

# Analisis Risiko pada Kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Tauam Sumunar Muflih<sup>1</sup>, Mohamad Hakam<sup>2</sup>, Mochamad Yusuf Santoso<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Desain Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [tauamsumunar1999@gmail.com](mailto:tauamsumunar1999@gmail.com)

## Abstrak

Kondensor adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengubah uap bekas dari turbin uap menjadi air dengan bantuan dari air pendingin utama dalam proses produksi listrik pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Proses produksi listrik pada PLTP dengan memanfaatkan energi panas bumi ini beroperasi 24 jam, sehingga berpotensi terjadi kegagalan atau kerusakan pada komponen kondensor. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi kegagalan atau kerusakan dari komponen utama yang ada pada kondensor dengan melakukan perhitungan RPN (*Risk Priority Number*). Dari hasil perhitungan, diketahui terdapat 39 mode kegagalan dari 31 komponen dan diperoleh nilai RPN tertinggi terdapat pada *Condenser Spray Nozzle* dengan mode kegagalan *Spray Nozzle* tersumbat sebesar 180. Untuk komponen - komponen yang memiliki nilai RPN tinggi komponen tersebut harus diprioritaskan dalam melakukan kegiatan perawatan, karena memiliki risiko yang sangat tinggi jika peralatan tersebut gagal maka dapat mengancam keselamatan pekerja dan juga kerugian yang besar bagi perusahaan.

**Kata Kunci:** Kondensor, FMEA, RPN

## Abstract

*A condenser is an equipment used to convert used steam from a steam turbine into water with the help of the main cooling water in the electricity production process at a geothermal power plant (PLTP). The electricity production process at PLTP by utilizing geothermal energy operates 24 hours, so there is the potential for failure or damage to the condenser component. Therefore, this study uses the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to identify the failure or damage of the main components in the condenser by calculating the RPN (Risk Priority Number). From the calculation results, it is known that there are 39 failure modes from 31 components and the highest RPN value is found in the Condenser Spray Nozzle with a clogged Spray Nozzle failure mode of 180. For components that have a high RPN value, these components must be prioritized in carrying out maintenance activities, because there is a very high risk that if the equipment fails it can threaten the safety of workers and also a big loss for the company.*

**Keywords:** Condenser, FMEA, RPN

## 1. PENDAHULUAN

Potensi energi geothermal untuk pembangkit listrik di Indonesia diperkirakan sebesar 29 *Gigawatt*, hampir setara dengan total pasokan listrik nasional saat ini. Menurut Badan Geologi (2010), bahwa Indonesia baru mengembangkan energi panas bumi untuk pembangkit listrik sebesar 1.189 MW (4,3%) (Mary et al., 2017). Salah satu perusahaan yang berhasil memanfaatkan hal tersebut adalah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang berada di gunung Patuha. Perusahaan ini berhasil menyelesaikan pembangunan 1 unit PLTP di Patuha dengan kapasitas 60 MW yang mulai

beroperasi pada tahun 2014. Proses produksi listrik dengan memanfaatkan energi panas bumi pada pembangkit kali ini beroperasi 24 jam. Hal ini mempersyaratkan bahwa mesin pembangkitnya harus baik juga dibutuhkan agar keberlangsungan proses produksi berjalan sesuai yang diharapkan. Salah satu sistem penting dalam produksi adalah *Circulating Water System*. Salah satu komponen penting dalam sistem tersebut adalah kondensor. Kondensor adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengubah uap bekas dari turbin uap hingga menjadi air dengan bantuan dari air pendingin utama (Zakaria & Suryaman, 2020). Pada pembangkit tenaga panas bumi kali ini proses kondensasi di dalam kondensor dilakukan secara *direct contact* yaitu dengan cara mengontakkan langsung antara uap dan fluida dingin (air). Pipa yang berada di dalam kondensor memiliki lubang yang terdapat *nozzle* untuk menyembrotkan (*spray*) fluida dingin dan langsung berkontak dengan uap, saat itulah terjadi perpindahan panas yang menyebabkan uap berubah menjadi kondensat. (Firman et al., 2016). Namun dalam pengoperasiannya kondensor umumnya mengalami penyimpangan seperti pada studi sebelumnya menurut (Zakaria & Suryaman, 2020) terdapat laporan kasus kerusakan kondensor pada PLTU yang terletak di Banten, kerusakan yang terjadi diantaranya adalah kerusakan kebocoran pada pipa kondensor, kerusakan sistem vakum kondensor, transmitter abnormal dan peralatan komponen kondenser yang bermasalah.

Berdasarkan informasi yang telah didapat, kondensor pada unit ini pernah mengalami penyimpangan dikarenakan sumbatan pada *nozzle spray* yang menyebabkan tekanan di dalam kondensor mengalami kenaikan mencapai 0,140 bar – 0,150 bar serta penurunan laju air dari *Cooling Tower* menuju Kondensor dari rata-rata 7900 ton/jam menjadi 6500 ton/jam hingga menyebabkan pembangkit trip (mati mendadak). Penyimpangan tersebut mengakibatkan *over pressure* di dalam kondensor yang disebabkan oleh turunnya vakum (*vacuum drop*). *Vacuum drop* akan menyebabkan kerusakan pada turbin. Pemampatan yang berlebihan dapat menyebabkan tekanan balik dari uap yang tidak terkondensasi menuju turbin, akibatnya sudu-sudu turbin bisa rusak. Pengaruh lain adalah semakin beratnya kinerja turbin, dan berdampak pada putaran generator dan pada akhirnya mempengaruhi listrik yang dihasilkan (Logiani et al., 2014). Penyimpangan lainnya terjadi dikarenakan kegagalan pada panel *engineering* disebabkan oleh tidak adanya *power supply* pada *distributed control system* (DCS). Kegagalan tersebut mengakibatkan *gate valve cooling water inlet* tidak mampu dalam menahan air dari *Cooling Tower* yang menyebabkan laju air menyembur keluar dari kondensor secara tidak terkendali. Hal tersebut membuat proses produksi terganggu karena mengharuskan pembangkit berhenti beroperasi (*shutdown*) sehingga berakibat tidak bisa mencapai target produksi yang sudah ditentukan. Untuk mengidentifikasi bahaya dan kegagalan komponen diperlukan suatu metode dalam mengidentifikasinya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pendekatan FMEA. Dalam FMEA, setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan (Surya et al., 2017).

## 2. METODOLOGI

### *Failure Mode and Effect Analysis*

FMEA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendefinisikan, mengenali dan mengurangi kegagalan, masalah, kesalahan dan seterusnya yang diketahui dan/ atau potensial dari sebuah sistem, desain, proses dan/ atau servis sebelum mencapai ke konsumen (Nannikar, 2012 dalam (Sari et al., 2018)). FMEA membuat bentuk-bentuk kegagalan (*Failure Mode*), penyebab bagaimana suatu komponen dapat mengalami kegagalan operasi / kerusakan. Komponen yang dimasukkan dalam analisis adalah komponen / mesin yang berpotensi menyebabkan *Function Failure* dari catatan perbaikan yang ada sebelumnya (Carlson et al., 2012).

Menurut (Carlson et al., 2012) efek (*effect*) adalah konsekuensi dari kegagalan pada sistem atau pengguna akhir. tergantung pada aturan-aturan dasar untuk analisis, tim dapat menentukan gambaran tunggal efek pada sistem tingkat atas dan / atau pengguna akhir, atau tiga tingkat efek:

1. Efek lokal adalah konsekuensi dari kegagalan pada item atau item yang berdekatan.
2. Efek tingkat yang lebih tinggi adalah konsekuensi dari kegagalan pada sistem tingkat atas dan / atau pengguna akhir.

- Efek akhir adalah konsekuensi dari kegagalan pada sistem tingkat atas dan / atau pengguna akhir Menurut (Carlson et al., 2012) FMEA adalah metode yang dirancang untuk:
  - Mengidentifikasi dan memahami mode potensi kegagalan dan penyebabnya, dan efek kegagalan pada sistem atau pengguna akhir, untuk proses produk tertentu.
  - Menilai risiko yang berkaitan dengan mode yang diidentifikasi kegagalan, efek, dan penyebab, dan memprioritaskan isu-isu untuk tindakan korektif.
  - Mengidentifikasi dan melaksanakan tindakan korektif untuk mengatasi masalah yang paling serius.

*Failure Mode Effect Analysis* merupakan teknik analisa bahaya yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan bagaimana suatu peralatan, fasilitas, atau sistem dapat gagal serta akibat yang dapat ditimbulkan. Semua mode kegagalan harus dievaluasi untuk setiap komponen dan dicatat dalam worksheet FMEA. Worksheet FMEA dapat dilihat dalam Tabel 2.1 (McDermott et al., 2017).

Tabel 2.1 Contoh Worksheet FMEA

Failure Mode and Effects Analysis Worksheet																
Process or Product: _____ FMEA Team: _____ Team Leader: _____										FMEA Number: _____ FMEA Date: (Original) _____ (Revised) _____						
FMEA Process												Page: 1 of 1				
Line	Component and Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Severity	Current Controls, Prevention	Current Controls, Detection	Detection	RPN	Recommended Action	Responsibility and Target Completion Date	Action Taken	Severity	Detection	RPN
1																
2																
3																

Sumber: McDermott et al., 2017

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

FMEA digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada komponen-komponen dari Kondensor. Setelah menganalisa kegagalan pada masing – masing komponen maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai RPN.

Tabel 2 Contoh table FMEA Kondensor

Failure Mode and Effects Analysis									
Process or Product : Kondensor					FMEA Number :				
FMEA Team :					FMEA Date				
(Original) :					(Revised):				
TeamLeader :									
FMEA Process									
No	Nama Komponen dan fungsi	Potensi kegagalan	Potensi efek kegagalan yang ditimbulkan dari kegagalan	S	Potensi penyebab dari kegagalan	O	Kontrol yang dilakukan	D	RPN
1.	<i>Condenser Shell</i> Sebagai pelindung atau casing pada kondensor	Casing berkarat	Kebocoran pada kondensor	6	Kualitas besi yang kurang baik	1	Melakukan penjadwalan pengecekan <i>Ultrasonic Thickness Test</i>	3	18
		Kebocoran pada manhole	Proses heat transfer terganggu	5	Teknisi kurang tepat dalam pemasangan gasket	3	Pengecekan manhole setiap sebulan sekali	4	60
2.	<i>Vacum Breaker Condenser</i> Befungsi untuk menurunkan kecepatan turbin dengan cepat ke nol jika terjadi trip darurat turbin	Vakum breaker tidak menutup rapat / bocor	Kemampuan vakum turun <i>vakum drop</i>	5	<i>Seal Vacum Breaker</i>	2	Terdapat <i>pressure transmitter</i> untuk memonitor tekanan didalam kondensor	3	30
3.	<i>Condenser Spray Noozle</i> Befungsi untuk memecah cairan yang disemprotkan dari <i>cooling tower</i> dengan	Lubang tersumbat <i>Noozle</i>	Terjadi <i>Overpressure</i> karena laju air pendingin berkurang.	6	Kotoran yang berhasil lolos dari filter air pada cooling tower Material chemical yang tidak sesuai untuk menghalangi terjadinya slag	5	Melakukan <i>overhaul</i> untuk pembersihan berkala.	6	180

Berdasarkan hasil dari perhitungan RPN dari Tabel 2. FMEA *Worksheet* diatas dapat diurutkan komponen berdasarkan nilai RPN tertinggi untuk menentukan prioritas perbaikan sesuai risiko yang paling tinggi. Dibawah ini adalah Tabel 3. Urutan prioritas komponen adalah sebagai berikut:

Tabel 3 RPN komponen Kondensor

No	Komponen	Failure mode	RPN
1	<i>Condenser spray nozzle</i>	Lubang nozzle tersumbat	180
2	<i>Hotwell Pump (B) Recirculating water Inlet</i>	Hotwell Pump tidak berfungsi	120
3	<i>Hotwell Pump (A) Recirculating water Inlet</i>	Hotwell Pump tidak berfungsi	120
4	<i>Gas cooler spray nozzle</i>	Lubang nozzle spray tersumbat	80
5	<i>Hotwell Pump (A) Recirculating water Inlet</i>	Valve gagal berfungsi	64
6	<i>Hotwell Pump (B) Recirculating water Inlet</i>	Valve gagal berfungsi	64
7	<i>pressure detection condenser</i>	Sensor rusak	63
8	<i>condenser shell</i>	Kebocoran pada manhole	60
9	<i>pressure detection condenser</i>	Kabel komunikasi ke DCS terputus	56
10	<i>LRVP Seal Water Separator Drain Inlet</i>	LRVP rusak	54
11	<i>Temperature detection condenser</i>	Sensor rusak	54
12	<i>turbine exhaust drain inlet</i>	Valve gagal bekerja	48
13	<i>Gland steam Drain inlet</i>	Jalur tersumbat	48
14	<i>1<sup>st</sup> Stage 30/40 % inter condenser drain inlet</i>	Valve gagal membuka / menutup	48
15	<i>gas outlet</i>	Kebocoran pada sambungan pipa	45
16	<i>1<sup>st</sup> Stage 60 % inter condenser drain inlet</i>	Valve gagal membuka / menutup	45
17	<i>2<sup>st</sup> Stage 130 % after condenser drain inlet</i>	Valve gagal membuka / menutup	45
18	<i>LRVP seal water separator drain inlet</i>	Tersumbat slag scaling	45
19	<i>cooling water inlet</i>	Valve gagal menutup / membuka	36
20	<i>Temperature detection condenser</i>	Kabel komunikasi ke DCS terputus	36
21	<i>Cooling Water Header Vent Inlet</i>	Kebocoran pada sambungan pipa	36
22	<i>Cooling Water Header Vent Outlet</i>	Kebocoran pada sambungan pipa	36
23	<i>Hotwell Water Outlet Manhole</i>	Kebocoran pada gasket	36
24	<i>level detection condenser</i>	Kerusakan pada sensor	30
25	<i>level detection condenser</i>	Kabel komunikasi ke DCS terputus	30
26	<i>gland steam bypass inlet</i>	Kebocoran pada gasket	30
27	<i>vacuum breaker condenser</i>	Vacuum breaker tidak menutup rapat/bocor	30
28	<i>rupture disc</i>	Gasket rusak	30
29	<i>Vent Condenser for water filling test</i>	Jalur tersumbat	30
30	<i>Hotwell Water Outlet</i>	Jalur tersumbat	28
31	<i>rupture disc</i>	Rapture disc gagal pecah	27
33	<i>Hotwell Pump (A) Can Vent Inlet</i>	Jalur tersumbat	24
34	<i>Hotwell Pump (B) Can Vent Inlet</i>	Jalur tersumbat	24
35	<i>turbine casing drain inlet</i>	Cover terkelupas/ robek	24
36	<i>Test Condenser</i>	Kegagalan akuator	24
37	<i>Gland steam strainer condenser inlet</i>	Saringan filter rusak	20
38	<i>condenser shell</i>	Casing berkarat	18
39	<i>drain condenser</i>	Jalur pembuangan tersumbat	16

Dari Tabel 3 didapatkan 39 mode kegagalan dari 31 komponen serta nilai RPN yang ada pada keseluruhan sistem komponen Kondensor. Nilai RPN yang paling tinggi dari keseluruhan komponen tersebut adalah komponen *condenser spray nozzle* dengan mode kegagalan lubang *nozzle* tersumbat. Komponen dengan RPM tertinggi setelahnya yaitu *hotwell pump (B) Recirculating water inlet* dan *hotwell pump (A) Recirculating water inlet* dengan mode kegagalan yaitu Hotwell pump tidak berfungsi.

Nilai RPN tertinggi dari identifikasi FMEA terdapat pada komponen *condenser spray nozzle* yang memiliki fungsi untuk memecah cairan yang disemprotkan dari cooling tower dengan uap didalam condenser. Mode kegagalan pada *condenser spray nozzle* kali ini adalah lubang *nozzle* tersumbat memiliki nilai RPN 180. Penyebab kegagalan ini dikarenakan kotoran yang berhasil lolos dari dari *strainer* serta material *chemical* yang tidak sesuai sehingga menimbulkan slag pada *nozzle* dan mengganggu *supply* aliran air pendingin yang menuju kondensor. Kegagalan tersebut mengakibatkan *vakum drop* dan proses *heat transfer* terganggu hingga turbin trip.

Pengendalian yang dilakukan dengan memasang filter kotoran pada saluran masuk ke kondensor serta pembersihan saat *overhaul*.

Nilai RPN kedua terdapat pada komponen *Hotwell Pump (B) Recirculating water inlet* dengan mode kegagalan *hotwell pump* tidak berfungsi dengan nilai 120. Kegagalan tersebut mengakibatkan air didalam kondensor tidak dapat terdistribusi menuju *cooling tower* sehingga terakumulasi di dalam kondensor hingga berpotensi *Highest High Water Level (HHWL)* karena air kondensat terlalu tinggi didalam kondensor. Penyebab kegagalan tersebut dikarenakan maintenance yang kurang tepat. Pengendalian yang dapat dilakukan dengan melakukan kontrol level ketinggian air kondensat pada *hotwell* serta melakukan inspeksi secara berkala.

Nilai RPN terendah terdapat pada komponen *drain condenser* dengan mode kegagalan jalur pembuangan tersumbat yang memiliki nilai RPN 16. Kegagalan ini menyebabkan air kondensat yang akan dibuang keluar kondensor tidak dapat dikeluarkan dari kondensor karena didalam kondensor terdapat batas ketinggian minimum level air. Penyebab kegagalan adalah *valve* gagal membuka karena karat dan pelumasan oli yang kurang. Pengendalian yang dapat dilakukan dengan melakukan inspeksi secara berkala serta melakukan uji coba valve terjadwal.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada Kondensor dengan menggunakan metode FMEA, maka dapat diketahui yang memiliki prioritas risiko tertinggi dari 39 mode kegagalan dengan 31 komponen adalah nilai RPN sebesar 180 yaitu kegagalan pada komponen *Condenser Spray Nozzle* dengan mode kegagalan *nozzle* tersumbat didapatkan hasil RPN terendah sebesar 16 pada komponen *drain condenser* dengan mode kegagalan jalur pembuangan tersumbat. Dengan hasil perhitungan RPN diatas, perusahaan akan melakukan prioritas perbaikan komponen sesuai hasil nilai RPN tertinggi atau nilai risiko yang paling tinggi.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Carlson, S. C., Jensen, F., Morris, A. S., Levin, M. A., Kalal, T. T., & Pascoe, N. (2012). *Effective FMEAs*.
- Firman, H. A., Engkos, K., & Nasim. (2016). *Analisis Efektivitas Condenser Direct Contact Unit 3 ... (Hidayat dkk.)*. 38–42.
- Logiani, H. F., Wardana, A. N. I., Harto, A. W., Grafika, J., Indonesia, Y., Sistem, A. I., & Tertutup, K. (2014). *Implementasi Identifikasi Sistem Kalang Tertutup untuk Asesmen Kinerja Pengendali Level pada Kondensor*. 3(1), 8–14.
- Mary, R. T., Armawi, A., Hadna, A. H., & Pitoyo, A. J. (2017). Geothermal As a Treasure Towards National Energy Resilience. *National Defence*, 23(2, Agustus 2017), 93–113.
- McDermott, R., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. (2017). The Basics of FMEA. In *The Basics of FMEA*. <https://doi.org/10.1201/b16656>
- Sari, D. P., Marpaung, K. F., Calvin, T., & Handayani, N. U. (2018). Analisis Penyebab Cacat Menggunakan Metode FMEA Dan FTA Pada Departemen Final Sanding PT Ebako Nusantara. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 125–130.
- Surya, A., Agung, S., & Charles, P. (2017). Penerapan Metode FMEA (Failure Mode And Effect Analysis) Untuk Kualifikasi Dan Pencegahan Resiko Akibat Terjadinya Lean Waste. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 6(1), 45–57. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/download/14864/14430>.
- Zakaria, T., & Suryaman, T. (2020). Analisa Kerusakan Kondensor Unit 1- 4 Pltu - Xyz Banten (an Engineering Report Case Study). *Jurnal Intent: Jurnal Industri Dan Teknologi Terpadu*, 3(2), 111–121. <https://doi.org/10.47080/intent.v3i2.957>