

Analisa Keandalan Cylinder Head Mesin PLTDG Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Di PT. XYZ

Andi Ulfiana^{1*}, Cecep Slamet Abadi¹, dan Syukur Iswanto¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok 16424

Abstrak

Cylinder head merupakan bagian penting dari internal combustion engine yang berfungsi sebagai penutup cylinder liner dan menjadi struktur penopang katup buang, katup masuk, injector, dan beberapa komponen lain. Temperatur tinggi dan tekanan mekanis menyebabkan thermo-mechanical fatigue dan akan mengurangi umur dari cylinder head. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai keandalan Cylinder head dan menganalisa penyebab kerusakan ada cylinder head. Analisa kuantitatif dan kualitatif menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Analisa kuantitatif digunakan untuk menghitung nilai laju kegagalan atau failure rate pada cylinder head, nilai Mean Time to Failure (MTTF), dan nilai keandalan atau reliability. Analisa kualitatif menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA). Pada analisa kuantitatif didapatkan laju kegagalan atau failure rate cylinder head sebesar $8.85747830 \times 10^{-5}$ kegagalan/jam dan nilai MTTF sebesar 11.289,89 jam serta nilai keandalan atau reliability tertinggi pada 1000 jam operasi sebesar 91% dan terendah pada 72000 jam operasi sebesar 0,001%. Semakin lama jam operasi, semakin kecil nilai keandalan cylinder head. Berdasarkan analisa kualitatif, diperlukan tindakan pemeliharaan cylinder head yaitu pemeriksaan kebocoran air setiap 1000 jam operasi, inspeksi NDT Test setiap major overhaul untuk mendeteksi keretakan serta pengecekan HT cooler untuk mencegah kebocoran tekanan pembakaran.

Kata Kunci : Cylinder head, RCM, failure rate, MTTF, Reliability, FMEA

Abstract

The cylinder head is an important part of the internal combustion engine as a cover of the cylinder liner and supports the exhaust and intake valves, injectors, and other components. High temperature and mechanical stress cause thermo-mechanical fatigue and reduce the lifetime of the cylinder head. This research was conducted to determine the reliability of the cylinder head and to analyze the cause of damage to the cylinder head. The quantitative and qualitative analysis used the Reliability Centered Maintenance (RCM) method. Quantitative analysis is used to calculate failure rate, Mean Time to Failure (MTTF), and reliability of the cylinder head. The qualitative analysis used the Failure Mode Effect Analysis (FMEA) method. The results of the quantitative analysis show that the failure rate of the cylinder head is $8.85747830 \times 10^{-5}$ failure/hour and the MTTF is 11,289.89 hours. The highest reliability value is 91% at 1000 operating hours and the lowest is 0.001% at 72000 operating hours. The longer the operating hour, the lower reliability of the cylinder head. Based on qualitative analysis, the results of cylinder head maintenance measures we needed, namely checking for water leaks every 1000 hours of operation, an inspection of NDT Test for every major overhaul to detect cracks, and checking the HT cooler to prevent leakage of combustion pressure

Key words : Cylinder head, RCM, failure rate, MTTF, Reliability, FMEA

Corresponding author E-mail address : andi.ulfiana@mesin.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel & Gas (PLTDG) adalah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak awal. Mesin diesel mengonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas di ruang bakar, mekanisme crank slide mengubah energi panas menjadi energi mekanik menggunakan crank shaft dan dikopel dengan rotor generator untuk menghasilkan listrik.

Mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri (internal combustion engine) dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu cylinder sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan bahan bakar sehingga terjadi proses pembakaran [1]. Temperatur puncak gas pembakaran di dalam cylinder mesin diesel berada pada suhu 1600K dan untuk mencegah overheating, maka perlu pendinginan di cylinder dan cylinder head [2].

Cylinder head merupakan bagian penting dari internal combustion engine yang berada dibawah thermo-mechanical stress dalam pengoperasiannya [3]. Cylinder head terkena beban termal dan mekanis [4]. Perbedaan temperatur hasil dari proses start dan stop menghasilkan beban thermo-mechanical fatigue pada cylinder head dan akibatnya akan mengurangi umur dari cylinder head [3, 4,5]. Keretakan karena kekuatan yang rendah dan tegangan sisa yang besar pada temperatur tinggi merupakan kegagalan utama pada cylinder head [6]. Salah satu kegagalan yang terjadi di cylinder head yaitu knocking. Knocking terjadi ketika bahan bakar dan udara yang tidak terbakar melebihi tingkat kritis sehingga terjadi self ignition di dalam ruang bakar hal ini akan menyebabkan gelombang kejut yang menghasilkan tekanan yang besar pada ruang bakar dan dapat menyebabkan kerusakan pada cylinder head [7].

Temperatur tinggi dan thermo-mechanical fatigue pada cylinder head dapat menyebabkan masalah dan mengurangi umur yang dapat menurunkan keandalan cylinder head. Semakin lama, keandalan cylinder head semakin menurun, maka suatu saat cylinder head akan mengalami kegagalan. Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan metode dalam menentukan cara paling efektif dan efisien dalam merencanakan manajemen perbaikan pada sistem atau komponen. Untuk menentukan keandalan komponen atau mesin digunakan perhitungan failure rate, Mean Time To Failure (MTTF) atau Mean Time Between Failure (MTBF) [8,9,10,11,12]. MTTF digunakan untuk komponen atau mesin yang tidak dapat diperbaiki (non-repairable). MTBF digunakan untuk komponen atau mesin yang dapat diperbaiki (repairable).

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung laju kegagalan, menghitung rata-rata waktu terjadinya kegagalan dan menghitung keandalan dari cylinder head menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan dilengkapi dengan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) serta menentukan pemeliharaan yang tepat pada cylinder head mesin diesel PLTDG di PT.XYZ. Data yang digunakan adalah data operation time PLTDG, data downtime cylinder head, serta data kegagalan cylinder head. Cylinder head merupakan komponen yang tidak dapat diperbaiki (non-repairable), maka digunakan metode perhitungan MTTF.

2. METODE PENELITIAN

- Studi Literatur dan Wawancara
- Pengumpulan Data:
 - Data *operation time* PLTDG
 - Data *downtime cylinder head*
 - Data kegagalan *cylinder head*
- Analisa Kuantitatif:
 - Menghitung nilai laju kegagalan (λ) *Cylinder Head* untuk mencari nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan keandalan komponen *cylinder head*. Laju kegagalan dapat dihitung menggunakan rumus [13]:

$$\lambda(t) = \frac{f}{T} \quad (1)$$

λ = laju kegagalan
 f = jumlah kegagalan
 T = Waktu operasi

- Menghitung nilai MTTF *Cylinder Head* menggunakan rumus [13]:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

- Menghitung dan menganalisa nilai Keandalan $R(t)$ *Cylinder Head* menggunakan rumus [13] :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

- Analisa Kualitatif dengan menentukan jenis pemeliharaan yang tepat pada *Cylinder Head*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Data downtime Cylinder Head

No	Asset	Description	Last MP1	SH	FOHD	Jumlah Gangguan
1	DG0 1M JA 10	Cylinder Head Equipment	123,83	22.579,79	3,55	2

Tabel 1 adalah data downtime cylinder head, diketahui cylinder head mengalami frekuensi gangguan sebanyak 2 kali dengan nilai Maintenance Priority Index (MPI) terakhir cylinder head adalah 123,83 serta Service Hours (SH) atau waktu beroperasi sebesar 22.579,79 jam dan Force Outage Hours Downtime (FOHD) atau waktu unit tidak beroperasi karena trip cylinder head sebanyak 3,55 jam.

Laju Kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f}{T}$$

$$\lambda(t) = \frac{2}{22579,79}$$

$$\lambda(t) = 8,85747830 \times 10^{-5} \text{ kegagalan/jam}$$

Pada perhitungan diatas didapatkan laju kegagalan pada komponen cylinder head ketika beroperasi selama 22.579,79 jam adalah $8,85747830 \times 10^{-5}$ kegagalan/jam

Mean Time to Failure (MTTF)

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

$$MTTF = \frac{1}{8,85747830 \times 10^{-5}}$$

$$MTTF = 11289,89 \text{ Jam}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, pada komponen cylinder head didapatkan Mean Time to Failure (MTTF) atau waktu rata-rata terjadinya kegagalan sebesar 11.289,89 jam.

Nilai Keandalan Cylinder Head (Reliability)

Berdasarkan data perusahaan, jadwal perawatan dan Major Overhaul pada PLTDG PT.X yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Jadwal perawatan cylinder head

No	Kegiatan Perawatan	Waktu antar perawatan (jam)
1	Pengecekan kebocoran air	1000
2	Major Overhaul	12000 18000 24000 30000 36000 42000 48000 54000 60000 66000
3	Penggantian	72000

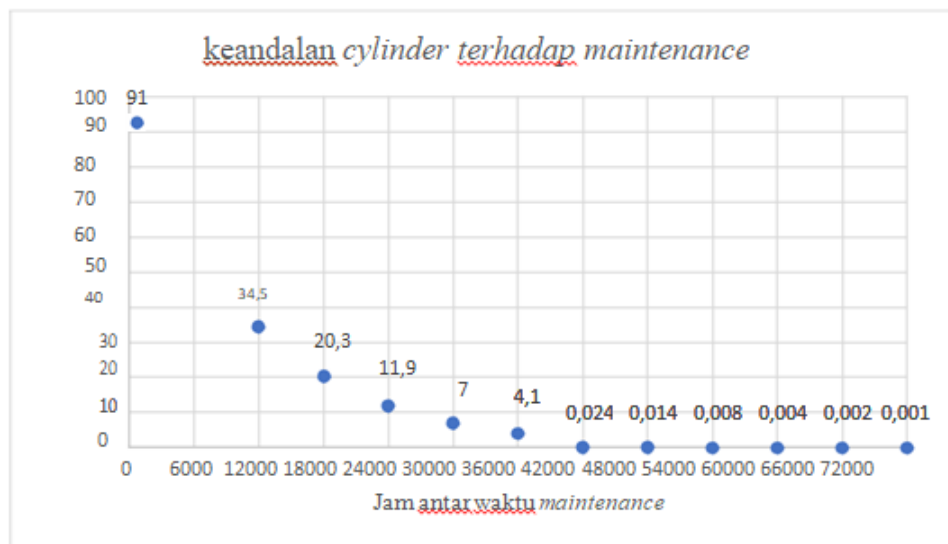
Tabel 2 merupakan jadwal perawatan dan major overhaul pada cylinder head, maka nilai keandalan dari cylinder head dapat dihitung setiap kegiatan perawatan dan major overhaul. Berdasarkan perhitungan laju kegagalan cylinder head, nilai laju kegagalannya yaitu $8.85747830 \times 10^{-5}$ kegagalan/jam, maka perhitungan nilai keandalan cylinder head dapat dihitung menggunakan rumus (3) sebagai berikut:

- Keandalan pada 1000 jam operasi: $R(1000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (1000)} = 0,91$
- Keandalan pada 12000 jam operasi: $R(12000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (12000)} = 0,345$
- Keandalan pada 18000 jam operasi: $R(18000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (18000)} = 0,203$
- Keandalan pada 24000 jam operasi: $R(24000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (24000)} = 0,119$
- Keandalan pada 30000 jam operasi: $R(30000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (30000)} = 0,070$
- Keandalan pada 36000 jam operasi: $R(36000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (36000)} = 0,041$
- Keandalan pada 42000 jam operasi: $R(42000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (42000)} = 0,024$
- Keandalan pada 48000 jam operasi: $R(48000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (48000)} = 0,014$
- Keandalan pada 54000 jam operasi: $R(54000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (54000)} = 0,008$
- Keandalan pada 60000 jam operasi: $R(60000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (60000)} = 0,004$
- Keandalan pada 66000 jam operasi: $R(66000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (66000)} = 0,002$
- Keandalan pada 72000 jam operasi: $R(72000) = e^{(-8.85747830 \times 10^{-5}) \cdot (72000)} = 0,001$

Dari hasil perhitungan, nilai keandalan *cylinder head* dari 1000 jam operasi sampai dengan 72000 jam operasi adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil perhitungan nilai keandalan

Waktu antar maintenance (jam)	Keandalan (%)
1000	91
12000	34,5
18000	20,3
24000	11,9
30000	7
36000	4,1
42000	0,024
48000	0,014
54000	0,008
60000	0,004
66000	0,002
72000	0,001



Gambar 1. Grafik keandalan cylinder head terhadap maintenance

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai keandalan cylinder head semakin menurun terhadap waktu. Hal tersebut berarti semakin lama cylinder head beroperasi maka keandalannya semakin menurun. Menurunnya keandalan cylinder head disebabkan karena cylinder head terkena dampak langsung temperatur dan tekanan tinggi dalam pengoperasiannya [3,4,5].

Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Setelah dilakukan perhitungan nilai keandalan, maka langkah selanjutnya dalam Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah mengidentifikasi mode kegagalan dan risiko yang terjadi ketika kegagalan terjadi pada cylinder head. Failure Mode Effect Analysis (FMEA) dapat membantu untuk menganalisa keandalan suatu komponen dan penyebab kegagalan serta menentukan tindakan yang harus dilakukan ketika terjadi kegagalan pada komponen tersebut. Berdasarkan pengamatan dan interview dengan teknisi di PLTDG PT.XYZ, maka diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. FMEA cylinder head

Jenis kegagalan	Efek kegagalan	Penyebab kegagalan	Tindakan yang dilakukan
Kebocoran air	Air masuk ke ruang bakar, proses pembakaran terganggu, <i>hydrolock</i>	Kebocoran seal, washer dan retak pada <i>cylinder head</i>	visual cek kebocoran air ke karter
Retak/ <i>crack</i>	Tekanan pembakaran turun	Overheat	NDT Test, Monitoring temperatur, HT cooler
Kebocoran tekanan pembakaran	Overheat	Retak, kebocoran gasket <i>cylinder head</i>	Monitoring temperature, HT cooler
<i>Knocking</i>	Kerusakan <i>cylinder head</i> , kerusakan mahkota piston, kerusakan <i>cylinder liner</i>	<i>Timing injection</i> Tidak tepat, Sensor <i>knocking</i> bermasalah, kompresi campuran bahan bakar dan udara terlalu tinggi, nilai <i>methane</i> bahan bakar rendah temperatur tinggi pada <i>cylinder liner</i>	Monitoring tekanan pembakaran di <i>cylinder liner</i> , Monitoring temperatur <i>exhaust gas</i> pembakaran

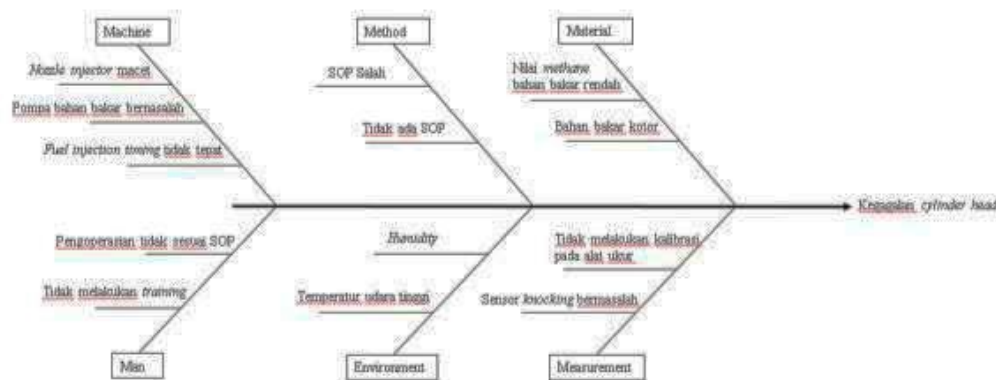
Analisa Penyebab gangguan pada Cylinder Head

Pada tabel 4 diketahui frekuensi gangguan pada PLTDG PT.XYZ terjadi sebanyak 2 kali. Penyebab terjadinya gangguan pada cylinder head sehingga menyebabkan unit trip adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Gangguan yang terjadi pada cylinder head

No	Gangguan yang terjadi
1.	Sensor knocking kotor
2.	Sering terjadi hentakan (knocking) pada saat beban 15,5 MW

Pada tabel 5 diketahui terdapat 2 gangguan yang terjadi pada cylinder head. Dalam menganalisa gangguan pada cylinder head, maka digunakan fishbone diagram berdasarkan studi literatur dan kondisi mesin diesel di PLTDG PT. XYZ.



Gambar 2. Fishbone diagram kegagalan di cylinder head

Gambar 2 menunjukkan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan pada cylinder head mesin diesel PLTDG PT.XYZ. Berdasarkan wawancara dengan engineer di PT. XYZ gangguan pada cylinder head karena knocking dan penyebabnya karena sensor knocking bermasalah. Berdasarkan studi literatur, beberapa faktor yang menyebabkan knocking adalah kompresi udara dan bahan bakar terlalu tinggi, temperatur tinggi pada cylinder liner, nilai methane bahan bakar rendah, campuran udara dan bahan bakar tidak homogen, timing injeksi terlalu cepat, sensor knocking bermasalah dan banyak kerak karbon di dalam ruang bakar [14,15].

Rekomendasi Perawatan cylinder head

Setelah diketahui apa yang menjadi gangguan pada cylinder head dan potensi mode kegagalan pada cylinder head, dalam hal ini penulis akan merekomendasikan perawatan berdasarkan mode kegagalan yang terjadi berdasarkan tabel 4.4 yaitu FMEA pada cylinder head. Berikut adalah perawatan yang direkomendasikan untuk masing – masing mode kegagalan.

Rekomendasi Perawatan untuk mencegah terjadinya mode kegagalan sesuai dengan FMEA

Berikut ini adalah tabel 6 mengenai rekomendasi perawatan untuk mode kegagalan sesuai dengan FMEA.

Tabel 6. Rekomendasi perawatan FMEA

No	Failure Mode	Perawatan
1	Kebocoran Air	Periksa kebocoran air tiap 1000 jam (laporan pemeliharaan <i>cylinderhead</i>)
2	Retak/Crack	Inspeksi (NDT Test) setiap major overhaul
3	Kebocoran Tekanan Pembakaran	Pengecekan HT cooler
4	<i>Knocking</i>	- Cek kualitas bahan bakar - Ganti filter bahan bakar ketika sudah kotor - Periksa pompa bahan bakar

	- Pembersihan <i>cylinder head</i> - Pembersihan <i>cylinder liner</i> - Pembersihan piston - Pengontrolan HT <i>cooler</i> - Kalibrasi sensor <i>knocking</i> - Pembersihan <i>injector</i> terutama pada <i>nozzle</i>
--	---

4. KESIMPULAN

1. Nilai laju kegagalan atau failure rate pada cylinder head didapatkan sebesar $8.85747830 \times 10^{-5}$ kegagalan/jam.
2. Nilai MTTF atau waktu rata-rata kegagalan yang terjadi pada cylinder head ketika beroperasi selama 22.579,79 jam adalah sebesar 11.289,89 jam
3. Nilai keandalan pada cylinder head pada saat 0 jam operasi adalah sebesar 100%, 1000 jam sebesar 91%, 12000 jam sebesar 34,5%, 18000 jam sebesar 20,3%, 24000 jam sebesar 11,9% dan semakin menurun sampai dengan 72000 jam sebesar 0,001%. Pada saat 72000 jam dilakukan pergantian cylinder head dikarenakan nilai keandalan yang sangat kecil.
4. Perawatan yang dilakukan pada mode kegagalan sesuai FMEA yaitu pengecekan kebocoran air dan inspeksi seperti NDT Test, monitoring HT cooler serta pengecekan pada bahan bakar, penggantian filter bahan bakar, pemeriksaan pompa bahan bakar, pembersihan cylinder head, pembersihan cylinder liner, pembersihan piston, kalibrasi sensor knocking dan pembersihan injector terutama pada nozzle.

REFERENSI

1. A. K. Samlawi. Motor Bakar (Teori Dasar Motor Diesel), Banjarbaru : Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat , 2018.
2. Nagrik, K.S.;Rajpurohit, M.S.;Merchant, N.M.;Pachpore S.S. Design analysis and comparing for a different cylinder head of C.I. Engine. International Journal Of Advance Research, Ideas and Innovation In Technology 3,1008 (2017)
3. Ashouri Hojjat. Thermo-Mechanical Analysis of a Coated Cylinder Head. Journal of Simulation & Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering, 35 (2017)
4. Ashouri Hojjat. Thermo-mechanical analysis of diesel engines cylinder heads using a two-layer viscoelasticity model with considering viscosity effects. International Journal of Automotive Engineering 5, 1025 (2015)
5. Ashouri H.;Beheshti B.; Ebrahimzadeh M.R. ANALYSIS OF FATIGUE CRACKS OF CYLINDER HEADS IN DIESEL ENGINER. JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS 2, 370 (2016)
6. Pan Sining.; Zeng Fanzheng.;Su Nanguang.;Xian Zhaokun. The effect of niobium addition on the microstructure and properties of cast iron used in cylinder head. Journal of Material Research and Technology, 10 (2019)
7. Witwit A.R.; Yasin A.; Abas M.A.; Gitano H. Modern Methods in Engine Knock Signal Detection. Procedia Technology 11, 41 (2013)
8. F.W. Rahardito, Implementasi Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Sistem Flash Gas Compression Gas Kriogenik. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016
9. R.B. Puspita Sari, Perancangan Sistem Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) (Studi Kasus : PLTU Paiton Unit 3). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017
10. Mufarikhah Nurlaily, Pribadi T.W, Soejitno, Studi Implementasi RCM Untuk Peningkatan Produktivitas Dok Apung (Studi Kasus: PT. Dok dan Perkapalan Surabaya). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016
11. Pianieta. MTBF, MTTR, DAN MTTF INDIKATOR PENTING UNTUK MAINTENANCE.. <http://amtiss.com/mtbf-mttr-dan-mttf-indikator-penting-untuk-maintenance> (28 Juli. 2020)
12. Marpaung K.F, Bakhhtiar A, Analisis Kebijakan Maintenance Untuk Mengetahui Biaya Yang Paling Optimal Pada Mesin Multipacking System 023 (Studi Kasus pada PT. MAYORA INDAH, Tbk Divisi Biskuir Jayanti). Industrial Engineering Online Journal 7, 4 (2019)
13. Nasution Suryanto, Razali, Analisa Kegagalan Cylinder Head Mesin Diesel Komatsu Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Di Megapower PLTD Bengkalis. Bengkalis : Politeknik Negeri Bengkalis, 2019

14. Dahl Thomas, Knock Sensor Failure Behaviour on Wärtsilä Gas Engine. Vaasa : Novia University of Applied Sciences, 2015
15. Suratman. Analisis Penyebab Terjadinya Knocking pada Mesin Diesel Generator di MT. Anggraini Excelent. Semarang : Politeknik Ilmu Pelayaran, 2019