

# **ANALISA KEGAGALAN CYLINDER HEAD MESIN DIESEL KOMATSU DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA) DIMEGAPOWER PLTD BENGKALIS**

Suryanto Nasution<sup>1</sup>, Razali<sup>2</sup>  
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis<sup>1,2</sup>  
Jalan Bathin Alam, Sungai Alam Bengkalis  
suryantonasution151195@gmail.com, razali@polbeng.co.id

## *Abstract*

*The diesel motor is an engine that is used as the main driving source. one of its application functions as an electric generator drive. in Megapower Bengkalis PLTD uses Komatsu diesel engine as a generator drive to supply electricity on Bengkalis island. This diesel engine often damages the cylinder head. This study uses the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to analyze the causes of damage to the cylinder head of the Komatsu diesel engine used by PT. Bengkalis PLTD Megapower. FMEA method is a method used to analyze failures that often occur in components that may be the cause of failure of the cylinder head. The results of the analysis obtained by the components of the critical cylinder head based on the Fishbone diagram which are five failures with the greatest potential value of RPN The thought is the Crooked guide (Crosshead) (810), Spring Outer Leakage (720), Spring Inner under Leakage (720), Spring Inner top Leaking (576), Expansion Plug (Large Inside) Detachable (405), and Leaking Steam Valve Seals (400). The five components are the main priority priorities that cause failure in the cylinder head causing interference with the Komatsu diesel engine.*

*Keywords: komatsu diesel engine, Failure Mode and Effect Analysis, fishbone*

## **1. PENDAHULUAN**

Motor diesel merupakan motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*), dimana bahan bakarnya di semprotkan kedalam silinder pada waktu torak hampir mencapai titik mati atas (TMA). Oleh karena udara didalam silinder mempunyai temperatur yang tinggi, maka bahan bakar akan terbakar sendirinya. Motor *diesel* umumnya mempunyai beberapa kontruksi utama di antaranya adalah torak, batang torak, poros engkol, katup, pompa bahan bakar bertekanan tinggi dan mekanisme penggerak lainnya. Daya yang dihasilkan motor *diesel* diperoleh melalui pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam silinder. Hal ini menyebabkan gerakan translasi torak di dalam silinder yang dihubungkan dengan poros engkol pada bantalannya melalui batang penghubung (*Connecting Rod*) (G. Nofica, 2012).

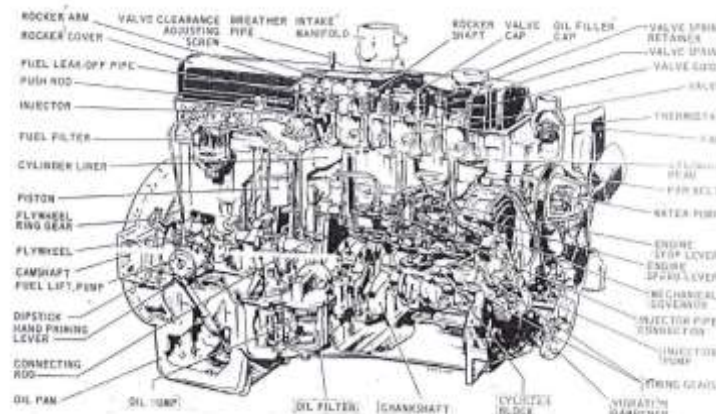
*Cylinder Head* adalah salah satu komponen yang penting dan kompleks dari motor bakar dalam. Merupakan bagian dari ruang bakar, katup masuk dan katup buang dengan *valve seats* dan *valve guides*, injektor, dan sistem pendingin (Rao, 2010). *cylinder head* menutup *cylinder liner*, dibuat dari besi cor atau aluminium, harus kuat supaya dapat menerima tekanan dari pembakaran. Pada *cylinder head* terdapat *spark plug* pada *spark ignition engines*, injektor bahan bakar pada *compression ignition engines*, dan pada *overhead valve engine* terdapat mekanisme buka tutup katup (Heywood, 1988). Silinder head memiliki fungsi lain selain sebagai komponen yang membatasi ruang bakar seperti dijelaskan oleh Gedeon (2012) silinder head pada motor *diesel* memiliki beberapa fungsi. Pertama, penutup dari *cylinder liner*. Kedua,

menjadi struktur yang menopang katup buang dan katup masuk (jika ada), *injektor*, dan beberapa komponen lain yang dibutuhkan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Terjadinya energi panas karena adanya proses pembakaran, bahan bakar, udara, dan sistem pengapian. Dengan adanya suatu konstruksi mesin, memungkinkan terjadinya siklus kerja mesin untuk usaha dan tenaga dorong dari hasil ledakan pembakaran yang diubah oleh konstruksi mesin menjadi energi mekanik atau tenaga penggerak.



Gambar 1. Komponen utama mesin *diesel*.

Sumber: Achmad Kusairi Samlawi 2018

### 2.2. FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*)

Element FMEA dibangun berdasarkan informasi yang mendukung analisa. Beberapa element-element FMEA adalah sebagai berikut:

- Nomer FMEA (FMEA Number)  
Berisi nomer dokumentasi FMEA yang berguna untuk identifikasi dokumen.
- Jenis (item)  
Berisi nama dan kode nomer sistem, subsistem atau komponen dimana akan dilakukan analisa FMEA.
- Penanggung Jawab Proses (Process Responsibility)  
Adalah nama departemen/bagian yang bertanggung jawab terhadap berlangsungnya proses.
- Fungsi Proses (Process Function)  
Adalah deskripsi singkat mengenai proses pembuatan item dimana sistem akan dianalisa.
- Bentuk Kegagalan Potensial (Potential Failure Mode)  
Merupakan suatu kejadian dimana proses dapat dikatakan secara potensial gagal untuk memenuhi kebutuhan proses atau tujuan akhir produk.
- Efek Potensial dari kegagalan (potential Effect of Failure)  
Merupakan suatu efek dari bentuk kegagalan terhadap pelanggan. Dimana setiap perubahan dalam variable dipengaruhi proses akan menyebabkan proses itu menghasilkan produk diluar batas-batas spesifikasi.
- Tingkat Keparahan (Severity)  
Penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan potensial.
- Klasifikasi (Classification)  
Merupakan dokumentasi terhadap klasifikasi karakter khusus dari subproses untuk menghasilkan komponen, sistem atau subsistem tersebut.

- j. Effect Potensial dari kegagalan (Potential Failure Mode)  
Merupakan suatu kejadian dimana proses dapat dikatakan secara potensial gagal untuk memenuhi kebutuhan proses atau tujuan akhir produk.
- k. Keterjadian (Occurance)  
Adalah sesering apa penyebab kegagalan spesifik terjadi.
- l. Pengendalian Proses saat ini (Current Process Control)  
Merupakan penilaian deskripsi dari alat pengendali yang dapat mencegah atau memperbesar kemungkinan bentuk kegagalan terjadi atau mendeteksi terjadinya bentuk kegagalan tersebut.
- m. Deteksi (.Detection)  
Merupakan penilaian dari kemungkinan alat tersebut dapat mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu bentuk kegagalan
- n. Nomer Prioritas Resiko (Risk Priority Number)  
Merupakan angka prioritas resiko yang didapatkan dari perbaikan Severity, Occurrence, dan Detection.  
 **$RPN = S * O * D$**
- o. Tindakan yang direkomendasikan (Recommended Action)  
Setelah bentuk kegagalan diatur sesuai peringkat RPN nya , maka tindakan perbaikan harus segera dilakukan terhadap bentuk kegagalan dengan nilai RPN tinggi.
- p. Tindakan Yang diambil (Action Taken)  
Setelah tindakan diimplementasikan, dokumentasikan secara singkat uraian tindakan tersebut serta tanggal efektifnya.
- q. Hasil RPN (.Resulting RPN)  
Setelah tindakan perbaikan diidentifikasi., perkiraan dan rekam Occurrence, Severity, dan Detection baru yang dihasilkan serta hitung RPN yang baru. Jika tidak ada tindakan lebih lanjut diambil maka beri catatan.
- r. Tindakan Lanjut (Follow Up)  
Dokumentasi proses FMEA akan menjadi dokumen hidup dimana akan dilakukan perbaikan terus menerus sesuai kebutuhan.

### **3. METODOLOGI PENELITIAN**

Metode pengumpulan data adalah suatu cara untuk mengadakan data primer maupun data sekunder untuk keperluan penelitian di lapangan penelitian. Secara umum pengumpulan data, baik primer maupun sekunder dapat di bagi atas beberapa cara, metode pengumpulan data dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **1. Data Primer**

Data primer diperoleh dengan melakukan Riset lapangan. Riset Lapangan (*Field Research*) Adapun cara teknik yang digunakan adalah :

##### **a. Observasi**

Adalah melakukan observasi atau pengamatan langsung kelapangan terhadap kondisi sebenarnya yang terjadi didalam perusahaan yang berhubungan erat dengan permasalahan yang di teliti. Dalam penelitian ini observasi di lakukan terhadap proses pemeliharaan yang dilakukan pada mesin dan peralatan.

##### **b. Interview**

Adalah pengumpulan data dengan cara interview langsung dengan karyawan perusahaan ataupun manegar perusahaan. Metode ini di lakukan untuk mendapatkan data perawatan yang di lakukan perusahaan.

##### **c. Dokumentasi**

Merupakan teknik pengumpulan data dengan mengumpulkan data yang berupa catatan, arsip, buku yang telah ada. Dalam penelitian ini dokumentasi yang diperlukan adalah semua data kerusakan mesin yang ada diindustri.

d. Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang tidak langsung di amati oleh penulis. Data ini merupakan dokumentasi mesin, hasil penelitian yang sudah lalu dan data data penelitian lain.

2. Menentukan Nilai *Severity*

*Severity* (keparahan) adalah nilai yang terkait dengan efek yang paling serius untuk modus kegagalan yang diberikan pada satu komponen yang berpengaruh pada hasil kerja suatu alat. Peringkat nilai *severity* dapat dilihat dengan menggunakan skala 1 sampai dengan 10 yang mencerminkan nilai tingkat bahaya dari yang paling kecil sampai yang paling besar. Penentuan nilai *severity* dari setiap mode kegagalan dilakukan berdasarkan efek yang ditimbulkan oleh kegagalan yang terjadi.

3. Menentukan Nilai *Occurrence*

*Occurance* merupakan tingkat kejadian digunakan untuk mengukur seberapa sering efek dari kegagalan tersebut muncul. Selain itu, *Occurance* juga dapat digunakan untuk menentukan frekuensi terjadinya kegagalan tersebut. Tabel di bawah ini merupakan tingkat frekuensi terjadinya kegagalan dari setiap moda kegagalan potensial.

4. Menentukan Nilai *Detection*

*Detection* (deteksi) ini berhubungan dengan control yang digunakan untuk mendeteksi penyebab terjadinya kegagalan serta tindakan perbaikannya. Pendekatan yang disarankan.

5. Menghitung Nilai *RPN*

*RPN* (*Risk Priority Number*) merupakan salah satu pendekatan untuk membantu dalam menentukan aksi prioritas dengan cara mengalikan nilai dari *Severity*, *Occurrence*, *Detection*.

$$RPN = Severity (S) \times Occurrence (O) \times Detection (D).$$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengambilan Data

Berdasarkan dokumen-dokumen perawatan mesin diesel komatsu di bagian *cylinder head* didapatkan data seperti Tabel 1.

Tabel 1. Potensi Kegagalan

| No | Potensi Kegagalan                     | Waktu Terjadi |
|----|---------------------------------------|---------------|
| 1  | Spring Outer Bawah Bocor              | 36 Bulan      |
| 2  | Spring Inner atas Bocor               | 36 Bulan      |
| 3  | Valve Exhaust Aus                     | 12 Bulan      |
| 4  | Valve Intake Aus                      | 12 Bulan      |
| 5  | Cylinder Head As Tergores             | 24 Bulan      |
| 6  | Gasket Head (Paking) Bocor            | 12 Bulan      |
| 7  | Plug Expansion (Kecil Luar) Tersumbat | 6 Bulan       |
| 8  | Plug Expansion (Besar Dalam) Lepas    | 6 Bulan       |
| 9  | Guide Valve Haus                      | 12 Bulan      |
| 10 | Insert Intake Valve Haus              | 12 Bulan      |
| 11 | Cotter Valve Haus                     | 10 Bulan      |
| 12 | Bolt Head Longgar                     | 12 Bulan      |
| 13 | Seat Spring Lower (Bawah) Haus        | 36 Bulan      |
| 14 | Seat Spring Atas Haus                 | 36 Bulan      |
| 15 | Pipe Haus                             | 36 Bulan      |
| 16 | Grommet Water Keras                   | 36 Bulan      |
| 17 | Grommet Oil Bocor                     | 24 Bulan      |
| 18 | Seal Valve Steam Bocor                | 12 Bulan      |
| 19 | Gasket Heat Bocor                     | 36 Bulan      |
| 20 | Plug Rusak                            | 36 Bulan      |
| 21 | Gasket Air (Jalur Pipa) Bocor         | 24 Bulan      |
| 22 | Bolt (Patah)                          | 24 Bulan      |
| 23 | Guide (Croshead) Bengkok              | 26 Bulan      |
| 24 | Screw Haus                            | 36 Bulan      |

### 4.2 Menentukan Nilai *Severity*, *Occurance*, *Detection* dan *RPN*

Tabel 2. Nilai *severity, occurrence, detection* dan *RPN*

| No | Potensi Kegagalan                     | S  | O  | D | RPN |
|----|---------------------------------------|----|----|---|-----|
| 1  | Spring Outer Bawah Bocor              | 9  | 10 | 8 | 720 |
| 2  | Spring Inner atas Bocor               | 9  | 8  | 8 | 576 |
| 3  | Valve Exhaust Aus                     | 6  | 5  | 7 | 210 |
| 4  | Valve Intake Aus                      | 6  | 4  | 6 | 144 |
| 5  | Cylinder Head As Tergores             | 5  | 6  | 5 | 150 |
| 6  | Gasket Head (Paking) Bocor            | 7  | 7  | 8 | 392 |
| 7  | Plug Expansion (Kecil Luar) Tersumbat | 6  | 6  | 9 | 324 |
| 8  | Plug Expansion (Besar Dalam) Lepas    | 9  | 5  | 9 | 405 |
| 9  | Guide Valve Haus                      | 7  | 4  | 9 | 252 |
| 10 | Insert Intake Valve Haus              | 5  | 5  | 1 | 25  |
| 11 | Cotter Valve Haus                     | 4  | 3  | 2 | 24  |
| 12 | Bolt Head Longgar                     | 9  | 6  | 3 | 162 |
| 13 | Seat Spring Lower (Bawah) Haus        | 6  | 4  | 6 | 144 |
| 14 | Seat Spring Lower (Atas) Haus         | 5  | 3  | 7 | 105 |
| 15 | Pipi Haus                             | 4  | 3  | 8 | 96  |
| 16 | Grommet Water Keras                   | 4  | 5  | 7 | 140 |
| 17 | Grommet Oil Bocor                     | 9  | 10 | 4 | 360 |
| 18 | Seal Valve Stem Bocor                 | 10 | 10 | 4 | 400 |
| 19 | Gasket Head Bocor                     | 9  | 8  | 5 | 360 |
| 20 | Plug Rusak                            | 10 | 1  | 9 | 90  |
| 21 | Gasket Air (Jalur Pipa) Bocor         | 5  | 2  | 7 | 70  |
| 22 | Bolt (Bocor)                          | 5  | 2  | 6 | 60  |
| 23 | Guide (Croshead) Bengkok              | 10 | 9  | 9 | 810 |
| 24 | Screw Haus                            | 7  | 2  | 8 | 112 |

#### 4.3. Analisa Data Kerusakan

Tabel 3. Analisa Data Kerusakan Dengan FMEA

| No | Failure mode             | Failure effect                                                                                 | Failure cause                                                                                                                           | Tindakan yang dilakukan                                                                                                                           |
|----|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Spring Outer Bawah Bocor | 1. bekerja tidak aksimal<br>2. pemborosan pada oli<br>3. mesin terganggu saat beroperasi       | 1. spring outhter sering bocor akibatnya produk tidak baik<br>2. kerusakan pada spring outhter<br>3. masuknya benda lain kedalam spring | 1. perbaiki spring other<br>2. periksa kondisi spring other layak atau tidaknya digunakan dan memastikan tidak ada benda asing yang masuk kedalam |
| 2  | Spring Inner Atas Bocor  | 1. mesin terganggu pada saat pengoperasian<br>2. ruang pembakaran tidak maksimal               | 1. sering terjadi aus pada spring inner<br>2. produk tidak baik<br>3. kurangnya perawatan                                               | 1. periksa kondisi inner pada mesin pada saat mesin off<br>2. lakukan pergantian pada spring ketika ada tanda-tanda bocor pada spring inner atas  |
| 3  | Valve Exhaust Aus        | 1. pembakaran tidak normal<br>2. cepat aus<br>3. kalau tidak diganti dampak pada komponen lain | 1. valve exhaust aus akibat gesekan yang melebihi<br>2. usia pakai valve exhaust                                                        | 1. lakukan pemeriksaan pada valve sebelum diganti<br>2. lakukan pergantian pada valve exhaust<br>3. hindarkan terhadap kekurangan oli             |
| 4  | Valve Intake Aus         | 1. pembakaran tidak normal<br>2. cepat aus<br>3. kalau tidak diganti dampak pada komponen lain | 1. valve intake bisa menyebabkan aus<br>2. pemborosan pada BBM                                                                          | 1. lakukan pemeriksaan setiap akan dilakukan pergantian komponen<br>2. perbaiki kondisi Valve Intake agar lebih baik                              |

|    |                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                            |
|----|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | Cylinder Head As Tergores              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. mesin tidak stabil dalam pengoperasiannya</li> <li>2. sistem tidak dapat bekerja dengan baik</li> </ol>      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. cylinder head as longgar pada mesin akibat gesekan</li> <li>2. sering terjadi aus akibat panas dingin mesi yang berlebihan</li> </ol>                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. lakusn pemeriksaan pada cylinder as layak atau tidakya untuk digunakan</li> <li>2. lakukan pergantian cylinder head as jika ada tanda-tanda kerusakan</li> </ol> |
| 6  | Gasket Head (Paking) Bocar             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. gasket head packing tidak dapat bekerja maksimal</li> </ol>                                                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. banyak benda lain yang masuk kedalam</li> <li>2. kurangnya perawatang yang teratur</li> </ol>                                                                                                             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. lakukan pemeriksaan pada gasket sebelum diganti</li> <li>2. melakukan pergantian gasket</li> </ol>                                                               |
| 7  | Plug Expansion (Kecil Luar) Tersumbat  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. mesin harus di offkan untuk menghindari kerusakan pada komponen yang lain</li> </ol>                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plug Expansion luar sering tersumbat</li> <li>2. Keluarnya air dari plug</li> </ol>                                                                                                                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Melakuakn pemeriksaan oleh mekanik</li> <li>2. bersihkan kotoran yang menyebabkan gangguan</li> </ol>                                                            |
| 8  | Plug Expansion (Besar Dalam) Tersumbat | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. kondisi mesin tidak normal</li> <li>2. pulug expansion dalam tidak dapat berkerja dengan maksimal</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. plug expansion dalam sering tersumbat oleh benda lain</li> <li>2. keluarnya air dalam plug</li> </ol>                                                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. lakukan perawatan berkala dan membersihkan</li> <li>2. lakukan pemeriksaan tersumbat oleh benda lain secara berkala</li> </ol>                                   |
| 9  | Guide Valve Haus                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pembakaran tidak normal</li> <li>2. mesin terganggu</li> <li>3. suara mesin tidak maksimal</li> </ol>        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. guide valve sering terjadi haus</li> <li>2. kondisi guide valve yang tipis akibat pemakaian</li> </ol>                                                                                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. periksa guide valve untuk melihat kondisi layak atau tidak nya</li> <li>2. lakukan pemeriksaan terhadap guide valve setiap akan melakukan perawatan</li> </ol>   |
| 10 | Insert Intake Valve Haus               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pembakaran tidak normal</li> <li>2. mesin terganggu</li> <li>3. suara mesin tidak maksimal</li> </ol>        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. terjadi penipisan pada insert intake valve</li> <li>2. insert intake valve sering haus</li> <li>3. terjadinya longgar pada insert intake valve</li> <li>4. terjadinya goyang pada insert valve</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. lakukan pemeriksaan pada saat mesin di off kan</li> <li>2. harus diganti kalau tidak diganti akan berdampak ke komponen mesin yang lain</li> </ol>               |
| 11 | Cotter Valve Haus                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pembakaran tidak normal</li> <li>2. mesin terganggu</li> <li>3. suara mesin tidak maksimal</li> </ol>        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. cotter valve haus akibat gesekan</li> </ol>                                                                                                                                                               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pergantian cotter valve</li> <li>2. lakukan pemeriksaan pada cotter valve</li> </ol>                                                                             |
| 12 | Bolt Head Longgar                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. mesin tidak dapat beroperasi</li> </ol>                                                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. bolt head sering terjadinya longgar, dan haus</li> </ol>                                                                                                                                                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pergantian komponen bolt head</li> <li>2. lakukan pemeriksaan secara berkala agar tidak menimbulkan kerusakan yang patal</li> </ol>                              |

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa kerusakan komponen *Cylinder Head mesin diesel komatsu di MEGAPOWER PLTD BENGKALIS* dengan menggunakan metode *failure mode and effect analysis (FMEA)* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Penyebab kegagalan pada *cylinder head* DimegaPower PLTD bengkalis karna sirkulasi air tidak lancar, *nozzle* menimbulkan kerak, proses pembakaran tidak sempurna. Menurut analisa, terjadinya keropos pada *cylinder head*, proses pembakaran tidak maksimal dan jika kompres tidak kuat maka harus di ganti komponen-kompone pada *cylinder head*.
2. Untuk mengurangi tingkat kegagalan pada *cylinder head* dilakukan pemeliharaan rutin seperti cek *valve in*, *valve ex* dan d dilakukan kalibrasi *spring* jika ada yang longgar, jika *spring* dan *valve in dan ex* sudah haus maka dilakukan pergantian terhadap *sperpark* tersebut. Jika seluruh *cylinder head* mengalami kerusakan maka dilakukan T.O (*top overhoul*)
3. Berdasarkan failure mode "*guide (croshead)*" memiliki nilai Rpn tertinggi pertama, yaitu 810, kemudian pada "*spring outhur* bawah bocor" memiliki nilai Rpn tertinggi kedua, yaitu 710, kemudian pada "*spring inner* atas bocor" memiliki nilai Rpn tertinggi ketiga, yaitu 576, kemudian pada "*plug expansion* (besar dalam) lepas" memiliki nilai Rpn tertinggi keempat, yaitu 405, kemudian pada "*seal valve steam* bocor" memiliki nilai Rpn tertinggi kelima, yaitu 400. Hal itu artinya perlu mendapat perhatian yang serius untuk diprioritas utama dilakukan perbaikan.
4. Berdasarkan analisis diagram Tulang Ikan (ishikawa) maka dapat dihasilkan usulan perbaikan dengan melibatkan ke enam unsur yaitu unsur mesin seperti kerusakan pada komponen mesin, unsur metode seperti penggunaan fasilitas yang kurang memenuhi syarat, unsur lingkungan seperti lingkungan kurang baik, unsur manusia seperti kelalaian pada operator, unsur materian seperti material kurang baik, dan unsur pengukuran seperti tidak pernah divalidasi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Agung, S. Surya, A., Charles Punuhsingon, P. Metode Fmea (*Failure Mode And Effect Analysis*) Untuk Kuantifikasi Dan Pencegahan Resiko Akibat Terjadinya *Lean Waste*, Jurnal Online Poros Teknik Mesin, 45-57.
- Anthony, M. B. (2016) Analisis Penyebab Kerusakan Hot Rooler Table Dengan Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (Fmea): Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya Vol 4 No 1 Juni 2016, 1-8 p-ISSN 2407-781x, 1-8s.
- G. Nofica. (2012). *Teori Dasar Mesin Diesel*. Diakses dari [www.google.com/Eprints.undip.ac.id](http://www.google.com/Eprints.undip.ac.id).
- Gabriel, S., Ari. N. P. Usulan Perbaikan Untuk Mengurangi Potensi Kegagalan Produk Cacat Pada Mesin, Toshiba Bmc-100(5) Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* Di Pt. Dirgantara Indonesia, 2-7.
- Gunardi, D. A. (2015) Penerapan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Untuk Mendeteksi Prescription Error Pada Resep Poli Jantung Di Instaslasi Rawat Jalan RSUP FATMAWATI. 1-146.
- Iwan, V., Isadli, K. Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Metode Probabilistik Fmea Pada Industri Minyak Dan Gas, 1-6.
- Jannah, R. M., Supriyadi, S., & Nalhadi, A. (2017, November). Analisis Efektivitas Pada Mesin Centrifugal Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (Oee). In *Prosiding Seminar Nasional Riset Terapan| Senasset* (Pp. 170-175).
- Samlawi Kusairi Achmad (2018) Motor Bakar (Teori Dasar Motor Diesel) (Hmkb781.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode And Effect Analysis: FMEA From Theory To Execution*. ASQ Quality Press.
- Suwandono, H. (2016) Analisa Kerusakan Pada Forklift Elektrik Nichiyu Fb20-75c Dengan Metode Fmea, JTM Vol. 05, No. 1, Februari 2016, 2-6.