

**PENENTUAN KOMPONEN KRITIS *FURNACE* DAN *HEAT EXCHANGER*  
PADA *CRUDE DESTILLATION UNIT* MENGGUNAKAN *FAILURE MODE  
AND EFFECT ANALYSIS***

**Mey Rohma Dhani<sup>1)</sup>, Mochamad Yusuf Santoso<sup>1)</sup>, dan Genggam Jodie Salsabila<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik  
Kimia – ITS Sukolilo, Surabaya, 60111  
E-mail: meyrohmadhani@ppns.ac.id

**Abstract**

The oil refinery is one of the most complex industrial facilities because it has various equipment types and supporting facilities, including the Crude Distillation Unit (CDU). One of the refineries in Indonesia, which is the object of this research, is a refinery owned by the Oil and Gas Human Resources Development Center (PPSDM Migas) Cepu. Damages or failures on the CDU will give an impact on the refinery's performance. Measures are needed to identify the potential hazards that pose a high risk of CDU. Failure mode and effect analysis (FMEA) is used as a general approach to risk analysis that is useful for determining the cause of damage and prevent the damage. The furnace and heat exchanger components on the CDU are identified by their failure mode and their Risk Priority Number (RPN) values are obtained. The cumulative percentage of the RPN is then presented in a Pareto diagram to determine the critical components. The result of the analysis shows that the furnace has two critical components, namely the tube furnace and tube support. The analysis for the heat exchanger gives two critical components, namely a tube heat exchanger and a drain connection.

**Keywords:** *critical component, FMEA, furnace, hazard identification, heat exchanger*

**Abstrak**

Kilang minyak menjadi salah satu fasilitas industri yang sangat kompleks karena memiliki berbagai jenis peralatan proses dan fasilitas pendukungnya, termasuk *Crude Destillation Unit* (CDU). Salah satu kilang di Indonesia, yang menjadi objek penelitian ini, adalah kilang milik Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) Cepu. Terjadinya kerusakan atau kegagalan dalam satu fungsi dari unit yang ada pada CDU akan berdampak pada kinerja kilang. Sehingga diperlukan tindakan-tindakan identifikasi potensi bahaya yang ada untuk mengetahui kemungkinan bahaya yang menimbulkan high risk dari CDU. *Failure mode and effect analysis* (FMEA) digunakan sebagai salah satu pendekatan yang umum untuk menganalisis risiko kerusakan yang berguna untuk mengetahui penyebab kerusakan dan menghasilkan pencegahan terjadinya kerusakan. Komponen dari *furnace* dan *heat exchanger* pada CDU diidentifikasi mode kegagalannya dan didapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN)-nya. Persentase kumulatif dari RPN kemudian disajikan dalam diagram Pareto untuk menentukan komponen kritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa *furnace* memiliki dua komponen kritis, yaitu *tube furnace* dan *tube support*. Untuk *heat exchanger*, terdapat dua komponen kritis yaitu *tube heat exchanger* dan *drain connection*.

**Kata Kunci:** *FMEA, furnace, heat exchanger, identifikasi bahaya, komponen kritis*

## PENDAHULUAN

Penggunaan sumber daya energi yang semakin tinggi dipengaruhi oleh perkembangan teknologi yang semakin pesat. Salah satu sumber energi tersebut adalah minyak bumi dan gas yang banyak digunakan untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri. Fasilitas produksi yang mengolah minyak bumi dan gas menjadi produk petroleum yang dimanfaatkan konsumen adalah kilang minyak (Prima, Satiyawira, Rosyidan, & Samsol, 2018). Kilang minyak menjadi salah satu fasilitas industri yang sangat kompleks [sunardi batan] karena memiliki berbagai jenis peralatan proses dan fasilitas pendukungnya, termasuk *Crude Distillation Unit* (CDU). Kegagalan aset dari fasilitas kompleks tersebut menjadi penyebab umum terjadinya kecelakaan besar pada kilang (Primanoethora & Subagyo, 2019). Salah satu kilang di Indonesia, yang menjadi objek penelitian ini, adalah kilang milik Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) Cepu.

Terjadinya kerusakan atau kegagalan dalam satu fungsi dari unit yang ada pada CDU akan berdampak pada kinerja kilang. Apabila terjadi suatu kerusakan atau kegagalan akan memengaruhi proses produksi, biaya kerugian, kualitas produk yang dihasilkan akan menurun, dan lain-lain. Sementara itu, unit yang ada pada CDU beroperasi 24 jam. Sehingga diperlukan tindakan-tindakan identifikasi potensi bahaya yang ada untuk mengetahui kemungkinan bahaya yang menimbulkan *high risk* dari CDU (Asy'ari & Musyafa', 2015).

Berdasarkan kejadian yang telah terjadi di beberapa perusahaan seperti halnya pada (Fauzie & Rusnaldy, 2014) kegagalan ini terjadi di dalam furnace pada pipa bagian *elbow* 180° setelah 3 tahun bekerja. Pipa ini berfungsi untuk menyalurkan minyak mentah (*crude oil*) menuju ke proses distilasi dalam industri pengolahan migas. Kegagalan utama lainnya yang terjadi pada *heat exchanger* saat kondisi operasi disebabkan karena adanya *fouling* (Rahmadani, 2017). *Fouling* pada *heat exchanger* dapat didefinisikan sebagai pembentukan deposit pada permukaan sisi *shell and tube heat exchanger* yang dapat menghambat perpindahan panas dan meningkatkan hambatan aliran fluida pada *heat exchanger* tersebut (Ibrahim, 2012).

Dari uraian yang ada pada permasalahan diatas, maka perlu dilakukan analisis kegagalan komponen dalam *furnace* dan *heat exchanger* pada CDU. Risiko akibat kerusakan khususnya pada komponen-komponen kritis bagian *boiler* saat ini belum

pernah dilakukan dan belum diketahui secara pasti (Pamungkas & Irawan, 2020). *Failure mode and effect analysis* (FMEA) digunakan sebagai salah satu pendekatan yang umum untuk menganalisis risiko kerusakan yang berguna untuk mengetahui penyebab kerusakan dan menghasilkan pencegahan terjadinya kerusakan (Hasbullah, Kholil, & Santoso, 2017).

Penggunaan FMEA berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengetahui setiap kegagalan dan efek yang ditimbulkan dari masing masing komponen yang terdapat pada *furnace* dan *heat exchanger*. Lalu mencari tahu komponen kritis dari *furnace* dan *heat exchanger* menggunakan Diagram Pareto. Diagram Pareto dapat mengurutkan suatu klasifikasi data dari kiri ke kanan berdasarkan urutan ranking tertinggi hingga terendah (Saputra & Santoso, 2021). Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang paling penting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan masalah yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah) (Ramadhani, Suci, Wilandari, & Suparti, 2014). Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan komponen kritis dari *furnace* dan *heat exchanger* pada CDU menggunakan FMEA dan Diagram Pareto.

## METODE PENELITIAN

Penentuan komponen dari unit *furnace* dan *heat exchanger* yang ada pada CDU didapat dari wawancara *expert judgement* dengan para teknisi dan operator yang bertanggung jawab atas berjalannya proses pengolahan minyak tersebut. Komponen yang diidentifikasi adalah komponen yang berhubungan langsung dengan proses pengolahan minyak mentah.

Komponen-komponen tersebut kemudian dianalisis menggunakan FMEA. Analisis FMEA diawali dengan identifikasi mode kegagalan potensial dan efek yang ditimbulkannya. Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *severity* atau keparahan (*S*), *occurrence* atau frekuensi kejadian (*O*) dan *detection* (*D*) dari masing-masing mode kegagalan (M.A. Bennett, Robin McDermott, & Beauregard, 2017). Nilai *S*, *O* dan *D* didapatkan dari *brainstorming* dengan tenaga ahli (dalam hal ini operator kilang). Selain itu, pedoman operasional perusahaan digunakan untuk menentukan nilai tingkat keparahan dan tingkat frekuensi kejadian, yang ditunjukkan secara berurutan pada Tabel 1 dan 2. Sedangkan untuk tingkat deteksi, digunakan Tabel 3 sebagai referensi. Setelah

mendapatkan ketiga nilai tersebut, akan dilakukan perhitungan nilai RPN menggunakan persamaan (1).

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Tabel 1  
Kriteria Tingkat Dampak/Keparahan (*S*) (MIGAS, 2018)

Score	Tingkat Keparahan	Keterangan
1	Kecil	Bisa Kembali bekerja setelah perawatan ringan.. Tidak menyebabkan pencemaran Limbah B3. Penyebaran hanya area kerja. Pemulihan <12 jam
2	Ringan	Menyembuhkan sepenuhnya, tidak meninggalkan cacat. Tidak menyebabkan pencemaran Limbah B3. Penyebaran hanya area kerja. Pemulihan 12-24 jam
3	Serius	Penyembuhan lebih cepat dari cedera berat (masih bisa sembuh dan bekerja Kembali). Tidak menyebabkan pencemaran Limbah B3. Penyebaran hanya area kerja
4	Berat	Penyembuhan jangka panjang dan cacat permanent (tidak bisa bekerja di tempat berat). Ada regulasi K3/lingkungan dan tidak memenuhi/melanggar. Tidak menyebabkan pencemaran limbah B3. Penyebaran hingga luar area kerja radius 1 km
5	Parah	Mengakibatkan kematian atau tidak bisa bekerja kembali. Mengakibatkan penyakit akibat kerja. Ada regulasi K3/lingkungan dan tidak memenuhi/melanggar. Adanya pencemaran limbah B3. Penyebaran hingga luar area kerja radius lebih 1 km

Tabel 2  
Kriteria Tingkat Frekuensi Kejadian (*O*) (MIGAS, 2018)

Rating	Score	Deskripsi
Sangat jarang	1	Kemungkinan sangat kecil atau tidak terjadi pada setiap bulan.
Jarang terjadi	2	Kemungkinan terjadi sekali pada setiap bulan.
Kadang-kadang	3	Kemungkinan kejadian 2-3x/bulan
Sering	4	Kemungkinan kejadian 4-5x/bulan atau selalu terjadi dalam setiap minggu.
Selalu Terjadi	5	Kemungkinan kejadian setiap hari.

Tabel 3  
Kriteria Tingkat Deteksi (*D*) (Utami, Moesriati, & Karnaningroem, 2016)

Ranking	Detection	Deskripsi
1	Pasti	Dapat langsung dideteksi
2	Mudah	Dapat dideteksi setelah terjadi
3	Cukup Sulit	Dapat diketahui setelah proses keseluruhan unit
4	Sulit	Dibutuhkan pengecekan terhadap keseluruhan unit
5	Sangat Sulit	Hasil deteksi tidak mampu terepresentasi secara akurat

Hasil perhitungan nilai RPN kemudian diurutkan dari yang terbesar untuk dilakukan pemeringkatan. Analisa kemudian dilanjutkan dengan bantuan Diagram Pareto untuk

menentukan komponen mana yang termasuk kritis. Dari analisa diagram pareto, akan didapatkan nilai RPN yang mendominasi (mencapai 20%) (Saputra & Santoso, 2021). Komponen inilah yang akan menjadi komponen kritis pada *furnace* dan *heat exchanger*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil obeservasi di lapangan, didapatkan didapatkan 7 (tujuh) komponen pada *furnace* dan 9 (sembilan) komponen pada *heat exchanger*. Masing-masing komponen kemudian dilakukan FMEA. Contoh hasil penentuan nilai *S*, *O* dan *D* untuk *furnace* dan *heat exchanger* masing-masing secara berurutan ditunjukkan pada Tabel 4. Dari Tabel 4, nilai RPN dari masing-masing komponen telah diberikan. Nilai RPN untuk seluruh komponen dari *furnace* disajikan pada Tabel 5, sedangkan untuk *heat exchanger* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 4  
Hasil Pengerjaan Tabel FMEA pada *Furnace*

FMEA PROCES <i>Furnace</i>										
<i>Line</i>	<i>Component &amp; function</i>	<i>Potential failure mode</i>	<i>Potential effect (s) of failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Potential cause (s) of failure</i>	<i>Occurance</i>	<i>Current control, prevention</i>	<i>Current control, detection</i>	<i>Detection</i>	RPN
1	Bridge Wall untuk membuat arah nyala yang baik dan mengalirnya flue gas ke stack.	Temperature tinggi pada Bridge Wall	Batu Refractory Pecah	2	Bahan bakar yang masuk terlalu banyak	3	Pengecekan secara rutin pada temperturnya	Ada deteksi pada temperature indikator	2	12
2	Stack damper untuk mengatur pembuangan flue gas yang akan melewati stack	Stack damper tidak berfungsi	Temperature rendah / Panas terbuang	1	Handle pengaturan stack damper rusak	5	Pengecekan kondisi pengaturan stack damper pada pelumasnya	Handle tidak bisa digerakkan / macet	3	15

Pada Tabel 5 dan Tabel 6, diurutkan komponen dengan nilai RPN tertinggi ke terendah. Nilai persentase dari RPN setiap komponen didapatkan dari perbandingan nilai RPN setiap komponen dengan total nilai RPN dari seluruh komponen. Persentase RPN

dari *furnace* kemudian disajikan dalam Dalam Pareto pada Gambar 1, sedangkan untuk *heat exchanger* disajikan pada Gambar 2.

Tabel 5  
RPN Komponen pada *Furnace*

No.	Komponen	Kegagalan	RPN	Persentase (%)	Persentase kumulatif (%)
1	Tube Furnace	Tube Pecah	20	15,50	15,50
2	Tube support	Tube support patah	18	13,95	29,46
3	Explosion door	Panel explosion door tidak berfungsi	16	12,40	41,86
4	Burner	Komponen terjadi gangguan	16	12,40	54,26
5	Soot blower	Adanya kerak atau jelaga yang terjadi pada tube luar	16	12,40	66,67
6	Air Register	Control valve air register tidak berfungsi	16	12,40	79,07
7	Stack damper	Stack damper tidak berfungsi	15	11,63	90,70
8	Bridge wall	Temperature tinggi pada Bridge Wall	12	9,30	100

Tabel 5  
RPN Komponen pada *Heat Exchanger*

No.	Komponen	Kegagalan	RPN	Persentase (%)	Persentase kumulatif (%)
1	Tube HE	Tube pecah	18	13,85	13,85
2	Drain connection	Terjadi kebuntuan pada drain connection	16	12,31	26,15
3	Shell	Terjadi kebocoran	15	11,54	37,69
4	Tube HE	Tube bocor	15	11,54	49,23
5	Stationary head - Channel	Penyumbatan kerak pada komponen	15	11,54	60,77
6	Stationary head nozzle	Penyumbatan kerak pada komponen	15	11,54	72,31
7	Cannel cover	Packing / Sambungan antara cover kendor / putus	12	9,23	81,54
8	Baffle	Baffle patah	12	9,23	90,77
9	Stationary tube sheet	Korosi pada Stationary tube sheet	12	9,23	100

Berdasarkan Diagram Pareto untuk *furnace*, persentase RPN yang mencapai 20% didapatkan dari dua komponen, yaitu *Tube furnace* dan *Tube support*. Kedua komponen

kemudian dinyatakan sebagai komponen kritis. Hal ini karena berdasarkan konsep Diagram Pareto (Grosfeld-nir, Ronen, & Kozlovsky, 2007), kedua komponen tersebut akan mendominasi penyebab kegagalan *furnace*. Lebih lanjut, kedua komponen tersebut harus segera dicari penyebab kegagalannya dan dilakukan pengendalian (Grosfeld-nir et al., 2007), agar tidak menyebabkan *furnace* gagal beroperasi. Analisa yang sama dilakukan untuk *heat exchanger*. Berdasarkan Gambar 2, komponen yang persentase nilai RPN-nya mencapai 20% adalah *Tube heat exchanger* dan *drain connection*. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua komponen tersebut menjadi komponen kritis dari *heat exchanger*.



Gambar 1. Diagram Pareto *Furnace*



Gambar 2. Diagram Pareto *Heat Exchanger*

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari FMEA, didapatkan nilai RPN dari komponen yang memiliki mode kegagalan pada *furnace* dan *heat exchanger*. Analisis diagram Pareto menunjukkan bahwa komponen kritis yang terdapat pada *furnace* yaitu *tube furnace* dengan mode

kegagalan *tube* pecah dan *tube support* dengan mode kegagalan *tube support* patah. Untuk *heat exchanger*, terdapat dua komponen kritis yaitu *tube heat exchanger* dengan mode kegagalan *tube* pecah dan *drain connection* dengan mode kegagalan berupa *drain connection* yang tidak berfungsi. Keempat komponen kritis tersebut, perlu dianalisa lebih lanjut mengenai penyebab kegagalan masing-masing. Sehingga dapat diberikan tindakan pengendalian yang tepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari, M. K., & Musyafa', A. (2015). Studi HAZOP Berbasis Layer of Protection Analysis Pada Main Fractionator Crude Distillation Unit PT . Pertamina RU VI Balongan. *Jurnal TEKNIK ITS*, 4(1).
- Fauzie, M. M., & Rusnaldy. (2014). Analisa Kegagalan Terhadap Tube Crude Oil Heater (Furnace). *JURNAL TEKNIK MESIN*, 2(1), 85–90.
- Grosfeld-nir, A., Ronen, B., & Kozlovsky, N. (2007). The Pareto managerial principle : when does it apply ? *International Journal of Production Research*, 45(10), 2317–2325. <https://doi.org/10.1080/00207540600818203>
- Hasbullah, H., Kholil, M., & Santoso, D. A. (2017). ANALISIS KEGAGALAN PROSES INSULASI PADA PRODUKSI AUTOMOTIVE WIRES ( AW ) DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS ( FMEA ) PADA PT JLC. *SINERGI*, 21(3), 193–203.
- Ibrahim, H. A.-H. (2012). Fouling in Heat Exchangers. In V. Katsikis (Ed.), *MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications - Volume 3* (pp. 57–96). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/3339>
- M.A. Bennett, Robin McDermott, & Beauregard, M. (2017). *The Basics of FMEA* (2nd ed.). New York: Productivity Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b16656>
- MIGAS, P. Prosedur Identifikasi Bahaya K3L Aspek Lingkungan PPSDM MIGAS, Pub. L. No. PO-MR-09 (2018).
- Pamungkas, I., & Irawan, H. T. (2020). Strategi Pengurangan Risiko Kerusakan Pada Komponen Kritis Boiler di Industri Pembangkit Listrik. *Jurnal Optimalisasi*, 6(1), 86–95.
- Prima, A., Satiyawira, B., Rosyidan, C., & Samsol. (2018). KAJIAN RENTANG BATAS KEWAJARAN UTILISASI PRODUKSI KILANG MINYAK INDONESIA. *Jurnal Petro*, VII(3), 89–92.
- Primanochora, C. N., & Subagyo. (2019). Identifikasi Waktu Kerusakan Mesin Ditinjau dari Tingkat Keandalan, Waktu Perbaikan, dan Spesifikasi Mesin. In *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada* (pp. M10–M14).
- Rahmadani, F. A. (2017). *Optimasi Kondisi Operasi Untuk Mengurangi Fouling Pada Heat Exchanger Di Residual Fluid Catalytic Cracking Unit (RFCC) PT. Pertamina (Persero) RU IV-Cilacap*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ramadhani, Suci, G., Wilandari, Y., & Suparti. (2014). Analisis pengendalian kualitas menggunakan diagram kendali demerit (studi kasus produksi air minum dalam kemasan 240 ml di PT TIW). *Jurnal Gaussian*, 3(3), 401–410.
- Saputra, R., & Santoso, D. T. (2021). ANALISIS KEGAGALAN PROSES PRODUKSI PLASTIK PADA MESIN CUTTING DI PT . PKF DENGAN PENDEKATAN

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DAN DIAGRAM PARETO.

*Barometer*, 6(1), 322–327.

- Utami, E. A. Y., Moesriati, A., & Karnaningroem, N. (2016). Risiko Kegagalan pada Kualitas Produksi Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Sukolilo Surabaya Menggunakan Failure Mode and Effect Analysis ( FMEA ). *Jurnal TEKNIK ITS*, 5(2), F279–F283.