

Perencanaan Kegiatan Perawatan Dengan RCM II Dan Identifikasi Bahaya Perawatan Menggunakan HIRARC Dan JSA Pada Chlorine Plant

(Studi Kasus : Chlorine Plant Unit 2 PLTU 3&4 PT.PJB UP Gresik)

Falista Anggi Styadhika^{1*}, Arief Subekti², Aulia Nadia Rachmat³,

¹Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111.

²Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: falistaanggi21@gmail.com

Abstrak

Chlorination plant merupakan unit penghasil *sodium hypochlorite (NaOCl)* yang digunakan sebagai pengusir biota laut yang akan masuk pada inlet CWP (*circulating water pump*) pada PT. PJB UP Gresik. Terjadinya gangguan pada komponen mesin dalam *system chlorination plant* akan berpotensi menghambat produksi *sodium hypochlorite (NaOCl)*. Oleh sebab itu perlu dilakukan kegiatan perawatan yang tepat dengan menggunakan metode RCM II serta HIRARC dan JSA untuk mengidentifikasi bahaya dan membantu menganalisa potensi bahaya kerja pada saat melakukan kegiatan perawatan. Berdasarkan hasil penelitian diketahui terdapat 25 *failure mode* yang dapat menyebabkan *function failure* pada *chlorination plant*. Penentuan kegiatan perawatan pada RCM II didapatkan bahwa terdapat 17 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled discard task*, 7 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*, dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *schedule condition task*. Analisa resiko berdasarkan HIRARC menunjukkan bahwa sebagian besar kegiatan perawatan memiliki resiko rendah, hanya ada satu yang memiliki resiko menengah yaitu penggantian *packing* karet pada sambungan *line discharge degas tank*, yang selanjutnya pada komponen tersebut dilakukan pembuatan JSA.

Kata Kunci : *Chlorination Plant*, RCM II *Decision Worksheet*, HIRARC, JSA

1. PENDAHULUAN

PT. PJB Unit Pembangkit Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produsen listrik yang menyediakan energi listrik yang bermutu tinggi, andal dan ramah lingkungan. PLTU sebagai alat pembangkit listrik tenaga uap selain menggunakan peralatan utama dalam proses produksi listrik seperti *boiler*, *turbine* dan *generator* juga menggunakan peralatan pendukung salah satunya *chlorination plant* atau dengan nama lain unit *chloropac*. *Chlorination plant* turut berperan penting dalam jalannya proses produksi listrik di PT PJB UP Gresik ini. *Chloropac* merupakan unit penghasil *sodium hypochlorite (NaOCl)* yang digunakan sebagai pengusir biota laut yang akan masuk pada inlet CWP (*circulating water pump*). Terdapat 3 unit *chlorination plant* yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan *sodium hypochlorite (NaOCl)* pada PLTU 3 & 4. Kerusakan paling sering terjadi pada *chlorination plant* unit 2 yang disebabkan karena usia peralatan dan perawatan yang kurang optimal sehingga sering kali menyebabkan kegagalan pada *chlorination plant* unit 2. Kegagalan pada unit *chloropac* sendiri dalam menjalankan fungsinya dapat menyebabkan konsentrasi injeksi *sodium hypochlorite* menurun, sehingga biota laut atau sejenisnya akan berkembang biak dan menempel di dalam *tube* kondensor. Jika hal ini terus berlangsung, *tube-tube* kondensor akan rusak dan mengakibatkan kebocoran. Dengan adanya kebocoran pada *tube* ini maka air laut akan tercampur dengan air *condensate* yang digunakan untuk memproduksi *steam*, sehingga kualitas air *condensate* menjadi buruk karena mengandung *cl* dan *conductivity* yang tinggi atau diatas ambang batas operasi. Dengan kualitas air seperti ini produksi *steam* yang dihasilkan oleh *boiler* untuk memutar *turbine* juga akan mengalami kualitas yang buruk pula. Sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada *tube boiler* dan sudu – sudu *turbine*. Penelitian ini akan menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) II untuk mengurangi terjadinya kerusakan.

RCM II merupakan metode yang dapat membantu dalam memenuhi ekspektasi terhadap kegiatan *maintenance* pada generasi ketiga, seperti : Meningkatkan integritas keselamatan dan juga lingkungan, Meningkatkan performansi operasi (*output*, kualitas produk, serta pelayanan terhadap konsumen), meningkatkan efektivitas biaya *maintenance*, meningkatkan masa pakai/umur peralatan, sebagai database yang lengkap. Pada RCM II terdapat tindakan *Proactive*

Task Tindakan ini diambil sebelum *failure* terjadi, dengan harapan dapat mencegah item/ peralatan mengarah pada kondisi gagal (*failed state*). Hal ini dikenal dengan istilah *Predictive* dan *preventive maintenance*. Sedangkan dalam RCM sendiri digunakan pendekatan *scheduled restoration task*, *scheduled dischard task* serta *scheduled on-condition task*. *Proactive task* dapat menjadi sangat bermanfaat (*worth doing*) apabila dapat mengurangi konsekuensi kegagalan yang ada. Selain itu juga perlu ditambahkan pula bahwa sebelum ditentukan bahwa *task* tersebut telah sesuai (*worth doing*), juga harus ditentukan bahwa hal tersebut *technically feasible*. *Technically feasible* dimaksudkan bahwa kegiatan yang diberikan memungkinkan atau sesuai diambil untuk dapat menurunkan konsekuensi dari *failure mode* yang ada dan masih dapat diterima/ dijalankan oleh pemilik atau pengguna dari asset tersebut. HIRARC merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya dan penilaian resiko terhadap bahaya kegiatan perawatan yang terjadi, sedangkan JSA digunakan untuk menganalisis bahaya pada setiap langkah-langkah pekerjaan yang dilakukan.

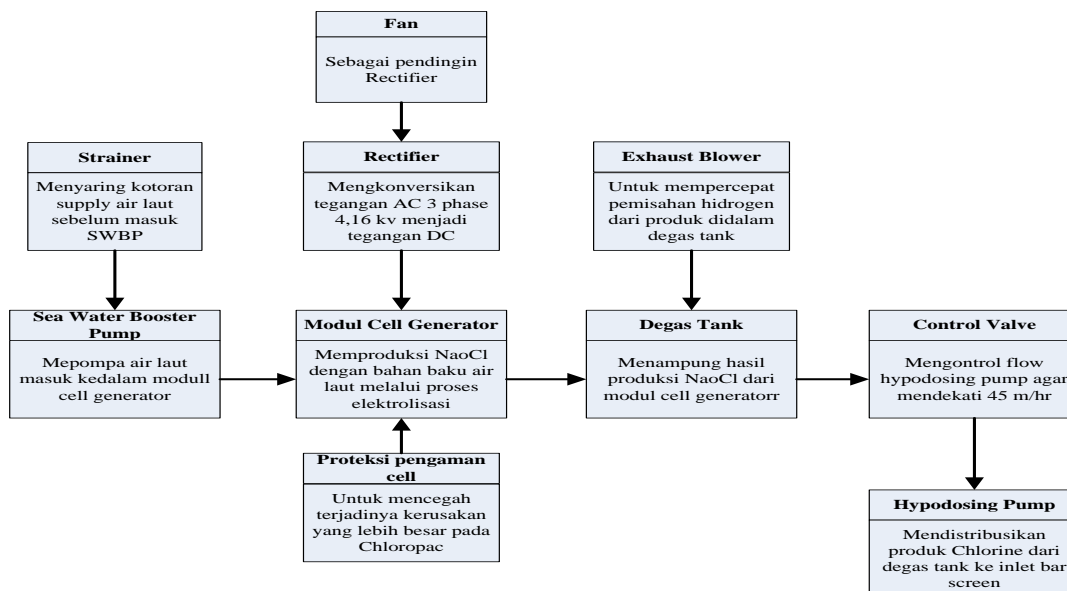
2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada *Chlorination Plant* PLTU unit 2 PLTU 3&4 PT. PJB UP Gresik. Pengambilan data kerusakan pada komponen selama 5 tahun dari 2013-2017. Pengolahan data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengolahan data secara kualitatif adalah data primer yang diperoleh melalui wawancara dengan pihak manajemen, pihak *maintenance* dan pihak produksi mengenai detail komponen dan sistem yang selanjutnya akan dilakukan pengolahan data dengan membuat *functional block diagram* (FBD), dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), kemudian pada tahap akhir dari pengolahan data kualitatif ini adalah memasukkan data yang telah diperoleh dari FMEA ke dalam RCM II *Decision worksheet* untuk menentukan kebijakan kegiatan perawatan yang sesuai dengan penggunaan RCM II *decision diagram* serta melakukan identifikasi dan penilaian resiko bahaya menggunakan HIRARC dan menganalisa bahaya menggunakan JSA. Seangkan pengolahan data secara kuantitatif data yang dibutuhkan adalah data sekunder. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan uji distribusi terhadap waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu lama perbaikan (TTR) yang ada pada *Maintenance Record Common* PLTU unit 3 & 4 dengan bantuan *software* Weibull++ version 6.0. Data tersebut kemudian diolah untuk menentukan interval waktu perawatan optimal ditinjau dari segi minimasi biaya (*cost*). Perhitungan yang dilakukan pada pengolahan data kuantitatif mencakup perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repaire* (MTTR), perhitungan Biaya Perawatan (CM) dan Biaya perbaikan (CR), perhitungan interval perawatan optimal (TM).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Kualitatif

Functional Block Diagram Chlorination Plant



Gambar 1. *Functional Block diagram*

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Pada tahap ini kita menganalisis komponen mana yang kritis yang sering rusak dan jika terjadi kerusakan pada komponen tersebut maka sejauh mana pengaruhnya terhadap fungsi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, kita akan dapat memberikan perlakuan lebih terhadap komponen tersebut dengan tindakan pemeliharaan yang tepat. Hasil dari RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai penunjuk ke arah tindakan perbaikan. Berdasarkan analisis melalui FMEA maka didapat nilai RPN masing-masing komponen dan

komponen yang memiliki nilai RPN yang tertinggi yaitu pada saat *packing* karet pada *line discharge tank* bocor dengan nilai 24 sehingga perlu mendapatkan prioritas penanganan khusus, dan nilai RPN yang terendah yaitu *water flow low* pada *module cell generator* dengan nilai 8.

Pengolahan Data Kuntiatif

Penentuan Distribusi Data

Penentuan distribusi dilakukan dengan menggunakan *software* Weibull 6 ++, Tabel 1 merupakan hasil pengujian Weibull

Tabel 1. Pengujian Distribusi

No	Equipment	Problem	Distribusi	Ket	β	η	γ
1.	Sea Water Booster Pump	Mechanical Seal Bocor	Weibull 2	TTF	8.1203	11269	
			Weibull 3	TTR	6.7421	10.484	12.8232
		Motor Terbakar	Weibull 2	TTF	10.4230	11628	
			Weibull 2	TTR	9.8144	23.9274	
		Karet Coupling Aus	Weibull 2	TTF	10.8371	11822	
			Weibull 3	TTR	0.7581	7.2894	5.9332
		Bearing Aus dan suara kasar	Weibull 2	TTF	6.0981	8676.3070	
			Weibull 3	TTR	0.9404	8.9235	6.0246
		Impeller Aus	Weibull 2	TTF	16.1803	22495	
			Weibull 3	TTR	1.7673	4.0237	20.7800
2.	Modul Cell Generator	Cell Unbalance	Weibull 2	TTF	3.3328	4078.7993	
			Weibull 2	TTR	12.8115	9.6167	
		Water Flow Low	Weibull 2	TTF	8.1557	5923.2177	
			Weibull 3	TTR	1.9912	1.9278	23.4805
		Cell Overheating	Weibull 2	TTF	10.3436	11358	
			Weibull 3	TTR	1.0065	1.727	24.4837
3.	Proteksi Pengaman Cell	Kabel penghubung alarm putus	Weibull 2	TTF	4.4473	11451	
			Weibull 2	TTR	8.9131	1.5408	
		Card Rusak	Weibull 2	TTF	9.1735	7589.1416	
			Weibull 2	TTR	5.106	4.1247	
4.	Strainer SWBP	Strainer Buntu	Weibull 2	TTF	5.5927	3656.5538	
			Weibull 3	TTR	2.6712	1.7383	3.2105
		Strainer Sobek	Weibull 2	TTF	9.0933	9040.4413	
			Weibull 2	TTR	18.9078	4.0291	
5.	Degas Tank	Line Discharge bocor	Weibull 2	TTF	8.3514	8780.8646	
			Weibull 2	TTR	6.0035	5.304	
6.	Control Valve	Pegas/ spring Control valve rusak	Weibull 2	TTF	14.2935	7409.1922	
			Weibull 3	TTR	2.0781	1.2646	0.9124
7.	Hypodosing Pump	Mechanical Seal Bocor	Weibull 2	TTF	6.0194	7398.5246	
			Weibull 3	TTR	0.7861	6.2565	9.2488
		Motor Terbakar	Weibull 2	TTF	9.1591	11854	
			Weibull 3	TTR	0.9031	0.9367	11.4078
		Karet Coupling Aus	Weibull 2	TTF	12.9032	12055	
			Weibull 2	TTR	2.2976	24.4014	
		Bearing Aus dan suara kasar	Weibull 2	TTF	8.833	6974.9236	
			Weibull 2	TTR	4.3268	22.6224	
Impeller Aus	Weibull 2	TTF	19.9722	15961			
	Weibull 3	TTR	0.6106	4.0192	11.2034		
8.	Exhaust Blower	Motor Terbakar	Weibull 2	TTF	5.6381	11244	
			Weibull 2	TTR	18.5731	5.0688	
		Blower Unbalance	Weibull 2	TTF	8.7890	10722	
			Weibull 3	TTR	0.8346	1.1515	2.7038
Bearing Aus	Weibull 2	TTF	7.5943	7529.3639			
	Weibull 2	TTR	12.4470	5.3528			
9.	Rectifier	Ajuster Arus Rusak	Weibull 2	TTF	7.2851	8725.7673	
			Weibull 3	TTR	14.717	1.2541	0.6237
		Kesalahan pemrograman	Weibull 2	TTF	16.5392	15774	
Weibull 2	TTR		15.0544	5.9966			
10.	Fan Rectifier	Motor Terbakar	Weibull 2	TTF	16.9206	11599	
			Weibull 3	TTR	1.3522	0.8860	5.5480

Perhitungan Interval Perawatan

Interval perawatan dapat dihitung menggunakan persamaan $TM = \gamma + \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} x \frac{CM}{CR - CM} \right]^{\frac{1}{\beta}}$

Setelah diketahui distribusi data maka dilakukan perhitungan terhadap MTTF dan MTTR sesuai dengan jenis distribusi masing-masing. Setelah itu melakukan perhitungan sesuai dengan rumus TM. Hasil dari perhitungan TM dari yang tertinggi hingga terendah yaitu *impeller sea water booster pump* aus 10590,47 jam, *impeller hypodosing pump* aus 8570,20 jam, kesalahan pemrograman *rectifier* 8175,88 jam, *motor fan rectifier* terbakar 6084,85 jam, karet *coupling hypodosing pump* aus 4784,88 jam, karet *coupling sea water booster pump* aus 4126,38 jam, pegas / *spring control valve* rusak 3780,77 jam, *motor sea water booster pump* terbakar 3769,83 jam, *cell modul overheating* 3605,10 jam, *motor hypodosing pump* terbakar 3553,17 jam, *exhaust blower unbalance* 3486,35 jam, *strainer sobek* 3064,04 jam, *mechanical seal sea water booster pump* bocor 2761,49 jam, *line sambungan discharge degas tank* bocor 2664,32 jam, *adjuster arus rectifier* rusak 2606,20 jam, *card* proteksi pengaman *cell* rusak 2604,07 jam, *motor exhaust blower* terbakar 2084,05 jam, *bearing exhaust blower* aus 2045,93 jam, *bearing hypodosing pump* aus dan suara kasar 1906,81 jam, kabel penghubung proteksi pengaman *cell* putus 1900,05 jam, *bearing sea water booster pump* aus dan suara kasar 1493,08 jam, *water flow low* pada *modul cell generator* 1454,23 jam, *mechanical seal hypodosing pump* bocor 1216,08 jam, *strainer buntu* 683,73 jam, *cell modul generator unbalance* 240,03 jam. Dengan demikian menunjukkan bahwa interval waktu perawatan optimal (TM) bertujuan untuk menghindari dan mencegah terjadinya kegagalan (*failure*) pada komponen sebelum kegagalan tersebut terjadi.

Pembuatan RCM II Decision Worksheet

Decision worksheet ditujukan untuk merecord kegiatan perawatan pada masing-masing komponen mesin *chlorination plant unit 2* PLTU 3&4 yang sesuai dengan *failure mode* berdasarkan pada FMEA. Tujuan dari *decision worksheet* ini adalah untuk menganalisa konsekuensi dari masing-masing penyebab kegagalan (*failure mode*) dan juga untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task/proposed task*) yang memungkinkan untuk mengatasi setiap *failure mode* dengan menentukan *initial interval* untuk kegiatan perawatan. *Failure mode* yang diolah pada RCM II *Decision worksheet* adalah *failure mode* yang memiliki data historis kerusakan, karena pada RCM II *Decision Worksheet* setiap *failure mode* akan dihitung interval perawatannya. Berdasarkan hasil *brainstorming* dan diskusi dengan pihak *maintenance* PT PJB UP Gresik maka *maintenance task* yang tepat ditentukan dengan menggunakan RCM *Decision worksheet* untuk masing masing komponen *chlorination plant unit 2*. Dari 5 *failure mode* yang terjadi pada *sea water booster pump* terdapat 4 *failure mode* yang dapat dicegah dengan *scheduled dischard task* dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*. Pada *equipment modul cell generator* terdapat 3 *failure mode* yang terjadi, 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled on condition task*, 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*, dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled dischard task*. Pada *equipment proteksi pengaman cell* terdapat 2 *failure mode* yang dapat dicegah dengan *scheduled dischard task*. Pada *equipment strainer* terdapat 2 *failure mode* yang terjadi, 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task* dan 1 *failure mode* yang lain dapat dicegah dengan *scheduled discard task*. Pada *equipment degas tank* terdapat 1 *failure mode* yang terjadi dan dapat dicegah dengan *scheduled dischard task*. Pada *equipment control valve* terdapat 1 *failure mode* yang terjadi dan dapat dicegah dengan *scheduled dischard task*. Pada *equipment hypodosing pump* terdapat 5 *failure mode* yang terjadi, 4 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled dischard task* dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*. Pada *equipment exhaust blower* terdapat 3 *failure mode*, 2 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled dischard task* dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*. Pada *equipment rectifier* terdapat 2 *failure mode*, 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled dischard task* dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*. Pada *equipment fan rectifier* terdapat 1 *failure mode* yang dapat dicegah *scheduled restoration task*.

Pembuatan HIRARC dan JSA

Setelah mengetahui Interval kegiatan perawatan selanjutnya melakukan identifikasi bahaya kegiatan perawatan menggunakan HIRARC. Hasil dari identifikasi bahaya diketahui seluruh kegiatan perawatan pada chlorine plant memiliki tingkat resiko rendah, hanya 1 aktivitas kegiatan perawatan yang memiliki tingkat resiko menengah yaitu penggantian *packing* karet pada *line discharge degas tank*. dimana potensi bahaya penggantian *packing* karet pada sambungan *line discharge degas tank* yang memiliki tingkat risiko menengah yaitu terhirup dan kontak dengan tubuh langsung cairan *sodium hypochlorite* saat penggantian *packing* karet, kondisi terjadinya potensi bahaya tersebut R (rutin) karena setiap melakukan penggantian *packing* karet pekerja tanpa disadari selalu terhirup dan kontak secara langsung dengan cairan *sodium hypochlorite*, selanjutnya dampak dari potensi risiko yang terjadi yaitu pekerja mengalami sesak nafas, sakit tenggorokan, tangan kemerahan, dan lecet, peraturan perundangan yang terkait adalah UU no 1 tahun 1970, Keputusan Menteri Tenaga Kerja RI No.Kep-187/Men/1999 tentang “Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya Di Tempat Kerja” nilai kemungkinan terjadi ada di kategori 4 (besar) dengan frekuensi peristiwa dimungkinkan terjadi pada berbagai situasi dengan probabilitas sedikitnya sekali dalam setahun, dan tingkat keparahan masing-masing adalah DL (dampak lingkungan) 2, CM (cedera manusia) 3, AS (asset) 1, RP (reputasi) 1, dan nilai rata-ratanya (AVG) yaitu 1.75, untuk nilai tingkat resiko awal yang merupakan perkalian antara kemungkinan dan nilai rata-rata yaitu 7, untuk aspek bahaya merupakan aspek bahaya penting karena ada undang-undang yang terkait untuk potensi bahaya tersebut, pengendalian yang ada saat ini yaitu adanya IK mengenai penggantian *packing* karet sehingga pekerja dapat melihat langkah-langkah penggantian *packing* karet pada *line discharge degas tank* sehingga dapat meminimalisir terjadinya kesalahan dalam penggantian komponen, faktor ECM (*early control management*) memiliki nilai 0.6 dimana seluruh pengendalian diterapkan, namun pengendalian lebih lanjut diperlukan untuk Enjiniring, Administratif, APD dan *Spill Kit*, tingkat resiko setelah pengendalian adalah 5 dan termasuk kategori risiko menengah dan perlu ditindak lanjuti salah satunya dengan membuat JSA.

Pembuatan JSA (*Job Safety Analysis*) dilakukan setelah penentuan kegiatan perawatan dengan metode RCM II *Decision Worksheet* selesai dilakukan. Berdasarkan tabel 4.14 pembuatan JSA dilakukan pada sambungan *packing* karet *line discharge degas tank* yang memiliki tingkat risiko menengah pada HIRARC (*Hazard Identification Risk Assessment and Control*). Tahap awal dalam analisa potensi bahaya kerja adalah membagi sebuah pekerjaan ke dalam urutan langkah-langkah kegiatan pekerjaan. Seperti pada kegiatan pekerjaan penggantian *packing* karet pada sambungan *line discharge degas tank* memiliki 5 tahapan yaitu safety briefing, tahap persiapan peralatan, tahap shutdown *chlorination plant*, tahap penggantian *packing* karet, tahap start *chlorination plant*. Selanjutnya tahapan kegiatan kerja tersebut dianalisa potensi bahayanya dan diberikan rekomendasi untuk tindakan pengendalian dalam menghadapi potensi bahaya kerja tersebut.

4. KESIMPULAN

Kebijakan perawatan yang diberikan untuk menghadapi kegagalan fungsi (*failure function*) pada komponen *chlorination plant unit 2* secara keseluruhan mengacu pada interval perawatan optimal komponen, sehingga akan

dilakukan penggantian, perbaikan, dan pengecekan komponen sebelum komponen tersebut mengalami kegagalan, hal ini dapat dilihat pada MTTF komponen, maka dari itu nilai interval perawatan optimal lebih kecil dari pada MTTF komponen sehingga dapat mengurangi tingkat kecelakaan yang disebabkan karena komponen gagal yang berdampak pada keselamatan di lingkungan kerja. Perawatan optimal yang paling tinggi nilainya adalah *impeller sea water booster pump* dengan nilai 10590,47 jam dan yang terendah adalah *cell unbalance* pada *cell module generator* dengan nilai 240,03 jam. HIRARC yang telah dibuat menunjukkan bahwa sebagian besar nilai resiko dari setiap kegiatan *maintenance* adalah rendah dan satu yang menengah sehingga diharapkan dengan pembuatan HIRARC ini dapat membantu meningkatkan pemahaman pekerja terhadap potensi bahaya dalam menjalankan kegiatan perawatan. Dan JSA yang dibuat untuk pekerjaan dengan tingkat risiko menengah diharapkan dapat mengurangi terjadinya *human error* antar pekerja dan kecelakaan kerja pada saat melaksanakan kegiatan perawatan sehingga resiko terjadinya kecelakaan dapat diturunkan menjadi rendah.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Ardiantoko, Andit Wahyu. (2016). **Perencanaan Preventive Maintenance Dengan Implementasi RCM II Dan Identifikasi Bahaya Kegiatan Perawatan Menggunakan HIRARC Pada Solid Mixer dan Dryer**. Tugas Akhir Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, PPNS-ITS.
2. Blanchard, Benjamin S, Dinesh Verma, Elmer L. Peterson. (1994). *Maintainability*. New York : John Wiley & Sons. Inc
3. Dosh (2008). *Guidelines for Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control*. Malaysia
4. Ebeling, Charles.E. (1997). **Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**.The Mc. Graw Hill Company. Inc, New York.
5. Ir.Dwi Priyanta, MSE. (2000). **Keandalan dan Perawatan**. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
6. Lewis, E. E. (1987). **Introduction to Reliability Engineering**, John Wiley & Sons, Canada.
7. McDermott, Robin. (2009). *The Basics of FMEA 2ndEdition*. New York: Taylor & Francis GroupA Productivity Press LLC.
8. Moubray, Jhon. (1997). **Reliability Centered Maintenance 2nd Edition** .Industrial Press Inc. Madison Avenue-New York.
9. OHSAS 18001 (2007). **Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja**.
10. OSHA (2002). *Job Hazard Analysis*. Us Department of labor.
11. Setyana, Iva. (2007). **Implementasi RCM II (Reliability Centered Maintenance) dan RPN (Risk Priority Number) dalam Analisa Resiko serta Perencanaan Kegiatan Perawatan HPB (High Pressure Boiler)**