

Analisa Perawatan Ketel Uap Takuma N-600SA Menggunakan Metode FMEA, ANOVA dan RBD di PT. Perkebunan Nusantara III

Eko Yohanes Setyawan¹, Even Pranata Tarigan²

¹Institut Teknologi Nasional Malang; Jl. Sigura-gura NO. 2 Malang, Telp; (0341) 551431 Jurusan Teknik Mesin, FT ITN Malang, Malang

²Universitas Sumatera Utara, Jalan Dr. Mansur No. 1, Medan 20155

Telp./Fax: (061) 8213250

Departemen Teknik Mesin, FT USU, Medan

E-mail: yohanes@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Ketel uap merupakan alat yang berfungsi untuk menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik. Alat ini sering disebut sebagai jantung dari pabrik kelapa sawit. Ketel uap yang dipakai di PT. Perkebunan Nusantara III adalah ketel uap Takuma buatan PT. Super Andalas Steel. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui komponen kritis pada ketel uap dengan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), mengetahui rentang nilai RPN FMEA menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA) dan menentukan nilai keandalan mesin menggunakan metode Reliability Block Diagram (RBD). Dari hasil pengolahan data yang diperoleh dari perusahaan dengan menggunakan metode FMEA, didapat komponen dengan Risk Priority Number (RPN) tertinggi adalah komponen Superheater dengan nilai RPN 168. Dari hasil pengolahan data asumsi dengan menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA) diperoleh rentang data antara komponen dengan nilai asumsi tertinggi dan komponen dengan nilai asumsi terendah adalah sebesar 37,892. Dan dari hasil perhitungan keandalan dengan metode Reliability Block Diagram, didapat keandalan mesin ketel uap secara real adalah sebesar 42,69%; dan setelah dilakukan upaya perbaikan manajemen pekerjaan dan menggunakan peralatan yang mumpuni, maka didapat nilai keandalan sebesar 67,98%. Dengan adanya kajian ini, diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk membuat rancangan pencegahan sehingga mengurangi kuantitas kegagalan pada ketel uap

Kata kunci : *Ketel Uap, FMEA, ANOVA dan RBD*

ABSTRACT

Steam boilers are devices that function to produce steam that is used for factory process needs. This tool is often referred to as the heart of the palm oil mill. Steam boilers used at PT. Nusantara III Plantation is a Takuma boiler made by PT. Super Andalas Steel. The purpose of this study was to determine the critical components of the boiler with the method of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), to know the range of RPN FMEA values using the Analysis of Variance (ANOVA) method and determine the reliability value of the machine using the Reliability Block Diagram (RBD) method. From the results of processing the data obtained from the company using the FMEA method, the highest component with the Risk Priority Number (RPN) is the Superheater component with RPN 168 value. From the results of the assumption data processing using the Analysis of Variance (ANOVA) method, data ranges between components are obtained. with the highest assumption value and the component with the lowest assumption value is 37.889. And from the results of reliability calculations with the Reliability Block Diagram method, the reliability of the boiler engine in real is obtained by 42.69%; and after an effort to improve work management and use qualified equipment, a reliability value of 67.98% was obtained. With this study, it is expected that it can be useful as a reference to make a preventive plan so as to reduce the quantity of failure in the boiler

Keywords : *Steam boiler, FMEA, ANOVA and RBD*

PENDAHULUAN

Ketel uap mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah Pabrik Kelapa Sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari Pabrik Kelapa Sawit. Fungsi dari ketel uap adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik.

Peralatan pabrik yang berupa sistem ketel uap merupakan aset yang sangat penting bagi perusahaan. Ketel uap disini mempunyai peranan penting dalam proses produksi uap, dimana uap ini nantinya akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap sebagai penghasil energi listrik untuk kebutuhan pabrik dan uap keluaran turbin digunakan untuk proses perebusan (*sterilizer*) dan proses pemurnian minyak (Klarifikasi).

Pada sistem ketel uap sering terjadi kerusakan pada bagian pipa yang berguna untuk mengalirkan uap yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar berupa cangkang dan serabut. Pipa mengalami keretakan dan mengalami pecah dikarenakan pembentukan kerak di bagian dalam pipa. Kerak yang terbentuk di bagian dalam pipa bersifat isolasi terhadap panas dan mengakibatkan pipa terlalu banyak menerima panas (*overheating*) karena panas tidak terdistribusi secara total ke air umpan yang mengalir di dalamnya.

Adapun metode perawatan yang sering dilakukan adalah perawatan ketel uap secara Preventif (*Preventif maintenance*). Perawatan ketel uap ini dimaksudkan untuk menjaga keadaan peralatan sebelum peralatan itu menjadi rusak. Pada dasarnya, perawatan ketel uap yang dilakukan adalah untuk mencegah timbulnya kerusakan - kerusakan yang tak terduga dan menentukan keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Dengan demikian semua fasilitas – fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan preventif akan terjamin kelancaran kerjanya dan selalu diusahakan dalam kondisi yang siap digunakan untuk setiap proses produksi setiap saat. Hal ini memerlukan suatu rencana dan jadwal perawatan ketel uap yang sangat cermat dan rencana yang lebih tepat.

METODOLOGI PENELITIAN

Data Objek Penelitian

Beberapa data yang dikumpulkan sebagai bahan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Parameter Desain yang Terkait dengan Analisa Kegagalan
- Kriteria Air Umpan
- Aliran Air Umpan
- Peluang Kegagalan Pada Komponen Ketel Uap
- Identifikasi Keparahan Komponen Ketel Uap
- Identifikasi Frekuensi Terjadinya Kegagalan
- Identifikasi Kemampuan Mendeteksi Kegagalan
- Identifikasi Keandalan Komponen

Jenis Penelitian

Adapun metode penelitian yang dilakukan penulis adalah metode studi kasus berdasarkan survey lapangan. Survey dilakukan untuk mengetahui bagaimana kegiatan pemeliharaan pada ketel uap yang dilakukan perusahaan. Serta melakukan studi literatur agar penelitian yang dilakukan memiliki pedoman yang kuat

Pemilihan Metode yang Digunakan

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan pada suatu alat, yaitu :

- Pada analisa kegagalan komponen-komponen ketel uap, penulis akan menggunakan metode yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)
- Untuk menghitung keandalan komponen ketel uap menggunakan *Analysis Of Variance* (ANOVA) satu arah
- Untuk menghitung keandalan sistem, penulis menggunakan metode *Reliability Block Diagram* (RBD)

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan penulis adalah di PTPN III PKS Sei Mangkei, Simalungun, Sumatera Utara. Adapun waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama 14 hari kerja (16-30 Oktober 2017)

Pelaksanaan Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian terhadap Ketel uap di PTPN III Sei Mangkei, dilakukan pendekatan-pendekatan dengan dimulai dengan :

- Menentukan Masalah
- Studi Literatur
- Peninjauan Lapangan (Survey)
- Pengumpulan Data
 - Sumber data yang diperoleh dari penelitian ini berasal dari :
 - Data primer
 - Data sekunder
- Pengolahan Data
- Analisa dan Pemecahan Masalah
- Menarik Kesimpulan Dari Hasil Penelitian

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Penanganan Perawatan Pada Ketel uap

Adapun kegiatan yang dilakukan adalah:

- Melakukan inspeksi harian, mingguan, bulanan, dan tahunan
- Mencatat hasil kegiatan mulai dari preventif sampai dengan perbaikan.
- Mengawasi pekerjaan yang dilakukan oleh pihak pabrik.

- d) Menerima laporan kerusakan dari operator dan membuat *work order*.
- e) Menjaga kegiatan perbaikan dan perawatan.
- f) Melakukan indentifikasi aspek, penentuan tujuan, sasaran dan program

Tabel FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Empat langkah utama dalam kinerja FMEA adalah sebagai berikut :

- a) Mendefinisikan sistem, fungsi-fungsi dan komponen-komponennya
- b) Mengidentifikasi penyebab kerusakan komponen
- c) Mempelajari akibat dari penyebab kerusakan komponen
- d) Kesimpulan dan saran

Perhitungan ANOVA Menggunakan Data FMEA

Dari 16 komponen yang diolah pada metode FMEA, 9 komponen yang akan diolah datanya pada ANOVA, dikarenakan 7 komponen memiliki RPN di bawah 10. Apabila dimasukkan ke pengolahan SPSS, akan mengacaukan analisa data pada SPSS, karena akan menjadi nilai ekstrim (*outliers*). 9 komponen yang akan diolah pada SPSS adalah :

- a) Drum atas
- b) Drum bawah
- c) *Dust Collector*
- d) Pipa Evaporasi
- e) *Superheater*
- f) *Fire Grate*
- g) *Induced Draft Fan (IDF)*
- h) *Primary Forced Draft Fan (Primary FDF)*
- i) *Secondary Forced Draft Fan (Secondary FDF)*

Setelah memasukkan data asumsi ke SPSS, dengan beberapa konfigurasi pada SPSS, maka didapat data-data serta tabel seperti berikut :

Tabel 4.1 Uji Kenormalan Data Asumsi

| | | Tests of Normality | | | | | |
|----------|-------------------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
| | | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| Komponen | | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| RPN | Drum atas | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,515 |
| | Drum bawah | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,515 |
| | Dust Collector | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,514 |
| | Pipa Evaporator | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,511 |
| | Superheater | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,511 |
| | Fire Grate | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,515 |
| | Induced Draft Fan | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,514 |
| | Primary FDF | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,511 |
| | Secondary FDF | ,076 | 21 | ,200 [*] | ,960 | 21 | ,514 |

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

(Sumber :Hasil Analisa SPSS)

Pada Tabel 4.1, terdapat dua uji normalitas, ada Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. Pedoman pengambilan keputusan:

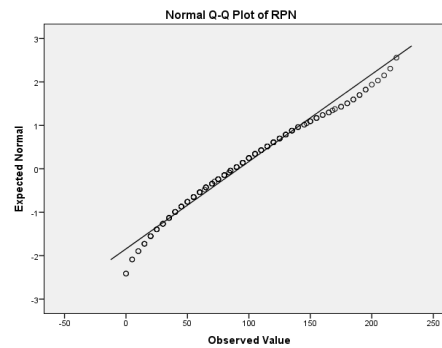
- 1. Nilai Sig. atau signifikasi atau nilai probabilitas < 0,05 maka distribusi adalah tidak normal.
- 2. Nilai Sig. atau signifikasi atau nilai probabilitas > 0,05 maka distribusi adalah normal.

Pada kedua uji kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk di Tabel 4.1, pada kolom signifikan (disingkat sig.) nilainya adalah > 0,05, maka distribusi nilai data dapat dinyatakan **normal**

Dari hasil pengolahan data diatas menghasilkan pula data tambahan yang berupa sebuah grafik dan hasil yang berjudul *Normal Q-Q Plots, Detrended Normal Q-Q Plots* dan *Box-Plot* . Data tambahan ini sangat berguna sebagai data pendukung bahwa data yang kita dapat berdistribusi normal.

Normal Q-Q Plot Data Asumsi

Garis diagonal dalam grafik ini menggambarkan keadaan ideal dari data yang mengikuti distribusi normal. Titik-titik di sekitar garis adalah keadaan data yang kita uji.

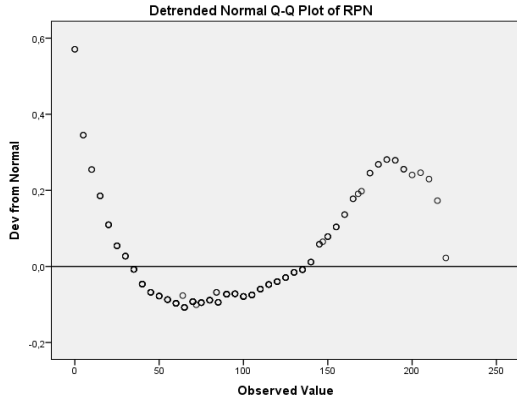


Gambar 4.1 *Normal q-q plot* pada seluruh komponen ketel uap (Sumber :Hasil Analisa SPSS)

Dari grafik diatas dapat dilihat semua titik tersebar di sekitar garis diagonal dan tidak mempunyai nilai ekstrim (*outlier*), maka dapat dikatakan bahwa data asumsi **telah terdistribusi normal**

Detrended Q-Q Plot Data Asumsi

Grafik ini menggambarkan selisih antara titik-titik dengan garis diagonal pada grafik sebelumnya. Jika data yang kita miliki mengikuti distribusi normal dengan sempurna, maka semua titik akan jatuh pada garis 0,0.

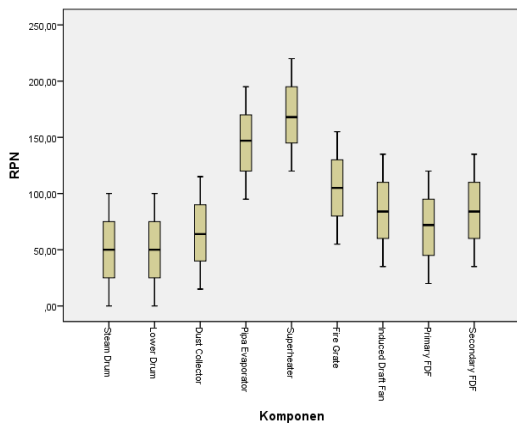


Gambar 4.2 Detrended q-q plot pada seluruh komponen ketel uap
(Sumber : Hasil Analisa SPSS)

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa titik-titik yang merupakan data yang kita miliki, tersebar di sekitar garis 0. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa **data terdistribusi normal**

Box Plot Data Asumsi

Selanjutnya, ada 1 jenis data output lagi yang didapat dari proses pengolahan data ANOVA menggunakan SPSS, yaitu Box-Plot, seperti ditunjukkan gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3 Box Plot Pada Keseluruhan Komponen Ketel Uap
(Sumber : Hasil Analisa SPSS)

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa data berbentuk simetris. Jika dilihat setiap komponennya garis median akan berada di tengah *box* dan *whisker* bagian atas dan bawah akan memiliki panjang yang sama serta tidak terdapat nilai *outlier* ataupun nilai ekstrim. Kriteria tersebut menunjukkan **data terdistribusi normal**.

Uji ANOVA Data Asumsi

Berikut adalah hasil uji ANOVA berdasarkan data asumsi dari FMEA menggunakan SPSS :

Tabel 4.2 Hasil Uji ANOVA Data Asumsi

| ANOVA | | | | | |
|----------------|----------------|-----|-------------|--------|------|
| RPN | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | 291794.042 | 8 | 36474.255 | 37.892 | .000 |
| Within Groups | 173264.286 | 180 | 962.579 | | |
| Total | 465058.328 | 188 | | | |

(Sumber : Hasil Analisa SPSS)

Dari tabel di atas, di dapat nilai F = 37,892 yang berarti jarak rentang tingkat prioritas kerusakan antara satu komponen dengan komponen lainnya relatif normal yaitu sebesar 37,892.

Reliability Block Diagram (RBD)

Untuk mencari nilai keandalan setiap komponen, harus menggunakan data yang diperoleh dari pabrik. Data itu berupa kerusakan apa saja yang pernah terjadi, pada data tersebut didapat waktu kerusakan atau sering disebut *logbook maintenance*. Setelah itu kita tentukan berapa lama mesin bekerja, penulis mengambil 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 jam. Komponen yang akan dihitung keandalannya adalah komponen yang sebelumnya diolah pada uji ANOVA.

Langkah pertama untuk mencari nilai keandalan adalah mencari MTBF (*Mean Time Between Failure*) setiap komponen ketel uap, dengan rumus :

$$MTBF = \frac{(Operating\ time)}{(Number\ of\ failure)}$$

Dari rumus di atas, nilai MTBF setiap komponennya adalah sebagai berikut :

$$MTBF\ Drum\ atas = \frac{5700\ hours}{13} = 439\ hours$$

$$MTBF\ Drum\ bawah = \frac{5700\ hours}{6} = 950\ hours$$

$$MTBF\ Dust\ Collector = \frac{5700\ hours}{11} = 518\ hours$$

$$MTBF\ Pipa\ Evaporasi = \frac{5700\ hours}{6} = 950\ hours$$

$$MTBF\ Superheater = \frac{5700\ hours}{7} = 814\ hours$$

$$MTBF\ Fire\ Grate = \frac{5700\ hours}{17} = 335\ hours$$

$$MTBF\ IDF = \frac{5700\ hours}{12} = 475\ hours$$

$$MTBF\ PFDF = \frac{5700\ hours}{13} = 439\ hours$$

$$MTBF\ SFDF = \frac{5700\ hours}{12} = 475\ hours$$

Setelah didapat nilai MTBF setiap komponennya, selanjutnya dicari *failure rate* setiap komponen ketel uap, dengan rumus :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Dari rumus di atas, maka didapat nilai *failure rate* tiap komponen ketel uap adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\lambda \text{ Drum atas} &= \frac{1}{439} = 0,002278 \\ \lambda \text{ drum bawah} &= \frac{1}{950} = 0,001053 \\ \lambda \text{ dust collector} &= \frac{1}{518} = 0,001931 \\ \lambda \text{ pipa air} &= \frac{1}{950} = 0,001053 \\ \lambda \text{ superheater} &= \frac{1}{814} = 0,001229 \\ \lambda \text{ fire grate} &= \frac{1}{335} = 0,00299 \\ \lambda \text{ IDF} &= \frac{1}{475} = 0,002105 \\ \lambda \text{ PFDF} &= \frac{1}{439} = 0,002278 \\ \lambda \text{ SFDF} &= \frac{1}{475} = 0,002105\end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai MTBF dan *Failure Rate* tiap komponen ketel uap, dicari nilai keandalannya pada 6 variasi jam kerja, yaitu 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 jam kerja dengan rumus :

$$R_{(t)} = e^{-(\lambda \cdot t)}$$

Dengan : $R_{(t)}$ = Nilai Keandalan
 e = Nilai Konstanta Bilangan Real
 λ = *Failure Rate* komponen
 t = Waktu perhitungan yang diinginkan

Perhitungan keandalan sistem dilakukan per-variasi jam kerja. Pertama dicari keandalan tiap komponennya, setelah itu menghitung keandalan sistem dengan cara mengalikan keandalan tiap komponennya sehingga didapat nilai keandalan sistem menurut jam kerja :

- Pada 50 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 42,69\%$
- Pada 60 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 36,01\%$
- Pada 70 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 30,38\%$
- Pada 80 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 25,62\%$
- Pada 90 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 21,61\%$
- Pada 100 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 18,23\%$

Dari hasil perhitungan keandalan sistem ketel uap di atas, diperoleh nilai keandalan tertinggi pada 50 jam kerja, dan nilai tersebut termasuk nilai keandalan yang rendah.

Oleh karena itu, dilakukan rekayasa untuk menentukan jumlah kegagalan yang diperbolehkan agar didapat nilai keandalan diatas 50%, sebagai berikut :

- Menggunakan komponen dibawah kondisi operasional yang dipersyaratkan
- Mengikuti *Standard Operational Procedure* (SOP) yang berlaku di perusahaan
- Menggunakan bahan material yang telah ditetapkan pada *manual book*
- Menggunakan alat pendeteksi kerusakan
- Kedisiplinan para operator yang bertugas di lapangan
- Ketegasan para Staf terhadap operator
- Menggunakan metode perawatan yang tepat

Setelah dilakukan beberapa langkah rekayasa di atas, dilakukan perhitungan keandalan kembali dengan jumlah kegagalan yang diperbolehkan.

Perhitungan MTBF setelah rekayasa perawatan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{MTBF Drum atas} &= \frac{5700 \text{ hours}}{6} = 950 \text{ hours} \\ \text{MTBF Drum bawah} &= \frac{5700 \text{ hours}}{3} = 1900 \text{ hours} \\ \text{MTBF Dust Collector} &= \frac{5700 \text{ hours}}{5} = 1140 \text{ hours} \\ \text{MTBF Pipa Evaporasi} &= \frac{5700 \text{ hours}}{3} = 1900 \text{ hours} \\ \text{MTBF Superheater} &= \frac{5700 \text{ hours}}{8} = 713 \text{ hours} \\ \text{MTBF Fire Grate} &= \frac{5700 \text{ hours}}{5} = 1140 \text{ hours} \\ \text{MTBF IDF} &= \frac{5700 \text{ hours}}{6} = 950 \text{ hours} \\ \text{MTBF PFDF} &= \frac{5700 \text{ hours}}{5} = 1140 \text{ hours} \\ \text{MTBF SFDF} &= \frac{5700 \text{ hours}}{5} = 1140 \text{ hours}\end{aligned}$$

Setelah itu dicari *failure rate* tiap komponen, didapat :

$$\begin{aligned}\lambda \text{ Drum atas} &= \frac{1}{950} = 0,001053 \\ \lambda \text{ drum bawah} &= \frac{1}{1900} = 0,000526 \\ \lambda \text{ dust collector} &= \frac{1}{1140} = 0,000877 \\ \lambda \text{ pipa air} &= \frac{1}{1900} = 0,000526 \\ \lambda \text{ superheater} &= \frac{1}{713} = 0,001403 \\ \lambda \text{ fire grate} &= \frac{1}{1140} = 0,000877\end{aligned}$$

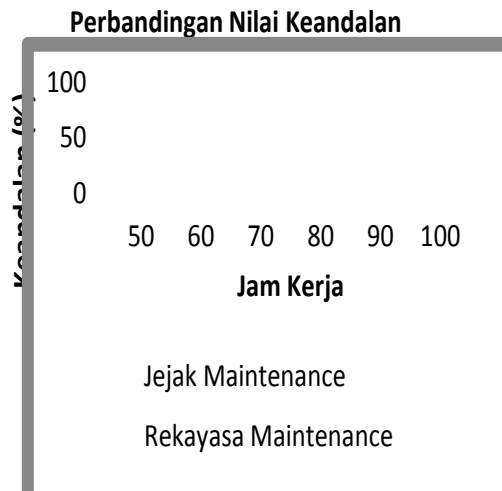
$$\lambda \text{ IDF} = \frac{1}{1140} = 0,000877$$

$$\lambda \text{ PFDF} = \frac{1}{950} = 0,001053$$

$$\lambda \text{ SFDF} = \frac{1}{1140} = 0,000877$$

Selanjutnya, dicari rekayasa keandalan dengan rumus yang sama dengan mencari keandalan sistem sebelumnya, diperoleh :

- Pada 50 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 67,98\%$
- Pada 60 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 62,93\%$
- Pada 70 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 58,26\%$
- Pada 80 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 53,92\%$
- Pada 90 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 49,93\%$
- Pada 100 jam kerja, $R_{\text{sys}} = 46,22\%$



Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Keandalan Sistem Ketel Uap

Dari grafik diatas, diperoleh :

- Pada 50 jam kerja, keandalan meningkat sebesar **25,29%**
- Pada 60 jam kerja, keandalan meningkat sebesar **26,92%**
- Pada 70 jam kerja, keandalan meningkat sebesar **27,88%**
- Pada 80 jam kerja, keandalan meningkat sebesar **28,3%**
- Pada 90 jam kerja, keandalan meningkat sebesar **28,32%**
- Pada 100 jam kerja, keandalan meningkat sebesar **27,99%**

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari analisa yang telah penulis lakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Melalui analisa kegagalan dengan menggunakan metode FMEA maka diketahui bahwa komponen *superheater* menjadi penyebab kegagalan paling dominan dengan nilai RPN paling tinggi yaitu 168.
- Uji ANOVA yang penulis lakukan menggunakan software SPSS menunjukkan bahwa komponen ketel uap memiliki jarak rentang nilai prioritas kerusakan antara RPN tertinggi ke terendah sejauh 37,892.
- Dari rekayasa *maintenance* dengan menggunakan metode RBD untuk mencari keandalan sistem ketel uap, didapat bahwa :
 - Pada 50 jam kerja, keandalan ketel uap meningkat sebesar 25,29% dari 42,69% menjadi 67,98%.
 - Pada 60 jam kerja, keandalan ketel uap meningkat sebesar 26,92% dari 36,01% menjadi 62,93%.
 - Pada 70 jam kerja, keandalan ketel uap meningkat sebesar 27,88% dari 30,38% menjadi 58,26%.
 - Pada 80 jam kerja, keandalan ketel uap meningkat sebesar 28,3% dari 25,62% menjadi 53,92%.
 - Pada 90 jam kerja, keandalan ketel uap meningkat sebesar 28,32% dari 21,61% menjadi 49,93%.
 - Pada 100 jam kerja, keandalan ketel uap meningkat sebesar 27,99% dari 18,23% menjadi 46,22%.

Saran

- Berdasarkan hasil perhitungan keandalan, sebaiknya dilakukan inspeksi rutin setiap 50 jam kerja untuk menjaga sistem ketel uap tetap andal, diatas 50%
- Menambah pengawasan terhadap komponen kritis yaitu *superheater* agar dapat mengurangi jumlah kegagalan yang dapat membahayakan sistem ketel uap.
- Menambah sistem pendeteksi kerusakan yang terupdate untuk menaikkan kemampuan para pekerja dalam mendeteksi kerusakan sistem.
- Menerapkan sistem perawatan secara preventif pada setiap komponen ketel uap untuk mencegah terjadinya kerugian yang lebih besar apabila sistem ketel uap berhenti/*breakdown*.
- Meningkatkan kedisiplinan terhadap operator sistem ketel uap agar melakukan pekerjaannya sesuai *Standard Operational Procedure (SOP)*

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, Nachnul dan M. Imron Mustajib. 2013. Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System). Yogyakarta : Graha Ilmu
- Kurniawan, Fajar. 2013. MANAJEMEN PERAWATAN INDUSTRI. Yogyakarta : Graha Ilmu

- [3] Muin, Syamsir A. 1988. PESAWAT-PESAWAT KONVERSI ENERGI I (KETEL UAP). Jakarta : CV. Rajawali
- [4] Panjaitan, Seno D. 2010. Sistem Otomatisasi Penyuplai Uap Panas pada Sistem Ketel uap berbasis Programmable Logic Controller. Pontianak : Universitas Tanjungpura