

PERENCANAAN PENJADWALAN PERAWATAN MESIN *WHEEL LOADER* DENGAN PENDEKATAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DI PT. SWADAYA GRAHA

Muhamat Rizal Abidin¹⁾, Said Salim Dahda²⁾, Deny Andesta³⁾

¹Mahasiswa Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik

^{2,3}Dosen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik Jl. Sumatera No. 101

GKB – Gresik 61121 e-mail : rizalabidin1803@gmail.com

ABSTRAK

PT Swadaya Graha merupakan anak perusahaan dari PT Semen Indonesia Tbk yang merupakan perusahaan yang memproduksi semen. Tugas dari PT Swadaya Graha adalah untuk mengelola dan memelihara alat – alat berat jenis Wheel loader. Permasalahan yang terjadi pada pengelolaan adalah tidak tercapainya rencana jam operasional dari wheel loader dikarenakan waktu downtime yang tinggi dan tidak adanya penjadwalan untuk perawatan mesin wheel loader. Permasalahan ini akan di selesaikan menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) dengan pengaplikasian dari FMEA untuk mengetahui mode kegagalan dan efek dari kegagalan kemudian menentukan komponen kritis. Logict Tree Analysis digunakan untuk mengategorikan mode kegagalan kebeberapa kategori kemudian pemilihan tindakan atau Task Selection. Setelah itu menentukan interval perawatan dari komponen kritis yang optimal dengan perhitungan Total Minimum Downtime (TMD). Hasil pengolahan data dari FMEA terdapat 28 komponen dari 28 jenis kegagalan. Terdapat 4 komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu yaitu Pump Hydraulic, Block engine, Radiator dan Bostpump. Hasil dari proses RCM penjadwal perawatan dan pemilihan tindakan untuk komponen Pump Hydraulic masuk dalam kategori A (safety problem) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ Conditional Direted dengan perencanaan penjadwalan perawatan 52 hari. Komponen Block Engine masuk dalam kategori B (Outage problem) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ Conditional Direted perencanaan penjadwalan perawatan 58 hari. Komponen Radiator masuk dalam Kategori A (safety problem) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ Conditional Direted perencanaan penjadwalan perawatan 18 hari. Komponen Bostpump masuk dalam kategori B (outage problem) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ Conditional Direted perencanaan penjadwalan perawatan 16 hari.

Kata Kunci : komponen kritis, penjadwalan, FMEA, RCM dan TMD.

I. PENDAHULUAN

PT. Swadaya Graha merupakan anak usaha PT. Semen Gresik Tbk (persero) yang kini telah bertransformasi menjadi *holding company* PT. Semen Indonesia Tbk. PT. Swadaya Graha adalah perusahaan yang telah dipercaya untuk mengelola divisi alat-alat berat yang ada di pabrik PT. Semen Indonesia Tbk yang berlokasi di Gresik. Dengan kompetisi persaingan yang semakin ketat dalam dunia industri semen, maka PT. Semen Indonesia Tbk, harus dapat meningkatkan efektivitas dan efesien dalam proses produksi. Salah satunya menuntut PT. Swadaya Graha sebagai pengelola dan pemeliharaan divisi alat – alat berat di pabrik gresik untuk meningkatkan keandalan mesin alat berat seoptimal mungkin dalam mendukung

proses produksi. Mesin *wheel loader* merupakan salah satu alat berat yang beroda karet (ban), dalam dunia pertambangan *wheel loader* digunakan untuk mengangkut material yang akan dimuat ke dalam *dump truck* atau digunakan untuk memindahkan material dari suatu tempat ketempat yang lain. Sistem penggerak yang digunakan untuk menggerakakan bucket dalam *wheel loader* menggunakan sistem hidrolik. Mesin *wheel loader* yang ada di PT. Semen Indonesia Tbk, ada 6 unit yaitu *wheel loader* L320 dan L330 dengan kapasitas angkut 5,1 Ton / bucket, kemudian *wheel loader* Cat 950, Cat 926, Cat 926 dan WA 350 dengan kapasitas angkut 1,9 Ton / bucket.

Failure mode and Effect analysis pada mesin *wheel loader*.

2. Untuk menentukan penjadwalan perawatan yang optimal pada mesin *wheel loader* dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* di PT. Swadaya Graha.
3. Untuk menentukan interval waktu perawatan komponen kritis yang optimal.
4. Untuk menentukan usulan tindakan perawatan pada mesin *Wheel loader* dengan menggunakan *Logic Tree Analysis* Dan *Task Selection*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan didefinisikan sebagai suatu kegiatan merawat fasilitas sehingga fasilitas tersebut berada dalam kondisi siap pakai sesuai dengan kebutuhan. Dengan kata lain, perawatan adalah kegiatan dalam rangka mengupayakan fasilitas produksi berada pada kondisi atau kemampuan produksi yang dikehendaki. Selain itu juga perawatan merupakan suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang ditujukan untuk mempertahankan suatu sistem atau memperbaiki dan mengembalikan sistem tersebut pada suatu kondisi yang dikehendaki (Putra, 2011).

B. JENIS TINDAKAN PERAWATAN

Menurut Putra (2011) Aktivitas dalam *maintenance* pada umumnya umumnya dibagi menjadi dua kelompok yaitu *preventive* dan *corrective maintenance*. Klasifikasi tindakan perawatan dapat dilihat berikut ini.

1. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance merupakan perawatan yang dilakukan secara terjadwal umumnya secara periodik. Perawatan ini bertujuan untuk mencegah kerusakan, menemukan penyebab kerusakan atau berkurangnya tingkat keandalan peralatan dan

menemukan kerusakan tersembunyi. *Preventive maintenance* terbagi dalam empat kategori tugas yaitu sebagai berikut.

- a. *Time Directed Maintenance*
 - b. *Condition Based Maintenance*
 - c. *Failure Finding*
 - d. *Run To Failure*
2. *Corrective Maintenance*

Kegiatan perbaikan adalah kegiatan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau sistem tidak dapat berfungsi dengan baik. Tindakan yang dapat diambil adalah berupa penggantian komponen (*Corrective replacement*), perbaikan kecil (*repair*), dan perbaikan besar (*overhaul*).

C. Definisi Kerusakan

Karakteristik kerusakan pada peralatan umumnya tidak sama meskipun dioperasikan pada waktu yang bersamaan, karakteristik yang sama akan memberikan selang waktu terjadinya kerusakan yang berbeda. Karena kerusakan suatu alat atau komponen tergantung pada variabel waktu dan untuk mengetahui variabel waktu kerusakan digunakan fungsi pada probalitas (Ansori & Imron, 2013).

D. Keandalan (*Reliability*)

Menurut Ansori & Imron (2013), devinisi keandalan adalah sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin atau sistem tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsinya yang diharapkan dalam interval waktu dan kondisi tertentu. Dalam teori *reliability* menurut Tamin (2013) terdapat empat konsep yang dipakai dalam pengukuran tingkat keandalan (*reliability*) suatu sistem atau produk. Salah satu teori yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Fungsi distribusi kumulatif, pada perawatan adalah probalitas kerusakan yang probalitas terjadinya kerusakan sebelum waktu tertentu, yang secara matematis sebagai berikut:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt$$

Dimana $F(t)$ menyatakan distribusi kumulatif, dan jika $t \rightarrow \infty$, maka $F(t) \rightarrow 1$.

E. Pola Distribusi Data Dalam Keandalan (*Reliability*)

Pola distribusi data dalam Keandalan (*Reliability*) antara lain :

1. Pola Distribusi *Weibull* fungsi distribusi kumulatif dari distribusi *weibull*:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$$

2. Pola Distribusi Normal fungsi distribusi kumulatif dari distribusi Normal, sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

3. Pola Distribusi Lognormal fungsi distribusi kumulatif dari distribusi lognormal sebagai berikut ini.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} t^2 \sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}$$

4. Pola Distribusi Eksponensial fungsi kumulatif distribusi dari distribusi eksponensial yaitu:

$$f(t) = 1 - \lambda e^{-\lambda t}$$

F. Mean Time To Failure

Rata – rata kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E[T] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

G. Mean Time To Repaire

MTTR dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E[T] = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

H. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Pengertian *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah serangkaian proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan dalam memastikan bahwa aset – aset fisik dapat berjalan dengan baik dalam menjalankan fungsi yang dikehendaki oleh pemakainya (Ansori & Imron, 2013).

Dengan menggunakan tujuh pertanyaan tentang aset atau sistem yang diteliti pada dasarnya dapat menelusuri proses RCM (Ansori & Imron, 2013).

1. Apakah standart operasional fungsi dan performansi dari asset?

2. Bagaimana kerusakan atau kegagalan aset dalam menjalankan semua fungsinya?
3. Apakah penyebab masing – masing kegagalan fungsi dari aset tersebut?
4. Apakah yang akan terjadi saat aset terjadi kerusakan?
5. Bagaimana masing – masing kerusakan aset tersebut terjadi?
6. Apa yang harus dilakukan untuk memprediksi atau mencegah kerusakan tersebut?
7. Apakah yang dapat dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan?

I. Langkah – Langkah Metode RCM

Langkah – langkah pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terdiri dari 7 tahapan (Aufar dkk, 2014), sebagai berikut :

1. Pemilihan Sistem Dan Pengumpulan Informasi

Hal – hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan sistem, antara lain:

- a. Sistem memiliki ongkos PM yang tinggi.
 - b. Sistem memiliki jumlah kegiatan CM yang tinggi selama lebih dari 2 tahun.
 - c. Sistem memiliki ongkos CM yang tinggi setelah pemakaian lebih dari 2 tahun.
 - d. Sistem sudah melewati umur pakai.
 - e. Sistem memiliki dampak yang tinggi terhadap keselamatan dan keamanan.
2. Definisi Batasan Sistem

Jumlah unit mesin *wheel loader* di suatu pabrik pasti lebih dari satu maka dari itu, definisi batasan sistem merupakan suatu definisi kasar mengenai sistem atau mesin *wheel loader* yang akan menjadi fokus penelitian dan batasan yang telah ditetapkan.

3. Deskripsi Sistem Dan *Functional Block Diagram*

Pendeskripsian sistem penting untuk mengidentifikasi desain sistem yang kritis, hubungan antar komponen dan pengaruhnya terhadap kinerja sistem kemudian hasilnya akan digunakan untuk melakukan perbaikan *preventive maintenance*. Informasi yang ada kemudian digunakan untuk membuat *functional*

block diagram untuk mengidentifikasi sistem dengan rinci.

4. Penentuan Fungsi Sistem Dan Kegagalan Fungsional

Fungsi sistem ditentukan berdasarkan informasi mengenai jenis kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada sistem yang diamati. Kegagalan fungsional dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu peralatan untuk memenuhi fungsinya pada performansi standar yang dapat diterima oleh pengguna.

5. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa keandalan suatu sistem dan penyebab kegagalannya untuk mencapai persyaratan keandalan dan keamanan sistem, desain dan proses dengan memberikan informasi dasar mengenai prediksi keandalan sistem, desain, dan proses (Dyadem Press, 2003). Menentukan peringkat *saverity* (S), *occurrence*(O), dan *detection* (D), untuk masing – masing mode kegagalan dengan skala tingkatan 1 – 10.

6. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Menurut Utomo (2018) *Logic tree analysis* merupakan suatu alat pengukuran secara kualitatif yang bertujuan untuk menekan suatu prioritas dan sumber daya yang harus dialokasikan pada setiap mode kegagalan untuk mengklasifikasikan mode kegagalan, karena mode kegagalan tidak dibuat sama. Pada bagian ini komponen terbagi dalam 4 kategori, yakni:

1. Kategori A (*Safety problem*)
2. Kategori B (*Outage problem*)
3. Kategori C (*Economic problem*)
4. Kategori D (*Hidden failure*)

7. *Task selection*

Menurut Rachman (2013) *Task selection* dilakukan untuk menentukan kebijakan yang paling mungkin untuk diterapkan dan memilih task yang efektif untuk setiap mode kegagalan yang ada. Pada proses *task selection* ini dilakukan penentuan hubungan kegagalan dengan jenis *task* yang ada apakah kegagalan yang ada berhubungan langsung dengan *time directed*

(TD), *condition directed* (CD), dan *failure finding* (FF) serta *Run to Failure* (R.T.F).

J. Perhitungan Total *Minimum Downtime*

Perhitungan total minimum *downtime*, yang bertujuan untuk menentukan penggantian atau perawatan yang optimal berdasarkan interval waktu, tp . Diantara penggantian *preventive* dengan menggunakan kriteria minimum *downtime* per – unit yaitu :

$$D(tp) = \frac{H(tp)Tf + Tp}{tp + Tp}$$

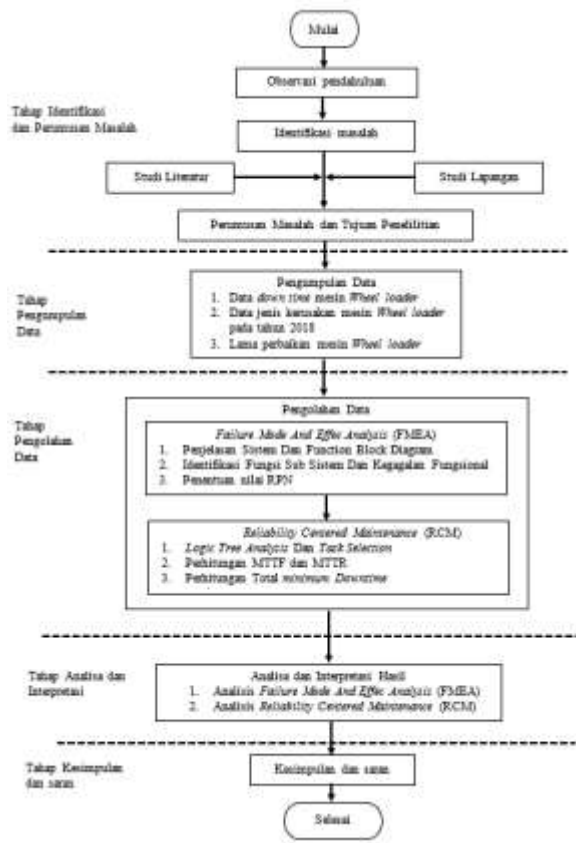
Dengan meminimumkan total *downtime*, diperoleh tindakan penggantian komponen berdasarkan waktu tp yang optimal. Untuk komponen yang memiliki distribusi kegagalan mengikuti peluang tertentu dengan fungsi peluang $f(t)$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu $(0, tp)$ dapat dihitung sebagai berikut :

$$H(tp) = \sum_{i=0}^{tp-1} (1 + H(tp - 1 - i)) \int_i^{i+1} f(t) dt$$

$H(0)$ ditetapkan sama dengan nol, sehingga untuk $tp = 0$, maka $H(tp)=H(0)=0$ Syahroni (2017).

III. METODELOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini langkah awal adalah melakukan observasi dilapangan untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dilakukan perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian, dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah Reliability Centered Maintenance. Lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar 1 *flowchart* penelitian.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

Metode ini terdiri dari 7 langkah, yakni seleksi sistem dan pengumpulan informasi, pendefinisian batasan sistem, deskripsi sistem, fungsi sistem dan kegagalan fungsi, *Failure mode and Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA), dan pemilihan tindakan, perhitungan nilai MTTR dan MTF. Kemudian jadwal perawatan komponen kritis diperoleh berdasarkan perhitungan waktu *Total Minimum Downtime* (TMD).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan data

Berdasarkan hasil pengumpulan data, maka sistem yang dipilih adalah sistem yang memiliki kriteria total frekuensi kerusakan dan *downtime* terbesar yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Data *Downtime* Mesin *Wheel Loader* tahun 2018

Kode Unit	Perbaikan (jam)	Service Berkala (jam)	Operasional Mesin (hari)	Ser Up Mesin (jam)	<i>Downtime</i>
WL Z 04 - 40	437	9	237	59,25	505,25
WL Volvo C	398	7	274	70,75	475,75
WL Z 04 - 27	412	7,5	290	72,5	501
WL Z 04 - 34	486	9	250	62,5	557,5
WL Z 04 - 35	290	14,5	302	14,5	379,75
WL Z 04 - 37	340	15	294	73,5	428,5
Jumlah	2363	62	1647	353	2847,75

Sumber : PT. Swadaya Graha

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa mesin dengan kode WL Z 04 - 34 memiliki total *downtime* terbesar yaitu 557,5 jam, karena mesin WL Z 04 - 34 dipilih dalam penelitian ini.

B. Pengolahan data

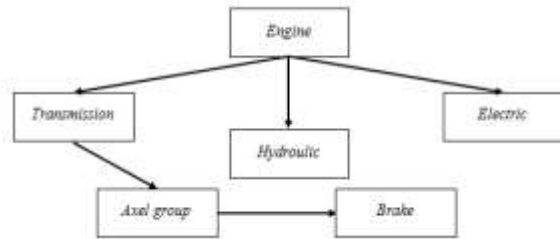
1. Penjelasan sistem dan fungsional block diagram.

Wheel loader merupakan jenis alat berat pemuat material hasil dari galian tambang yang tidak dapat langsung dipindahkan ke alat angkut ataupun alat lainnya. *wheel loader* juga dapat difungsikan sebagai alat pengerjaan pada umumnya mulai dari *cleaning* ringan, menggosur, ataupun menggali dangkal dan menunjang operasional produksi pada PT. Semen Indonesia. Mesin *wheel loader* terdiri dari 6 sub sistem yaitu :

- Engine* yang berfungsi sebagai penggerak utama pada sistem atau menjadi bagian yang paling penting dari unit mesin *wheel loader*. *Engine* akan menggerakkan sub sistem lainnya seperti *transmission*, *axle group*, *hydraulic*, *brake* dan *electric*.
- Transmission* yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan gerak, torsi, serta arah sehingga unit atau mesin dapat bergerak maju ataupun mundur. Kemudian juga sebagai penghubung putaran *flywheel* dari kopling ke poros *propeller shaft*.
- Axle group* yang berfungsi sebagai penggerak roda.
- Hydraulic* yang berfungsi sebagai penggerak *cylinder boom* dan *cylinder tilt* untuk menggerakkan *bucket* yang bertujuan untuk melakukan *loading* material.
- Brake* yang berfungsi untuk memperlambat dan menghentikan perputaran roda agar laju

mesin wheel loader menjadi pelan atau berhenti.

- f. *Electric* yang berfungsi sebagai sistem kelistrikan pada lampu operasional dan *starter* yang berguna untuk menyalakan mesin *wheel loader*.



Gambar 2. *Functional Block Diagram*

Pada gambar 2 merupakan diagram blok fungsi dari mesin *wheel loader* dengan kode unit Z 04 -34.

2. Identifikasi Fungsi Sub Sistem Dan Kegagalan Fungsional

Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan team FMEA dilakukan identifikasi fungsi sub sistem dan kegagalan fungsional yang terjadi pada sistem yang diteliti. Hasil dari identifikasi kegagalan fungsional dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Fungsi Sub Sistem dan Kegagalan Fungsional

No Fungsi	Sub Sistem	Fungsi Sub Sistem	Kegagalan Fungsional
1	<i>Engine</i>	Penggerak utama pada sistem atau menjadi bagian yang paling penting dari unit mesin <i>wheel loader</i> . <i>Engine</i> akan menggerakkan sub sistem lainnya seperti <i>transmission</i> , <i>axle group</i> , <i>hydraulic</i> , <i>brake</i> dan menganalkan arus pada <i>electric</i> .	1. Kebocoran oli <i>engine</i> 2. Mesin over <i>heating</i> 3. <i>Engine low power</i> 4. <i>Engine</i> tidak bisa berfungsi
2	<i>Hydraulic</i>	Penggerak <i>cylinder boom</i> dan <i>cylinder tilt</i> untuk menggerakkan <i>bucket</i> yang bertujuan untuk melakukan <i>loading material</i> .	1. Tidak bisa menggerakkan <i>bucket</i> 2. <i>Hydraulic low power</i> 3. Kebocoran oli <i>hydraulic</i>
3	<i>Transmission</i>	Pengatur kecepatan gerak, tren, serta arah sehingga unit atau mesin dapat bergerak maju atau mundur. Kemudian juga sebagai penghubung putaran <i>flywheel</i> dari kopling ke poros <i>propeller shaft</i> .	1. Tidak bisa berjalan maju dan mundur
4	<i>Electric</i>	Sistem kelistrikan pada lampu operasional dan <i>starter</i> yang berguna untuk menyalakan mesin <i>wheel loader</i> .	1. Tidak dapat memberi tanda peringatan 2. <i>Engine</i> tidak bisa menyala 3. Tidak dapat menerangi dalam keadaan gelap 4. Jam operasional mesin tidak dapat di catat
5	<i>Brake</i>	Memperlambat dan menghentikan perputaran roda agar laju mesin <i>wheel loader</i> menjadi pelan atau berhenti.	1. Tidak bisa memperlambat dan memperlambat laju mesin
6	<i>Axle group</i>	Penggerak roda.	1. Unit tidak bisa berjalan

3. Penentuan Nilai *Saverity*, *Occurrence*, *Detection* Dan Perhitungan Nilai RPN

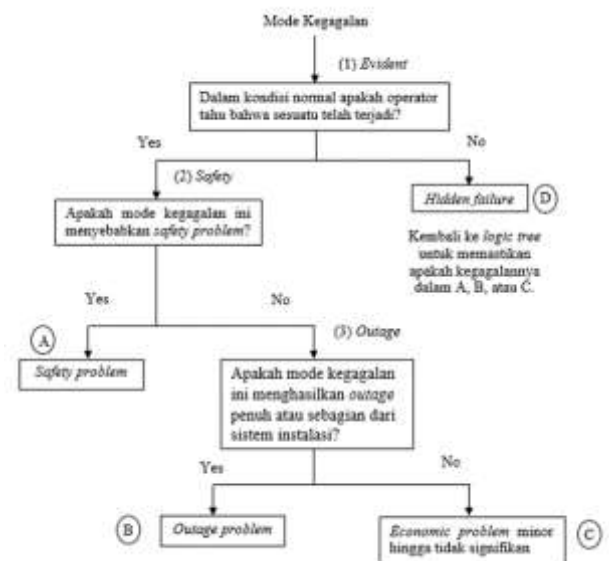
Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem. Penerapan FMEA dilakukan terlebih dahulu dengan mencari nilai *severity*, *occurance*, dan *detection*. Penentuan nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* dengan team FMEA mulai dari Koord maint dan mekanik mesin *wheel loader*. Tahap selanjutnya yang dilakukan setelah nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* didapatkan adalah komponen yang akan dipilih adalah dengan 4 nilai RPN tertinggi untuk dilakukan penjadwalan perawatan mesin *wheel loader*. Berdasarkan hasil proses FMEA setelah dilakukan perhitungan RPN dapat diketahui komponen yang memiliki mode kegagalan dengan resiko tinggi. Komponen tersebut dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

No	Sub Sistem	Fungsi	Kegagalan Fungsi	Mode Kegagalan	Penyebab Mode Kegagalan	Dampak Kegagalan	S	O	D	RPN
1	Hydraulict	Penggerak <i>cylinder boom</i> dan <i>cylinder tilt</i> untuk menggerakkan <i>bucket</i> yang bertujuan untuk melakukan <i>loading material</i>	Hydraulic low power	Hydraulic pump rusak	Kekurangan oli atau pemakaian tidak sesuai SOP	Tidak ada <i>oil hydraulic</i> yang disalurkan ke <i>cylinder boom</i> dan <i>cylinder tilt</i>	9	3	6	162
2	Engine	Penggerak utama pada sistem atau menjadi bagian yang paling penting dari unit mesin <i>wheel loader</i> . <i>Engine</i> akan menggerakkan sub sistem lainnya seperti <i>transmission</i> , <i>axle group</i> , <i>hydraulic</i> , <i>brake</i> dan <i>electric</i> .	Engine low power	Kebocoran kompresi mesin	Ring Seker aus dan keausan dinding <i>cylinder</i>	Ruang pembakaran tidak bekerja secara optimal sehingga tenaga yang dihasilkan kecil	7	3	7	147
3			Engine over heating	Radiator bocor	Terjadi benturan atau temperatur air tinggi	Proses pendinginan <i>engine</i> gagal	4	6	5	120
4			Engine tidak bisa menyala	Boscpump bocor dan macet	Seal rusak	Supply bahan bakar ke <i>seker</i> tidak ada	7	4	4	112

4. Logic Tree Analysis Dan Task Selection

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan proses kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing – masing mode kegagalan yang terjadi. Pada tahap ini dilakukan *brainstorming* dengan karyawan dari PT. Swadaya Graha dengan masa kerja lebih dari 5 tahun dan paham mengenai mesin *wheel loader*. Tujuan dari *Logic Tree Analysis* adalah mengklasifikasikan mode kegagalan ke dalam beberapa kategori sehingga dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing – masing mode kegagalan berdasarkan kategorinya. Pada gambar 3 dapat dilihat struktur pertanyaan pada *Logic Tree Analysis* (LTA) sebagai berikut ini.

**Gambar 3** Struktur Pertanyaan LTA

Berikut ini tabel analisis *Logic Tree Analysis* pada mode kegagalan yang terjadi pada 4 komponen yang memiliki resiko paling tinggi pada mesin *wheel loader* Z 04 – 34 dapat dilihat pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Analisis *Logic Tree Analysis* (LTA)

No	Sub Sistem	Komponen	Mode Kegagalan	Criticality Analysis			
				Evident	Safety	Outage	Category
1	Hydraulict	Pump hydraulic	Hydraulic pump rusak	Y	Y	N	A
2	Engine	Radiator	Radiator bocor	Y	Y	N	A
3		Block engine	Kebocoran kompresi mesin	Y	N	Y	B
4		Bostpump	Boscpump bocor	Y	N	Y	B

Kategori mode kegagalan dalam identifikasi yang telah dilakukan dengan *logic tree analisis* sebagai berikut ini.

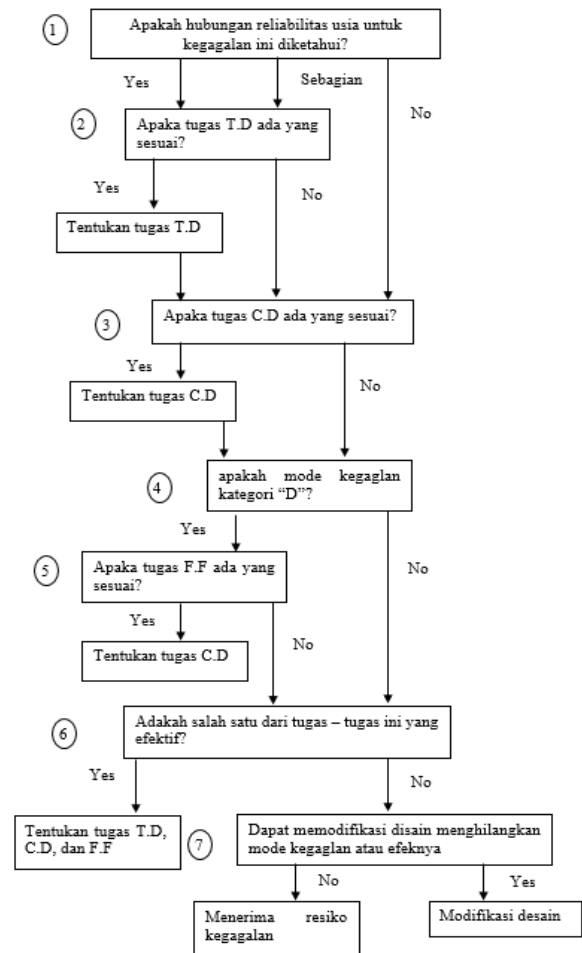
1. Kategori A (*Safety problem*) dengan mode kegagalan Radiator bocor dan *Hydraulic pump* rusak.
2. Kategori B (*Outage problem*) dengan mode kegagalan Kebocoran kompresi mesin dan *Bostpump* bocor.

Pemilihan tindakan merupakan tahap selanjutnya dalam proses *Reliability Centered Maintenance*. Proses ini akan menentukan tindakan yang tepat untuk masing – masing komponen. Pada tahap ini dilakukan *brainstorming* dengan karyawan dari PT. Swadaya Graha dengan masa kerja lebih dari 5 tahun dan paham mengenai mesin *wheel loader*.

Beberapa kategori tindakan pencegahan tersebut antara lain:

1. **Condition Directed (CD)** adalah tindakan yang diambil yang bertujuan untuk mendeteksi. Apabila ada pendeteksian ditemukan gejala-gejala kerusakan komponen maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.
2. **Time Directed (TD)** adalah tindakan yang diambil yang lebih berfokus pada aktivitas pembersihan yang dilakukan secara berkala.
3. **Finding Failure (FF)** adalah tindakan yang diambil dengan tujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

Berikut ini adalah struktur pemilihan tindakan yang tepat terhadap komponen mesin *wheel loader* dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4 Struktur Pemilihan Tindakan

Berikut ini tabel pemilihan tindakan pada 4 komponen yang memiliki resiko paling tinggi pada mesin *wheel loader* Z 04 – 34 dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Pemilihan Tindakan

No	Sub Sistem	Mode Kegagalan	Selection Guide							Jenis Tindakan
			1	2	3	4	5	6	7	
1	Hydroulic	Hydroulic pump rusak	Y	N	Y	N	Y	Y	-	(C.D)
2	Engine	Radiator bocor	Y	N	Y	N	Y	Y	-	(C.D)
3		Kebocoran kompresi mesin	Y	N	Y	N	Y	Y	-	(C.D)
4		Boscump bocor	Y	N	Y	N	Y	Y	-	(C.D)

Pemilihan tindakan pencegahan berdasarkan hasil analisis terhadap FMEA dan LTA adalah sebagai berikut:

1. **Condition Directed (C.D)**
Komponen – komponennya antara lain :
 - a. *Hydroulic pump*
 - b. *Radiator*
 - c. *Block engine*
 - d. *Bostpump*

5. Perhitungan MTTF dan MTTR

Tahapan selanjutnya adalah menentukan penjadwalan perawatan terhadap 4 komponen kritis yang mempunyai resiko tinggi berdasarkan nilai

RPN (*Riks Prioritas Number*) pada FMEA. Tetapi sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu distribusi waktu antar kerusakan dan distribusi lama perbaikan tiap komponen kritis. Komponen kritis tersebut adalah *Pump Hydroulic*, *Block engine*, *Radiator* dan *Bostpump*. Data waktu antar kerusakan diperoleh dari waktu selesai perbaikan kerusakan yang pertama sampai waktu kerusakan berikutnya. Sedangkan data waktu lama perbaikan diperoleh berdasarkan lamanya waktu perbaikan saat kerusakan terjadi. Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan *software minitab* 16 dari 4 komponen kritis. Berikut ini adalah

nilai MTTF dan MTTR pada komponen kritis dapat dilihat dalam tabel 8 berikut ini.

Tabel 8 Nilai MTTF dan MTTR

Komponen	Urutan		Rata-rata (μ dibagi 8 jam)	Standart Deviasi (σ dibagi 8 jam)
Pump Hydraulic	Downtime	MTTR	26,2 jam = 3,27 hari	39,5 jam = 4,93 hari
	Interval waktu kerusakan	MTTF	742 jam = 92,75 hari	627 jam = 78,37 hari
Block engine	Downtime	MTTR	22,17 jam = 2,77 hari	14,44 jam = 1,8 hari
	Interval waktu kerusakan	MTTF	531 jam = 66,37 hari	259,29 jam = 32,4 hari
Radiator	Downtime	MTTR	9,88 jam = 1,23 hari	7,14 jam = 0,89 hari
	Interval waktu kerusakan	MTTF	583 jam = 72,8 hari	2284 jam = 285,5 hari
Bostpump	Downtime	MTTR	9,25 jam = 1,15 hari	7,27 jam = 0,9 hari
	Interval waktu kerusakan	MTTF	647,25 jam = 80,9 hari	219,64 jam = 27,45 hari

6. Perhitungan Total Minimum Downtime

Berdasarkan data parameter distribusi komponen pada Tabel 8 akan ditentukan *total minimum downtime* (TMD) sebagai interval waktu penjadwalan perawatan komponen dengan *downtime* terkecil. Waktu yang diperlukan untuk mengganti komponen karena terjadi kerusakan disimbolkan dengan Tf, dan waktu yang diperlukan untuk mengganti komponen berdasarkan interval waktu (tindakan preventif) disimbolkan sebagai Tp. Nilai Tf dan Tp dari masing-masing komponen kritis diambil dari hasil perhitungan MTTR dapat dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9 Parameter Distribusi Dan Lama Perbaikan

No	Komponen	Parameter	Tf	Tp
1	Pump Hydraulic	μ = 26,2 σ = 39,5	3,27	3,27
2	Block engine	μ = 22,17 σ = 14,44	2,77	2,77
3	Radiator	μ = 9,88 σ = 7,14	1,23	1,23
4	Bostpump	μ = 9,25 σ = 7,27	1,15	1,15

Selanjutnya dilakukan perhitungan total *minimum downtime* sebagai interval perawatan komponen kritis untuk mengetahui *downtime* paling minimum dari interval perawatan. Komponen *pump Hydraulic* diambil sebagai contoh perhitungan total *minimum downtime* dengan langkah langkah:

a. Menentukan nilai fungsi distribusi kumulatif pada komponen *pump hydraulic*. Berikut ini adalah perhitungannya :

Jenis distribusi : lognormal

Parameter : μ = 26,2 σ = 39,5 π = 3,14

Fungsi ditribusi kumulatif untuk lognormal adalah :

$$f(t) = \frac{t}{\sqrt{2\pi t^2} 39,5^2} e^{-\frac{1}{2}(\frac{\ln t - 26,2}{39,5})^2}$$

$$f(1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi 1^2} 39,5^2} e^{-\frac{1}{2}(\frac{\ln 1 - 26,2}{39,5})^2} = 0,253572055$$

$$f(2) = \frac{2}{\sqrt{2\pi 2^2} 39,5^2} e^{-\frac{1}{2}(\frac{\ln 2 - 26,2}{39,5})^2} = 0,259222869$$

Dan seterusnya sampai f(92) dan hasil perhitungan diperoleh dengan menggunakan *Microsoft Excel* 2013.

b. Perhitungan banyaknya kerusakan komponen pada interval waktu (0, tp) pada komponen *Pump Hydraulic* yaitu sebagai berikut:

H(0) = selalu ditetapkan H(0) = 0

H(1) = [1 + H(0)] x F(1)

= [1 + 0] x 0,253572055 = 0,253572055

H(2) = [1 + H(1)] x F(2)

= [1 + (0,253572055)] x 0,259222869

= 0,324954544

Dengan rumus yang sama untuk hasil perhitungan H(3), H(4),.....,H(t) hasil perhitungan diperoleh menggunakan *Microsoft Excel* 2013.

c. Perhitungan Total *minimum downtime* pada komponen *Pump Hydraulic* yaitu:

$$D(tp) = \frac{H(tp)Tf + Tp}{tp + Tp}$$

D(tp = 1) = D(1)

$$= \frac{(0,253572055)(3,27) + (3,27)}{1 + 3,27}$$

= 1,59 hari

D(tp = 2) = D(2)

$$= \frac{(0,324954544)(3,27) + (3,27)}{1 + 3,27}$$

= 1,68 hari

Keterangan :

Untuk hasil perhitungan D(3), D(4),.....,D(92) komponen *Pump Hydraulic* hasil perhitungan diperoleh menggunakan *Microsoft Excel* 2013.

Berdasarkan perhitungan Total *Minimum Downtim* dari komponen *Pump Hydraulic*, *Block engine*, *Radiator* dan *Bostpump*, maka diperoleh interval perawatan yang optimum untuk masing-masing komponen pada Tabel 10.

Tabel 10 Rekapitulasi Interval Perawatan

No	Komponen	t	Ft	Ht	Dt
1	Pump Hydraulic	52	0,286629044	0,401662164	1,372599379
2	Block engine	58	0,1048984	0,1171596	0,3701137
3	Radiator	18	0,163804929	0,195339053	0,304229594
4	Bostpump	16	0,186470441	0,228385381	0,329698581

Dari tabel 10 dapat dilihat bahwa interval perawatan / penjadwalan perawatan optimum untuk komponen *pump hydraulic* yaitu setiap 52 hari, untuk komponen *block cylinder* setiap hari 58, untuk komponen *radiator* setiap 18 hari, untuk komponen *bostpump* setiap 16 hari. Adapun tujuan dari penjadwalan perawatan dari komponen tersebut adalah untuk menjaga agar mesin tetap dalam keadaan siap untuk dioperasikan agar tetap dapat menjalankan proses produksi dengan baik.

V. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengolahan data dengan metode FMEA maka didapatkan mode kegagalan / kerusakan yang terjadi dan efek kegagalan dari mesin *wheel loader Z 04 – 34* sebanyak 28 kegagalan / kerusakan. Kemudian diketahui ada 4 komponen yang memiliki resiko kegagalan paling tinggi / nilai RPN yang tinggi yaitu, *Pump Hydraulic* dengan nilai RPN 162, *Block Engine* dengan nilai RPN 147, *Radiator* dengan nilai RPN 120 dan *Bostpump* dengan nilai RPN 112.
2. Setelah melalui semua tahapan pada metode RCM didapatkan penjadwalan perawatan mesin *wheel loader* yang optimal dengan perhitungan *Total Minimum Downtime* terhadap 4 komponen kritis yaitu sebagai berikut:
 - a. komponen *Pump Hydraulic* 52 hari.
 - b. komponen *Block Engine* 58 hari.
 - c. komponen *Radiator* 18 hari.
 - d. komponen *Bostpump* 16 hari.
3. Hasil perhitungan MTTR dan MTTF untuk menentukan waktu interval perawatan komponen kritis yaitu:
 - a. *Pump Hydraulic*, hasil perhitungan MTTF dengan 742 jam atau rata – rata sama dengan 92 hari untuk hasil perhitungan MTTR dengan 26 jam atau rata – rata sama dengan 3 hari.
 - b. *Block engine*, hasil perhitungan MTTF dengan 531 jam atau rata – rata sama dengan 66 hari untuk hasil perhitungan MTTR dengan 22 jam atau rata – rata sama dengan 3 hari.
 - c. *Radiator*, hasil perhitungan MTTF dengan 538 jam atau rata – rata sama dengan 73 hari untuk hasil perhitungan MTTR dengan 9,88 jam atau rata – rata sama dengan 1 hari.
 - d. *Bostpump*, hasil perhitungan MTTF dengan 647 jam atau rata – rata sama dengan 81 hari untuk hasil perhitungan MTTR dengan 9,25 jam atau rata – rata sama dengan 1 hari.
4. Rekomendasi tindakan yang tepat melalui metode *Logic Tree Analisis (LTA)* dan *Task selection* adalah
 - a. komponen *Pump Hydraulic* masuk dalam kategori A (*safety problem*) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ *Conditional Direted*.
 - b. Komponen *Block Engine* masuk dalam kategori B (*Outage problem*) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ *Conditional Direted*.
 - c. Komponen *Radiator* masuk dalam Kategori A (*safety problem*) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ *Conditional Direted*.
 - d. Komponen *Bostpump* masuk dalam kategori B (*outage problem*) dengan pemilihan tindakan yaitu CD/ *Conditional Direted*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, N., Mustajib, M, I. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Aufar, A. N., Leksananto, K., & Prassetiyo, H. (2014). Usulan Kebijakan Perawatan Area Produksi Trim Chassis dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Studi Kasus: PT. Nissan Motor Indonesia). *Reka Integra*, 2(4).
- Denur, D., Hakim, L., Hasan, I., & Rahmad, S. (2017). Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Mesin Ripple Mill. *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 4(1), 27-34.
- Dyadem Press. 2003. *Guidelines for Failure Mode and Effect Analysis for Automotive, Aerosapce and General Manufacturing Industries*. Ontario: CRC Press.

- Putra, Eko Lisysantaka Rusma. 2011. Artikel Reliability Centered Maintenance (RCM) <https://www.scribd.com> (diakses pada tanggal 26 april 2019).
- Syahroni, Ikhwan. 2017. Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Forklif Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* Di PT. Indospring Tbk. *Sekripsi*. Universitas Muhammadiyah Gresik.
- Rachman, H., Garside, A. K., & Kholik, H. M. (2017). Usulan Perawatan Sistem Boiler Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 86-93.
- Hidayat, H., Jufriyanto, M., & Rizqi, A. (2021). Perancangan RCM (Reliability Centered Maintenance) Untuk Mengurangi Downtime Mesin Pembuat Botol (Studi Kasus PT IGLAS (Persero), Gresik). *MATRIK : Jurnal Manajemen Dan Teknik Industri Produksi*, 21(2), 157 - 164. doi:10.30587/matrik.v21i2.2038
- Hidayat, H., Jufriyanto, M., & Rizqi, A. (2020). ANALISIS OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) PADA MESIN CNC CUTTING. *ROTOR*, 13(2), 61-66. doi:10.19184/rotor.v13i2.20674
- Tamin, W., Sinaga, T. S., Rambe, M., & Jabbar, A. (2013). Penerapan Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Dengan Mengaplikasikan Grey Fmea Pada PT. Wxy. *Jurnal Teknik Industri USU*, 1(3).
- Utomo, R. W. (2018). Perencanaan Perawatan Mesin Pump 107 Dengan Metode Reability Centered Maintenance (RCM) di PT. Petrokimia Gresik. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 1(02), 33-38.