172	Rp 30.215.363.958
12	Rp 33.433.689.623	Rp 29.833.546.462	Rp 29.708.453.897	Rp 29.990.476.129	Rp 30.379.377.233	Rp 30.808.114.455
13	Rp 36.372.075.241	Rp 30.818.056.335	Rp 30.450.013.727	Rp 30.670.468.102	Rp 31.042.701.831	Rp 31.470.904.063
14	Rp 40.584.729.881	Rp 32.052.265.531	Rp 31.315.383.377	Rp 31.439.413.134	Rp 31.781.206.624	Rp 32.202.319.696
15	Rp 46.653.707.039	Rp 33.632.491.622	Rp 32.332.298.506	Rp 32.306.906.037	Rp 32.597.534.502	Rp 33.001.703.595
16	Rp 55.303.947.456	Rp 35.719.201.362	Rp 33.554.489.569	Rp 33.298.220.789	Rp 33.506.183.711	Rp 33.878.502.192
17	Rp 67.197.982.114	Rp 38.551.784.782	Rp 35.060.254.019	Rp 34.446.942.246	Rp 34.523.865.566	Rp 34.841.595.522
18	Rp 82.525.540.920	Rp 42.485.738.909	Rp 36.978.530.505	Rp 35.812.553.006	Rp 35.683.522.769	Rp 35.911.661.854
19	Rp 100.495.577.725	Rp 47.987.763.174	Rp 39.502.494.483	Rp 37.484.060.074	Rp 37.032.681.211	Rp 37.116.930.166
20	Rp 119.218.994.132	Rp 55.565.813.309	Rp 42.916.620.534	Rp 39.601.651.017	Rp 38.648.347.858	Rp 38.504.222.095

Berdasarkan hasil LCC, Jumlah maintenance crew optimal dilihat dari total cost yang memiliki nilai tekecil. Dari tabel total LCC nilai terkecil terdapat pada M= 1 team maintenance crew, n=7 tahun dengan total cost sebesar Rp26.756.301.886.

3.10 Reliability Block Diagram (RBD)

Water system sendiri terdiri dari 3 komponen, yaitu Pompa Power Water, Water Descaler dan Work Roll Cooling. Pompa Power Water berguna untuk memberikan tekanan pada air yang akan digunakan untuk menghilangkan scale. Pompa Power Water yang digunakan pada sistem berjumlah 6. Agar sistem berjalan dengan baik, jumlah minimal pompa yang beroperasi adalah 4 buah pompa. Water Descaler berguna untuk mengendalikan kapan air akan dialirkan ke Work Roll Cooling. Work Roll Cooling menjaga agar suhu dari work roll tidak tinggi, dimana pada setiap work rolling mempunyai satu Work Roll Cooling. Berdasarkan pendefinisian sistem, maka didapatkan RBD sebagai berikut.



Gambar 2 Reliability Block Diagram

3.11 Reliability

Reliability merupakan probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menjalankan fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi. Berikut merupakan nilai tiap komponen dari Water System pada t mulai dari satu sampai 48 jam dengan interval 8 jam.

Tabel 4 *Reliability Komponen*

t (jam)	Pompa Power Water	water descaler	workroll cooling
1	99,8276%	99,9809%	99,9342%
8	98,0565%	99,6187%	99,0922%
16	95,6820%	98,9688%	97,8340%
24	93,1543%	98,1587%	96,4105%
32	90,5499%	97,2268%	94,8776%
40	87,9095%	96,1960%	93,2662%
48	85,2585%	95,0824%	91,5965%

Setelah dirangkai sesuai pendefinisian sistem dan RBD, maka Pompa *Power Water* dirangkai secara *out of n*. *Water Descaler* dan *Work Roll Cooling* dirangkai secara paralel. Berikut merupakan hasil nilai *reliability* pada tiap rangkaian penyusun *Water System* berdasarkan RBD. Nilai *Reliability* dengan t dari satu sampai 48 jam dengan interval 8 jam.

Tabel 5 *Reliability Rangkaian Komponen*

t (jam)	Pompa Power Water	Water Descaler	Work Roll Cooling
1	100,000%	100,00000000000000%	100,00000000000000%
8	99,9859%	99,9999999999194%	99,999999938353%
16	99,8541%	99,999999883398%	99,999995232783%
24	99,4519%	99,999997883214%	99,999940414470%
32	98,6446%	99,999983596677%	99,999647345027%
40	97,3369%	99,999920349887%	99,9998615446401%
48	95,4778%	99,999712424997%	99,9995809204222%

Untuk mendapatkan *Reliability Water System*, berdasarkan RBD maka hasil *Reliability* pada setiap rangkaian komponen disusun secara seri. Berikut merupakan hasil nilai *Reliability* pada *Water System* berdasarkan RBD. Nilai *reliability* dengan t dari 1 sampai 168 jam dengan interval 8 jam.

Tabel 6 *Reliability Water System*

t (jam)	R(t) total	t (jam)	R(t) total
1	100,00%	88	78,60%
8	99,99%	96	74,15%
16	99,85%	104	69,54%
24	99,45%	112	64,83%
32	98,65%	120	60,11%
40	97,34%	128	55,44%
48	95,48%	136	50,88%
56	93,06%	144	46,46%
64	90,10%	152	42,24%
72	86,66%	160	38,23%
80	82,80%	168	34,45%

3.12 Availability

Perhitungan *Availability* dengan *analytical approach* adalah perhitungan *Availability* yang dilakukan dengan menggunakan RBD pada kondisi sistem dengan *frozen state*, yang merupakan *Inherent Availability*. *Operational Availability* merupakan *Availability* yang mempertimbangkan seluruh jenis *down time* yang diakibatkan, *logistic*, administrasi, *delay*, *corrective* dan *preventive maintenance*. berikut merupakan nilai *Availability* pada tiap komponen *Water System*.

Tabel 7 *Availability Komponen*

Komponen	Inherent Availability	Operational Availability
Pompa Power Water	99,2946%	99,297%
Water Descaler	99,7268%	90,038%
Work Rork Cooling	99,6682%	89,973%

Setelah dirangkai sesuai pendefinisian sistem dan RBD, maka Pompa *Power Water* dirangkai secara *out of n*. *Water Descaler* dan *Work Roll Cooling* dirangkai secara paralel. Berikut merupakan hasil nilai *Availability* pada tiap rangkaian penyusun *Water System* berdasarkan RBD.

Tabel 8 *Availability* Rangkaian Komponen

Komponen	Inherent Availability	Operational Availability
Pompa Power Water	99,9993091734928%	99,999317%
Water Descaler	99,999999999848%	99,999019%
Work Rork Cooling	99,999999999598%	99,998986%

Untuk mendapatkan *Availability* pada *Water System*, berdasarkan RBD maka hasil *Availability* pada setiap rangkaian komponen disusun secara seri maka didapatkan *Inherent Availability* sebesar 99,9993% dan *Operational Availability* sebesar 99,9973223%.

3.13 Maintainability

Perhitungan *Maintainability* dari *Water System* dilakukan dengan menggunakan data *Time to Repair* yang dapat merepresentasikan secara jelas seberapa besar peluang untuk memperbaiki setiap sub sistem *Water System*. Pada penelitian ini, jangka waktu yang akan dijadikan sebagai waktu perhitungan adalah dalam jangka waktu satu jam sampai dengan 16 jam, dengan menggunakan interval waktu sebesar satu jam. Hasil perhitungan dari *Maintainability* seluruh unit dari sistem dapat dilihat pada tabel.

Tabel 9 *Maintainability*

t(jam)	Pompa Power Water	Water Descaler	Workroll Cooling
1	47,49%	65,10%	62,56%
2	72,42%	87,82%	85,98%
3	85,52%	95,75%	94,75%
4	92,40%	98,52%	98,03%
5	96,01%	99,48%	99,26%
6	97,90%	99,82%	99,72%
7	98,90%	99,94%	99,90%
8	99,42%	99,98%	99,96%
9	99,70%	99,99%	99,99%
10	99,84%	100,00%	99,99%
11	99,92%	100,00%	100,00%
12	99,96%	100,00%	100,00%
13	99,98%	100,00%	100,00%
14	99,99%	100,00%	100,00%
15	99,99%	100,00%	100,00%
16	100,00%	100,00%	100,00%

3.14 Maintenance Key Performance Indicator (KPI)

Untuk mengetahui penilaian sistem maka dibutuhkan *Key Performance Indicator*, karena KPI memberikan standar yang memudahkan untuk melihat batas yang jelas untuk menentukan bagus atau tidaknya suatu sistem tersebut. Untuk *Water System*, digunakan IVARA *World Class Target for Key Performance Indicator*. Menurut IVARA, batas minimal besar *Availability* 95%. Berdasarkan hasil *Inherent Availability* sebagai *Leading Indicator* dan *Operational Availability* sebagai *Lagging Indicator*, maka *Water System* sudah memenuhi KPI.

4. Kesimpulan

Berdasarkan Total *Life Cycle Cost* pada Pompa *Power Water* pada PT Krakatau Steel, biaya optimum sebesar Rp27.348.870.107 dan jumlah *maintenance set crew* yang optimal adalah sebanyak dua dan umur optimal tujuh tahun. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode *RAM Analysis*, sistem memiliki nilai *Reliability* sebesar 34,447% pada waktu 168 jam. Selama tahun 2016. *Inherent Availability* dari sistem adalah 99,9993% dan *Operational Availability* sebesar 99,9973223%. Evaluasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *World Class Maintenance KPI*, indikator sudah mencapai target indikator yang diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] Barringer.1996.*Life Cycle Cost Tutorial*. Texas : Marriout Houston Westside.Davis
- [2] Blanchard, Fabricky. 1990. *System Engineering and Analysis*, 2nd ed. Englewood Cliffs : Prentice-Hall
- [3] A. R. Eliyus and J. Alhilman, "Estimasi Biaya Maintenance Yang Optimal Dengan (Studi Kasus : Pt Toa Galva)," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, pp. 48–54, 2014.
- [4] U. T. Kirana, "Perencanaan Kebijakan Perawatan Mesin Corazza FF100 Pada Line 3 PT XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 2, pp. 4854–4861, 2016.

- [5] Ebeling, Charles. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore : The McGraw-Hill Companies Inc
- [6] N. A. S. Saputra, Muhammad Tamami Dwi, Judi Alhilman, "Maintenance Policy Suggestion on Printing Machine GOSS Universal Using Reliability Availability Maintainability (RAM) Analysis And Overall Equipment Effectiveness (OEE)," *Int. J. Innov. Enterp. Syst.*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [7] N. Dhamayanti, D. S., Alhilman, J., & 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. April, pp. 31–37, 2016.
- [8] Moubray, J. 1991. *Reliability Centered Maintenance*. Oxford: Buitenworth Heinemann Ltd
- [9] Alhilman, J., Saedudin, R. R., Atmaji, F. T. D., & Suryabrata, A. G. (2015, May). LCC application for estimating total maintenance crew and optimal age of BTS component. In *Information and Communication Technology (ICoICT), 2015 3rd International Conference on* (pp. 543-547). IEEE.
- [10] J. Alhilman, R. Saedudin, and F. Tatas, "LCC application for estimating total maintenance crew and optimal age of BTS component," *Inf. Commun. Technol.*, vol. 3, 2015.

