

Pendokumentasian Kegagalan pada Peralatan *Main Liquid Fuel Pump* GTG 1.1 dan *Accessories Gear Train* GTG 1.1 dengan Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode & Effect Analysis*)

*Willy Noorasheed, Toni Prahasto, Munadi

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: willyrasheed8@gmail.com

Abstract

Maintenance of a company's assets is one of the main activities or actions undertaken with the aim of improving work safety and reduce the cost of expenses of a company. A company can be said to advance if the conditions of income from the company high and small expenditure. This is related to the activity of the maintenance of an asset. Unsuitable care triggers the damage or incidence of failure Mode of an asset. The level of damage and maintenance that is less appropriate to provide opportunities for damage that can be repaired or to be replaced. The high frequency of an asset that is damaged that requires a change to affect the financial condition of the company. Besides that, damage to an asset can also affect the production process that takes place at a company. So that the problem solved one solution that can overcome or reduce the level of damage to an asset that is doing the appropriate treatment. In this research will be an analysis related to the condition of an asset that will be susceptible to damage by using failure mode & effect analysis (FMEA) method. in this method will be identified failure mode that occurs in the associated assets. The identification process will then be assessed according to the condition of the field assets. With these values it can be used to prioritize the assets to be carried out the maintenance action. The results of this study were obtained from the smallest frequency of excitation transformer (PPT) GTG 1.1, protection relay GTG 1.1, liquid fuel stop valve gTG 1.1, load compartment GTG 1.1 with a frequency of 52.3 weeks / failure.

Keyword: asset, frekuensi, failure mode & effect analysis, failure mode

Abstrak

Perawatan suatu *asset* perusahaan merupakan salah satu aktivitas atau tindakan utama yang dilakukan dengan tujuan meningkatkan keselamatan kerja serta menekan biaya pengeluaran dari suatu perusahaan. Suatu perusahaan dapat dikatakan maju apabila kondisi pemasukan dari perusahaan tinggi dan pengeluaran kecil. Hal ini berkaitan dengan aktivitas dari perawatan suatu *asset*. Perawatan yang tidak sesuai memicu kerusakan atau timbulnya modus kegagalan dari suatu *asset*. Besarnya tingkat kerusakan dan perawatan yang kurang sesuai memberikan peluang akan terjadinya kerusakan baik yang dapat diperbaiki maupun yang harus diganti. Tingginya *frekuensi* suatu *asset* yang mengalami kerusakan yang mengharuskan untuk dilakukan pergantian mempengaruhi kondisi keuangan dari perusahaan tersebut. Disamping hal tersebut kerusakan pada suatu *asset* juga dapat mempengaruhi proses produksi yang berlangsung pada suatu perusahaan tersebut. Maka agar masalah tersebut teratasi salah satu solusi yang mampu mengatasi atau mengurangi tingkat kerusakan pada suatu *asset* yaitu melakukan perawatan yang sesuai. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terkait kondisi suatu *asset* yang rawan akan mengalami suatu kerusakan dengan menggunakan metode *failure mode & effect analysis* (FMEA). pada metode ini akan diidentifikasi *mode* kegagalan yang terjadi pada *asset* yang terkait. Proses identifikasi tersebut maka akan diberikan penilaian sesuai kondisi *asset* dilapangan. Dengan nilai tersebut maka dapat digunakan untuk memprioritaskan *asset* yang akan dilakukan tindakan perawatan. Hasil dari Penelitian ini didapatkan besar dari *frekuensi* terkecil *excitation transformer* (PPT) GTG 1.1, *protection relay* GTG 1.1, *liquid fuel stop valve* GTG 1.1, *load compartment* GTG 1.1 dengan memiliki *frekuensi* sebesar 52.3 minggu/ kegagalan.

Kata kunci: asset, frekuensi, failure mode & effect analysis, failure Mode

1. Pendahuluan

Perawatan *asset* perusahaan merupakan suatu bentuk kegiatan yang memiliki tujuan atau *output* dengan menghasilkan atau menjaga suatu *asset* (peralatan) supaya dapat bekerja atau beroperasi dengan baik dan lancar. Disamping hal tersebut perawatan *asset* ini dapat digunakan untuk menekan biaya pengeluaran dari perusahaan yang digunakan untuk mengganti atau melakukan perbaikan terhadap *asset* yang mengalami kerusakan. Sehingga kegiatan produksi dapat berjalan dengan sesuai harapan dan tidak terganggu. Perawatan *asset* sendiri memiliki 2 jenis yaitu meliputi *preventive maintenance* dan

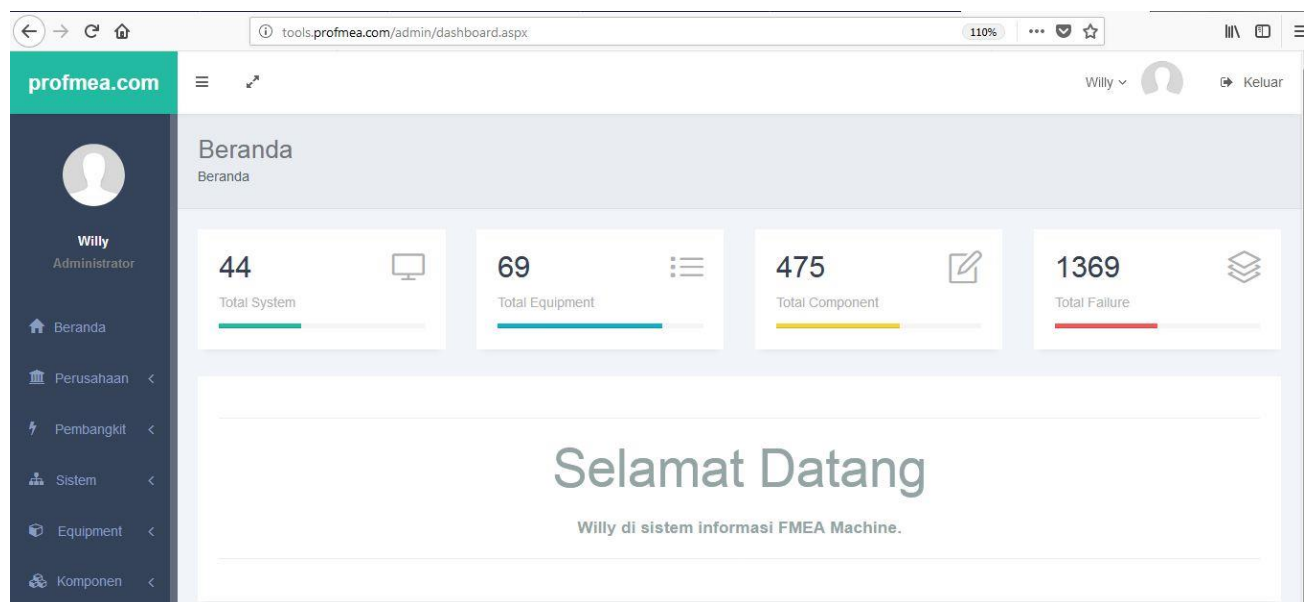
corrective maintenance. *Preventive maintenance* adalah perawatan *asset* yang dilakukan jauh jauh hari sebelum *asset* tersebut mengalami kerusakan berat yang harus ditangani atau diselesaikan dengan *overhaul*. *Overhaul* merupakan perbaikan yang dilakukan terhadap suatu *asset* sehingga *asset* tersebut dapat kembali seperti kondisi baru kembali. Dengan adanya *preventive maintenance* diharapkan dapat memperpanjang umur atau *tool life* dari suatu *asset*. Sedangkan *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan *asset* yang dilakukan saat suatu *asset* mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat berfungsi atau beroperasi dengan baik dan lancar. Kondisi dilapangan sendiri banyak *asset* yang mendapatkan perawatan tidak secara optimal maupun efektif sehingga banyak terjadinya kegagalan yang menimpa baik suatu *system* maupun suatu peralatan. Apabila hal ini dilakukan secara kontinyu maka dapat mempengaruhi kondisi peralatan atau *asset* yang digunakan serta dapat menambah beban pengeluaran bagi perusahaan. Maka dari itu pada penelitian ini berfokus pada penggunaan metode perawatan *failure mode & effect analysis*.

Failure mode and effect analysis (FMEA) adalah suatu analisa yang digunakan untuk menggambarkan kondisi suatu *asset*. Dalam *failure mode effect and effect analysis* (FMEA) terdapat beberapa informasi yang dapat digunakan untuk melakukan tindakan perawatan terhadap *asset*. Informasi yang didapat meliputi penyebab kegagalan yang menimpa *asset*, frekuensi *asset* mengalami kerusakan, tingkat darurat suatu *asset* yang mengalami gangguan atau kerusakan dan lain lain.

Tujuan dari penelitian ini terdiri atas beberapa *point* dimulai dengan mengetahui tahapan dalam melakukan pendokumentasian suatu kegagalan dengan menggunakan metode FMEA lalu mengetahui besar *frekuensi* yang dihasilkan dari beberapa peralatan yang terkait, kemudian dapat menentukan peralatan mana yang sering mengalami kegagalan dan yang terakhir adalah dapat mengetahui kegagalan yang terjadi untuk peralatan *main liquid fuel pump* GTG 1.1 pada *pressure relief valve* dan pada *accessories gear train* GTG 1.1 pada *pinion gear*.

2. Material dan metode penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode FMEA yang dibantu dengan aplikasi *tools.profmea.com*. metode penelitian dimulai dengan dilakukannya studi literatur terkait sistem yang akan dianalisa. Langkah selanjutnya berupa *review* sistem dan pengumpulan data. Setelah data yang terkait dengan penelitian didapat maka langkah berikutnya melakukan pengolahan secara langsung dengan menggunakan aplikasi *tools.profmea.com*. dimana aplikasi pendukung ini mampu mempermudah kinerja dalam membuat dokumen lembar FMEA. Informasi yang dikumpulkan sebelumnya diinputkan dalam aplikasi ini mulai dari profil perusahaan, sistem, subsistem, komponen dan lain lain. Setelah diinput kita dapat secara langsung *ekspor* dan dihasilkan lembar dokumen FMEA. Aplikasi ini memiliki beberapa keunggulan salah satunya yaitu dengan menggunakan aplikasi ini maka dapat membantu dalam melakukan validasi atau pengolahan terhadap informasi FMEA kepada perusahaan. Sehingga penggunaan aplikasi *protech* FMEA ini dalam melakukan penyusunan sebuah dokumen lembar kerja FMEA dari suatu *asset* perusahaan dapat dilakukan secara efektif. Untuk tampilan beranda dari aplikasi *tools.profmea.com* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan utama *tools.profmea.com* [1]

3. Hasil dan pembahasan

Hasil yang didapat pada pengerjaan penelitian ini berupa nilai *frekuensi* dari masing masing peralatan yang terpilih dan dokumen lembar kerja untuk peralatan *main liquid fuel pump* GTG 1.1. Nilai dari *frekuensi* yang didapat dari proses analisa akan dipertimbangkan untuk diinputkan dalam dokumen lembar kerja FMEA yang disusun dalam 2 tahap. Kemudian untuk proses serta tahapan-tahapan dalam pengerjaan penelitian ini akan disusun secara *detail* dalam sebuah laporan penelitian.

Analisa tahap 1 & 2 FMEA *main liquid fuel pump* GTG 1.1 – *pressure valve*



Gambar 2. (a) Keptahan pada *pressure relief valve* [2], dan (b) Kebocoran pada *pressure relief valve* [2]

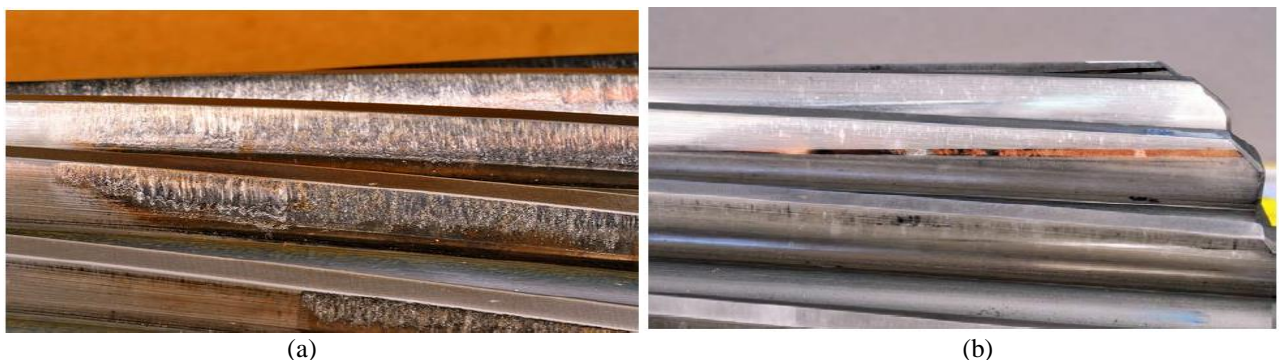
Gambar 2 (a) dan 2 (b) merupakan *failure mode* dari peralatan *main liquid fuel pump* GTG 1.1 pada komponen *pressure relief valve*. Gambar 2 (a) menunjukkan *pressure relief valve* mengalami keptahan akibat adanya korosi yang merambat hampir seluruh permukaan *valve* sehingga berpotensi menimbulkan retakan yang kemudian seiring berjalannya waktu akan mengalami keptahan [2]. Hasil analisa tahap 2 pada kegagalan diberikan penilaian berdasarkan 3 parameter yang meliputi *severity*, *occurrence* dan *detection* sebesar 5, 2, dan 4. Sedangkan Gambar 2 (b) menunjukkan terjadinya kebocoran yang dialami *pressure relief valve* yang ditimbulkan akibat adanya kotoran atau kandungan *material* yang menempel sehingga katup mengalami kebocoran dan hal ini dapat berpotensi merusak *pressure relief valve* dan mempengaruhi kerusakan pada komponen lainnya [3]. Untuk penilaian pada kegagalan yang kedua ini sebesar 5, 2, dan 4.



Gambar 3. Keptahan pada *pressure relief valve* [4]

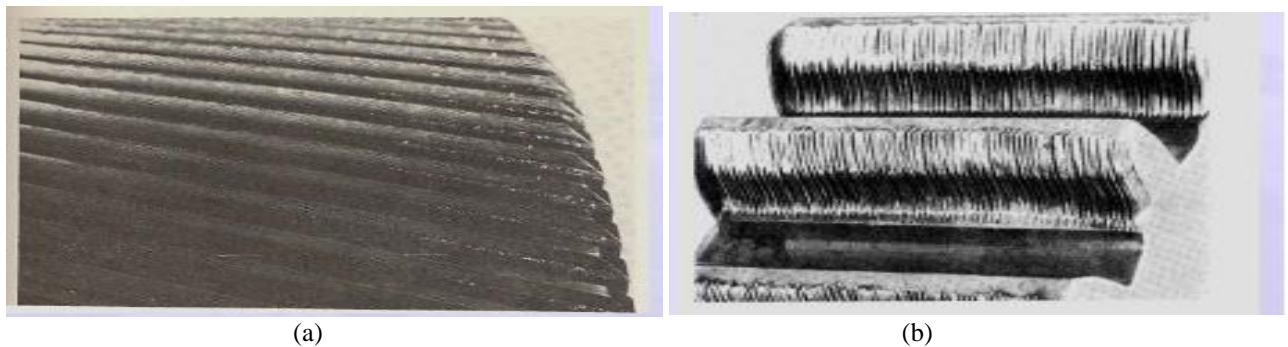
Untuk *failure mode* yang terakhir pada komponen *pressure relief valve* yaitu katup mudah terbuka. Keadaan ini diakibatkan kondisi pelapisan yang mudah terkelupas serta kondisi *valve* yang korosi, kotor. Hal ini akan meningkatkan laju korosi serta berpotensi membuat *valve* mengalami kebocoran bahkan mengalami kerusakan [5]. Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk kegagalan ini memiliki penilaian sebesar 4,3 dan 5.

3.1 Analisa tahap 1 & 2 FMEA *accessories gear train* GTG 1.1 – *pinion gear*



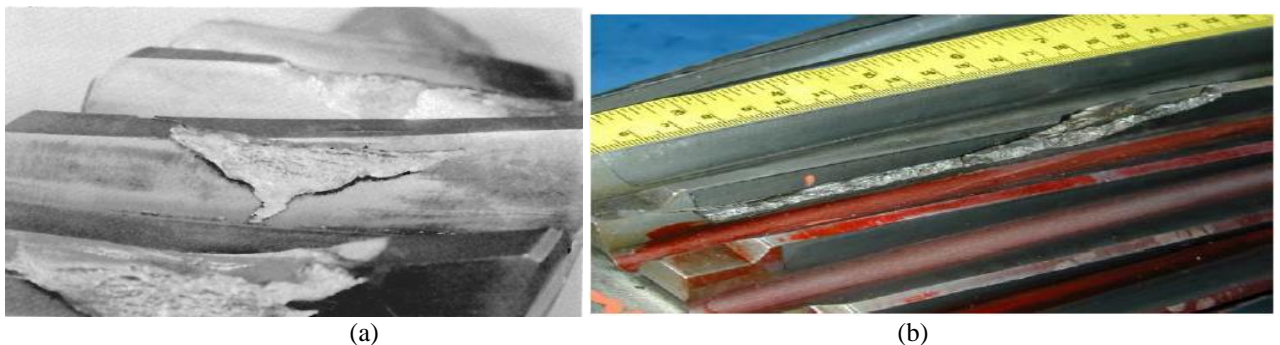
Gambar 4. (a) *Scuffing* pada *pinion gear* [6], dan (b) *Fretting corrosion* [6]

Pada penelitian ini ditemukan 9 buah *mode* kegagalan yang memiliki kemungkinan terjadi pada komponen *pinion gear*. Gambar 4 (a) menunjukkan kegagalan *scuffing*. Kegagalan ini disebabkan pelumasan yang tidak sesuai dan tingginya *frekuensi* berkontakannya permukaan *teeth gear* [7]. Untuk penilaian dari *mode* kegagalan ini sebesar 5, 2, dan 3. Kegagalan selanjutnya yaitu *fretting corrosion* yang bisa dilihat pada Gambar 4 (b) diatas. Kegagalan ini dipengaruhi keausan dan gesekan antar permukaan roda gigi. *Mode* kegagalan ini dapat menyebabkan korosi dan *bending fatigue* yang terjadi akibat besarnya keausan yang terjadi. Penilaian dari kegagalan ini berada pada kisaran 5, 3 dan 2



Gambar 5. (a) Mikropitting pada *pinion gear* [8], dan (b) Korosi wear pada *pinion gear* [8]

Mode kegagalan yang ketiga yaitu *mikropitting*. *Mikropitting* sendiri adalah kegagalan yang disebabkan telah terjadinya *fatigue* pada permukaan roda gigi hal ini dikarenakan pembebanan yang tinggi hingga melebihi *surface fatigue strength* dan terjadi berulang ulang. Sehingga berpotensi menyebabkan terjadi perubahan *tekstur* permukaan dari *teeth* roda gigi dan bahkan terbentuknya retakan [9]. Penilaian parameter dari kegagalan ini sebesar 5, 2, dan 3. Selanjutnya yaitu *mode* kegagalan korosi wear. *Mode* kegagalan ini dipengaruhi adanya kandungan zat kimia yang terdapat pada pelumas yang digunakan untuk mendinginkan. Sehingga dengan kandungan kimia tersebut permukaan roda gigi mudah mengalami korosi dan keausan. *Mode* kegagalan ini memiliki penilaian 5, 2, dan 3 dalam parameter yang digunakan dalam menentukan jumlah nilai RPN.

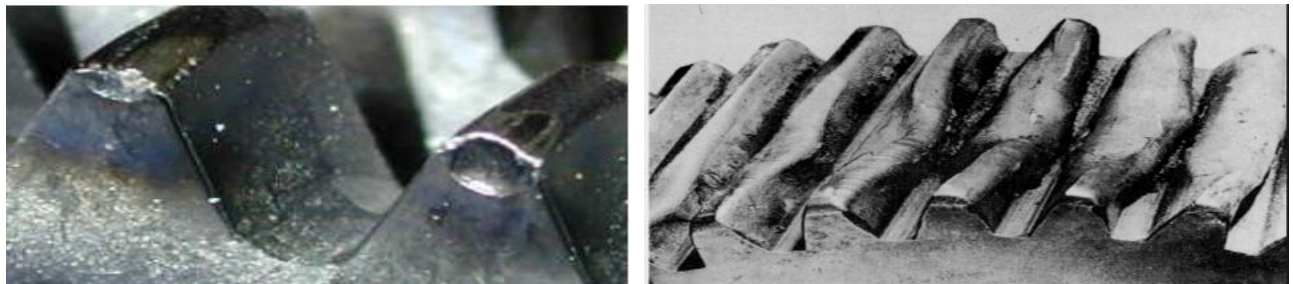


Gambar 6. (a) *Spalling* pada *pinion gear* [10], dan (b) *Bending fatigue* pada *pinion gear* [11]

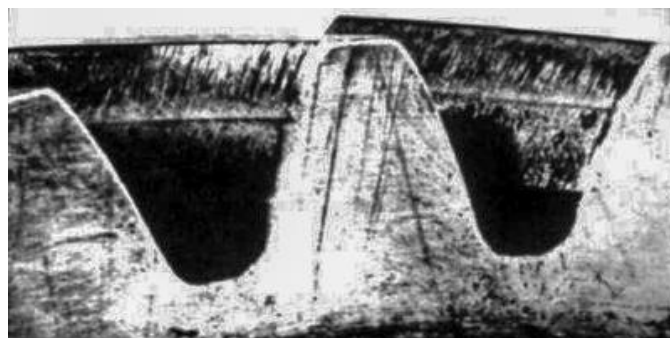
Selanjutnya merupakan *mode* kegagalan *spalling* pada roda gigi. *Mode* kegagalan ini juga termasuk dalam kegagalan *pitting* namun berbeda dengan *mikropitting*. Kegagalan ini termasuk pada *progressive pitting* dimana pada kegagalan ini menyebabkan terjadinya *surface fatigue* bahkan hingga kepatahan hal ini lantaran terjadi dikarenakan distribusi tegangan yang ada pada bawah lapisan permukaan tidak merata [12]. Penilaian parameter dari kegagalan ini sebesar 4, 2, dan 3. Kemudian *mode* kegagalan yang keenam yaitu *bending fatigue* yang dapat dilihat pada Gambar 6 (b). Pada Gambar 6 (b) terlihat bahwa *teeth* roda gigi mengalami patah dikarenakan *bending fatigue* terjadi secara berulang. *Bending fatigue* ini terbentuk dikarenakan telah timbulnya retakan atau *crack* yang sudah tercipta terlebih dahulu sehingga seiring berjalannya waktu maka akan memperbesar efek hingga terjadilah kepatahan. *Mode* kegagalan ini memiliki penilaian 6, 2, dan 3 dalam parameter yang digunakan dalam menentukan jumlah nilai RPN.

Kegagalan berikutnya adalah *beakage* pada *pinion gear*. *Beakage* ini terjadi dikarenakan terjadinya kegagalan saat berlangsungnya proses permesinan atau proses produksi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 7 (a). Kegagalan ini berdampak pada *teeth gear* yang berpotensi mengalami *fracture* atau kepatahan. Dengan dampak seperti itu kegagalan memiliki nilai parameter 7, 2, dan 3. Selanjutnya adalah *mode* kegagalan *plastic flow* pada roda gigi. *Plastic flow* terbentuk disaat berlangsungnya operasi saat permukaan *teeth gear* berkontak gaya yang ditimbulkan saat kontak tersebut terlalu tinggi alhasil membuat roda gigi mengalami patahan atau *defleksi*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 7 (b). Pada kegagalan ini diberikan penilaian parameter 6, 2, dan 3. Kemudian *mode* kegagalan *scoring* merupakan lanjutan dari kegagalan *scuffing* dimana *scuffing* yang terjadi telah menyebar hampir keseluruhan permukaan. Hal ini terjadi lantaran

tingginya temperatur oli yang digunakan proses pendinginan serta terjadinya kegagalan saat pendinginan. Untuk bentuk atau tampilan saat gear mengalami *scoring* dapat dilihat pada Gambar 8. Apabila hal ini terus berlanjut maka akan berdampak perubahan fisik permukaan menjadi sedikit kasar bahkan dapat mengalami keretakan. *Mode* kegagalan ini memiliki penilaian 4, 2, dan 3 dalam parameter yang digunakan dalam menentukan jumlah nilai RPN



Gambar 7. (a) *Beakage* pada *pinion gear* [13], dan (b) *Plastic flow* pada *pinion gear* [14]



Gambar 8. *Scoring* pada *pinion gear* [15]

3.2 Analisa *frekuensi - work order*

Work Order	Description	Work Type	Priority	Failure Class	Problem Code	Actual Start	Actual Finish	Status
472868	MR-GTG 1.1 PEMELIHARAAN MAIN FUEL PUMP PF-1 (4W)	PM	3					WSCH
476837	Cleaning & Inspeksi Maghnetic Coupling	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476838	Cleaning & Inspeksi Main Fuel Pump	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476836	Cleaning & Inspeksi ACC Gear	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476835	Bongkar Cover ACC Gear	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476834	Persiapan Bongkar ACC Gear	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476825	Alignment Magnetic Coupling- Main fuel Pump	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476818	Pasang Main Fuel Oil Pump	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476800	Bongkar Main Fuel Oil Pump	OH	3			10/9/17 2:47 PM		INPRG
476473	Pemeliharaan Servo Valve LFBV dan IGV	OH	3			10/9/17 2:44 PM		INPRG
476447	Pemeliharaan Solenoid Valve Atomizing Air, IGV & Torque Converter	OH	3			10/9/17 2:44 PM		INPRG
477084	MR-GTG 1.1 PEMELIHARAAN MAIN FUEL PUMP PF-1 (4W)	PM	3			10/5/17 11:00 AM	10/5/17 11:45 AM	CLOSE
421977	MR-GTG 1.1 PEMELIHARAAN MAIN FUEL PUMP PF-1 (4W)	PM	3			9/30/17 10:16 AM	9/30/17 10:16 AM	CLOSE
472991	MR-GTG 1.1 PEMELIHARAAN MAIN FUEL PUMP PF-1 (4W)	PM	3			9/7/17 10:00 AM	9/7/17 10:45 AM	CLOSE

Gambar 9. *Work order main liquid fuel pump* [16]

Work order adalah suatu dokumen yang berisi mengenai informasi berupa *list* atau daftar tindakan perawatan dari suatu *asset*. Pada *work order* ini terdiri dari *deskripsi*, *work type*, *priority*, *failure class*, *problem code*, *actual start*, *actual finish* dan *status*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 9 terlihat tampilan dari dokumen *work order*. Penggunaan *work order* ini memiliki hubungan keterkaitan terhadap analisa pada FMEA. Dari *work order*

ini dapat diketahui kegagalan yang menyebabkan kerusakan pada *asset*. Kegagalan yang ada pada *work order* tersebut dapat memberikan informasi mengenai *frekuensi* sebuah *asset* mengalami kerusakan.

3.3 Analisa *frekuensi* – perhitungan *frekuensi*

Frekuensi merupakan jumlah waktu yang dicapai suatu *asset* dalam mengalami satu kegagalan. *Frekuensi* tersebut digunakan untuk untuk menyusun suatu strategi perawatan sehingga dapat memperpanjang umur suatu *asset* dan mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan. *Frekuensi* tersebut diketahui dari laju kegagalan dari *asset* tersebut. Laju kegagalan (λ) adalah kecepatan atau kelajuan suatu *asset* mengalami suatu kegagalan. Berikut adalah persamaan dari laju kegagalan.

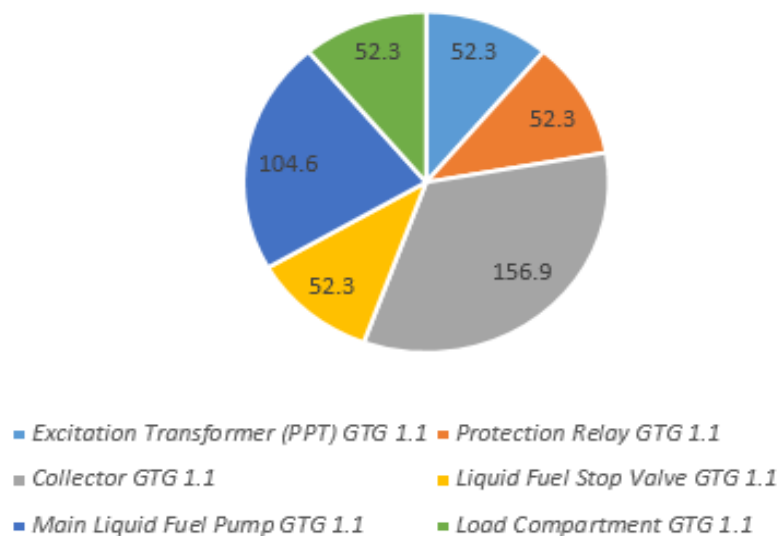
$$\lambda = \frac{r}{T(t)} \tag{1}$$

$$f = \frac{1}{\lambda} \tag{2}$$

Keterangan :

- λ = laju kegagalan
- r = jumlah kegagalan
- T(t) = waktu
- f = *frekuensi*

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa *frekuensi* pada beberapa peralatan yang berdasar pada data *work order* yang diberikan dari data perusahaan yaitu meliputi *excitation transformer* (PPT) GTG 1.1, *protection relay* GTG 1.1, *collector* GTG 1.1, *liquid fuel stop valve* GTG 1.1, *main liquid fuel pump* GTG 1.1, dan *load compartment* GTG 1.1. Hasil dari analisa perhitungan dapat dilihat pada diagram *pie* dibawah ini. disimpulkan untuk keempat peralatan tersebut memiliki rentan mengalami kegagalan setiap kurang lebih 52,3 minggu (13 bulan).



Gambar 10. Hasil perhitungan *frekuensi* [1]

4. Kesimpulan

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan beberapa *point*. Pertama dalam melakukan analisa sebuah kegagalan dengan menggunakan metode FMEA diperlukan 2 tahapan. Pada tahap pertama akan dilakukan identifikasi potensi modus kegagalan, penyebab modus kegagalan, dampak yang ditimbulkan sebuah kegagalan dan metoda yang digunakan dalam mendeteksi kegagalan sedangkan untuk tahap kedua akan dilakukan penentuan besarnya nilai parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang digunakan untuk menentukan peralatan mana yang akan dipertimbangkan untuk dilakukan perawatan. Untuk yang kedua dari proses analisa perhitungan *frekuensi* yang dilakukan didapatkan untuk peralatan *excitation transformer* (PPT) GTG 1.1, *protection relay* GTG 1.1, *liquid fuel stop valve* GTG 1.1, dan *load compartment* GTG 1.1 memiliki nilai *frekuensi* yang sama kurang lebih sebesar 52.3 minggu (13 bulan) sedangkan *collector* GTG 1.1 memiliki *frekuensi* sebesar kurang lebih 156.9 minggu (39 bulan) dan untuk *main liquid fuel*

pump GTG 1.1 kurang lebih Sebesar 104.6 minggu (26.15bulan). Lalu untuk yang ketiga dapat disimpulkan peralatan *protection relay GTG 1.1, liquid fuel stop valve GTG 1.1, load compartment GTG 1.1* sering mengalami kerusakan karena yang memiliki frekuensi sebesar 52.3 minggu (13 bulan) dan kesimpulan yang terakhir kegagalan yang terdapat pada peralatan main liquid fuel pump khususnya pada peralatan *pressure relief valve* terdapat 3 buah yaitu kebocoran, kepatahan, dan katup mudah terbuka. Untuk peralatan *accessories gear train* pada komponen *pinion Gear* terdapat 9 buah kegagalan yang meliputi *scuffing, micropitting, corrosion wear, bending fatigue, breakage, fretting corrosion, spalling, plastic flow* dan *scoring*

Daftar Pustaka

- [1] Profmea, tools.profmea.com. diakses 12, November, 2017.
- [2] Ben-Daya, A., *Reliability Centered Maintenance*. www.researchgate.net/publication/282253338, diakses 28, November, 2017.
- [3] Nanda, L.L., 2014, Analisis Risiko Kualitas Produk Dalam Proses Produksi Miniatur Bis Dengan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* Pada Usaha Kecil Menengah Niki Kayoe, Surabaya, *Gema Aktualita*, Vol. 3, No. 2.
- [4] Binley, R., *The Pressure Relief Valve*, coffeetime.wikidot.com/the-pressure-relief-valve. diakses 3, desember, 2017.
- [5] Imansyah, L.N., 2014, Kajian Potensi Kerugian Akibat Penggunaan BBM Pada PLTG Dan PLTGU Di Sistem Jawa Bali, *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 1, No. 1.
- [6] Sheng, S., 2014, Gearbox Typical Failure Modes, Detection and Mitigation Methods. *National Renewable Energy Laboratory/National Wind Technology Center*.
- [7] Faizal, M.B., 2017, Analisis *Performance Tm2500 Gas Turbine Generator Package* Pltg X Pada *Factory Test* Dan *Site Test*. *Bina Teknika*, Vol. 13, No. 2.
- [8] Gopinath, P., 2010, *Machine Design II*, Indian Institute of Technology Madras.
- [9] Rausand, M., 2004, *System Reliability Theory Models, Statistical Methods, and Applications*, JOHN WILEY & SONS, INC.
- [10] Alban, L., 1985, *Systematic Analysis of Gear Failures*, Ohio, american society for metals.
- [11] Blanchard, B., 1986, *Logistics engineering and management*. 3d ed. Prentice Hall.
- [12] Winandi, A., 2012, *Reliability Centered Maintenance Pada Pompa*. Tugas akhir, Universitas Indonesia.
- [13] *Gear Failure*, <https://www.mechgrid.com/gear-failure.html>. Diakses 21, Agustus, 2018.
- [14] *Gear the works run*, <https://gearsmechon.wordpress.com/plastic-flow/>. Diakses 21, Agustus, 2018.
- [15] Neale Consulting Engineers, *Picture Of Some Typical Failure*, <http://www.tribology.co.uk/services/failure-analysis/how-to-diagnose-gear-failures/>. Diakses 21, Agustus, 2018.
- [16] Work Order. PT. Indonesia Power. Semarang. 2017.