

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai pengolahan dan analisis data terhadap objek yang diteliti sehingga diperoleh hasil berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya

4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Gambaran umum objek penelitian menjelaskan tentang perusahaan tempat penelitian yaitu PT. Timur Megah Steel. Hal yang dibahas meliputi profil perusahaan, visi dan misi perusahaan, struktur organisasi, dan proses produksi mur dan baut, sistem kerja, dan deskripsi objek yang diamati.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT. Timur Megah Steel didirikan pada tahun 1975 di Surabaya. Pada awalnya perusahaan bergerak di bidang produksi perkakas rumah tangga dengan bahan aluminium. Pada tahun 1977, perusahaan menghentikan produksi perkakas rumah tangga dan beralih ke produksi alat pengunci (*fastener*). Lokasi perusahaan kemudian dipindah ke Driyorejo, Gresik pada tahun 1981.

PT. Timur Megah Steel merupakan perusahaan yang mengolah besi baja gulungan (*wire rod*) menjadi produk-produk pengikat (*fastener*) yang beraneka ragam, diantaranya mur (*nut*), baut (*bolt*), *screw*, dan lain sebagainya. Produk yang dihasilkan dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan seperti konstruksi tower baja, pembangkit listrik, jembatan, pelabuhan, dan berbagai industri lainnya. PT. Timur Megah Steel menghasilkan produk-produk yang berkualitas, terbukti dengan adanya pengakuan dan apresiasi dari perusahaan internasional yaitu Shinko Bolt, Jepang. Selain itu perusahaan juga telah menerapkan ISO 9002 tentang *Quality System* sejak tahun 2002.

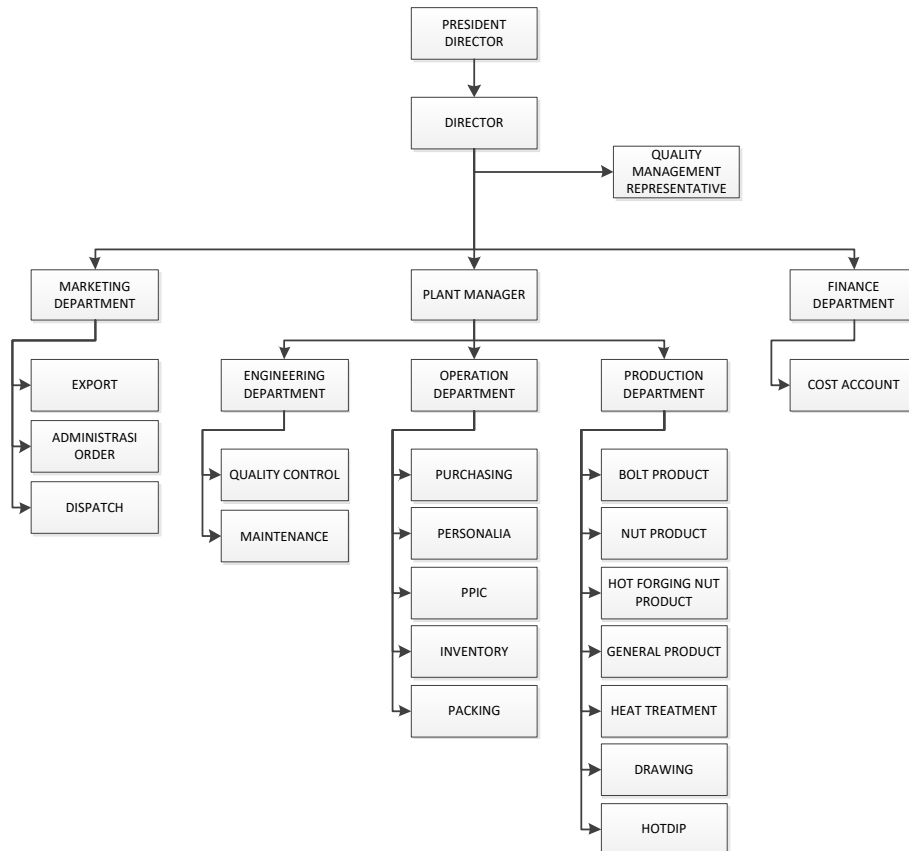
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

Dalam mengambil setiap kebijakan dan langkah geraknya, PT Timur Megah Steel berpedoman kepada visi dan misi perusahaan. Visi dan misi PT Timur Megah Steel sebagai berikut:

1. Visi PT Timur Megah Steel “*Menjadi Produsen Fastener Bolt dan Nut Terbesar dan Terbaik di Asia Tenggara*”
2. Misi PT. Timur Megah Steel yaitu:
 - a. Dikenal dan berkembang di pasar Asia Tenggara dan Australia
 - b. Melaksanakan sistem manajemen mutu secara efektif
 - c. Meningkatkan pasar *special parts, automotive parts* dan *mining fastener*

4.1.3 Struktur Organisasi Perusahaan

Sebuah perusahaan harus mempunyai struktur organisasi yang sangat dibutuhkan dalam menjaga agar setiap aktifitas terutama aktifitas produksi dapat berjalan secara efektif. PT. Timur Megah Steel (TMS) dipimpin oleh seorang *president director* dan dibantu oleh tiga orang direktur. Dalam menjalankan organisasinya, PT TMS memiliki lima departemen yang terdiri dari *marketing departement*, *finance departement*, *engineering departement*, *operation departement*, dan *production departement*. Dari lima departemen tersebut, terdapat dua departemen yang bertanggung jawab langsung terhadap direktur, sedangkan 3 lainnya bertanggung jawab melalui *plant manager*. Struktur organisasi dari PT. TMS secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Struktur Organisasi PT. Timur Megah Steel
Sumber: PT. Timur Megah Steel

4.1.4 Proses Produksi Mur dan Baut

PT. Timur Megah Steel merupakan perusahaan yang memproduksi *fastener* dari bahan baku utama berupa gulungan baja (*wire rod*) dengan berbagai ukuran dan spesifikasi, seperti baja ASTM, JIS, ISO, dan JSS. Bahan baku juga dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat kekerasan dan kualitas materialnya, misalnya baja dengan *grade* 3.6, 4.6, 4.8, 8.8, dan sebagainya.

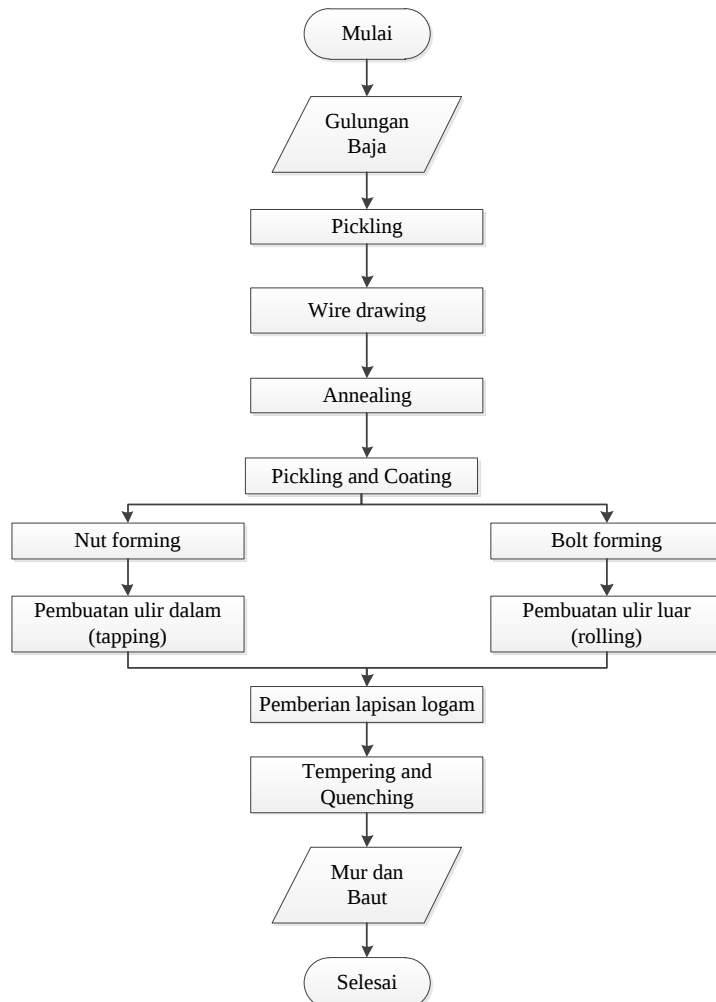
Dalam memproduksi mur dan baut, proses awal yang dilakukan pada gulungan baja adalah proses pembersihan (*pickling*). Proses ini bertujuan untuk menghilangkan noda, kotoran, dan karat yang mungkin menempel pada baja selama proses *material handling* maupun penyimpanan. Gulungan baja yang sudah bersih kemudian akan mengalami proses *wire drawing* yaitu mengurangi atau mengecilkan diameter baja dengan cara menarik gulungan baja ke arah cetakan (*wire drawing*), kemudian akibat dari gaya tekan dari cetakan maka dihasilkan baja dengan diameter yang lebih kecil. Diameter baja ditentukan dari diameter mur dan baut yang akan dibuat.

Setelah didapat ukuran dan diameter gulungan baja yang diperlukan maka gulungan baja selanjutnya akan mengalami proses *annealing*. Proses ini merupakan proses perlakuan panas pada baja dengan cara memanaskan baja sampai temperatur tertentu kemudian menjaga temperatur baja pada suhu tersebut hingga terjadi perubahan struktur sesuai dengan yang diinginkan, lalu dilakukan pendinginan dengan laju pendinginan yang lambat. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghasilkan baja dengan sifat-sifat yang diinginkan.

Proses selanjutnya adalah gulungan baja akan dibersihkan lagi melalui proses *pickling* untuk menghilangkan noda-noda yang tertempel selama proses *drawing* dan *annealing*. Selain itu, gulungan baja juga akan mengalami proses pelapisan (*coating*) yang bertujuan untuk meningkatkan sifat permukaan baja dan melindungi dari dampak lingkungan seperti korosi. Selanjutnya proses akan dipisah antara *nut forming* dan *bolt forming*. *Nut forming* dan *bolt forming* adalah proses pembentukan baja menjadi bentuk mur (*nut*) dan baut (*bolt*). Proses ini memadukan antara perlakuan panas dengan prinsip tumbukan dengan cetakan yang ada.

Mur dan baut yang sudah terbentuk kemudian diberikan ulir. Proses pembuatan ulir pada mur dan baut berbeda. Pembuatan ulir pada mur disebut proses *tapping* yaitu pembuatan ulir bagian dalam dengan cara memakamkan mur pada mata pahat. Sedangkan pembuatan ulir pada baut disebut proses *rolling* yaitu pembuatan ulir bagian luar dengan cara memutar baut pada cetakan ulir. Mur dan baut kemudian akan dilapisi dengan logam melalui proses *electroplating*, yaitu proses pelapisan logam dengan menggunakan elektrokimia. Proses

akhir adalah proses *tempering and quenching*, yaitu dimulai dari memanaskan logam sampai suhu tertentu, kemudian ditahan beberapa waktu, lalu dilakukan pendinginan dengan cepat sampai ke temperatur ruang. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan keuletan dari mur dan baut. Proses pembuatan mur dan baut secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Proses Pembuatan Mur dan Baut
Sumber: PT. Timur Megah Steel

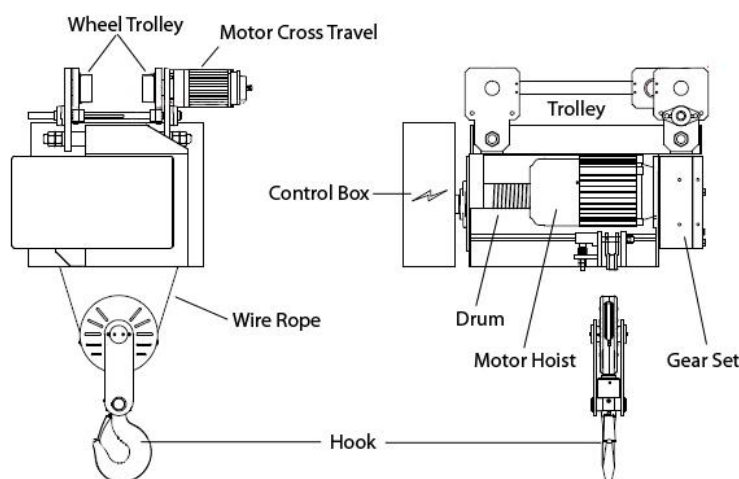
4.1.5 Sistem Kerja

PT Timur Megah Steel menggunakan sistem kerja 6 hari dari Senin sampai dengan Sabtu. PT TMS mulai beroperasi pukul 08.00-16.00 WIB pada hari Senin sampai dengan Jumat. Sedangkan pada hari Sabtu, jam kerja dikurangi 2 jam sehingga jadwal kerjanya mulai pukul 08.00-14.00 WIB. Total jam kerja selama 1 minggu adalah 46 jam dan selama 1 tahun adalah 2460 jam.

4.1.6 Deskripsi Objek yang Diamati

Hoist Crane merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan benda secara vertikal dan horizontal melalui media tali baja atau rantai yang dikaitkan dengan benda. *Hoist crane* terdiri dari beberapa jenis seperti *crane* putar, *crane* yang bergerak pada rel, *crane* tanpa lintasan, *crane* yang diletakkan pada lokomotif, dan *crane* jembatan. Berdasarkan media pengangkatnya, *hoist* dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu *wire rope hoist* dan *chain hoist*. *Wire rope hoist* merupakan jenis *hoist* yang menggunakan tali baja sebagai media pengangkatnya. Sedangkan *chain hoist* merupakan jenis *hoist* yang menggunakan rantai sebagai media pengangkatnya. Pada penelitian ini, jenis *hoist* yang digunakan adalah *overhead crane* dengan media pengangkat berupa *wire rope*.

Hoist crane berjenis *overhead crane* biasanya ditopang oleh dua buah tiang dan diletakkan di atas *work station* di dalam ruangan. *Hoist crane* memiliki *runway* yang tetap, gerakan hanya terbatas pada *runway* yang disediakan. *Hoist crane* jenis *overhead crane* pada umumnya memiliki komponen seperti pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Komponen *hoist crane*
Sumber: PT. Timur Megah Steel

1. Hook

Hook merupakan bagian *crane* yang berbentuk seperti kail yang berfungsi untuk mengaitkan benda yang akan diangkat. *Hook* biasanya terbuat dari besi baja.

2. Tali Baja (*Wire Rope*)

Tali Baja merupakan komponen yang menahan gaya tarik yang dihasilkan *motor hoist* dalam mengangkat benda. Konstruksi tali baja terdiri dari kumpulan jalinan serat baja yang dipintal menjadi satu. Tali baja banyak digunakan pada mesin pengangkat. Tali

baja dililitkan pada drum sehingga dapat diatur panjang tali yang diperlukan untuk mengangkat dan memindahkan suatu benda. Keunggulan tali baja diantaranya adalah:

- a. Lebih ringan apabila dibandingkan dengan media rantai (*chain*)
- b. Mudah dideteksi apabila tali baja akan putus. Pendeteksian dapat dilihat melalui serat-serat tali baja yang mulai putus.
- c. Lebih fleksibel apabila dibandingkan dengan media rantai (*chain*)

3. Drum

Drum merupakan komponen yang berbentuk seperti tabung yang berfungsi sebagai tempat menggulung tali baja (*wire rope*) sehingga dapat mengatur ketinggian pengangkatan yang diinginkan. Drum terhubung dengan *motor hoist* sebagai penggerak utama melalui *gear set*.

4. Gear Set

Gear Set merupakan komponen yang berfungsi untuk menyalurkan gaya gerak yang dihasilkan oleh *motor*. Pada *hoist crane*, *gear set* menyalurkan gaya gerak kepada roda *trolley (wheel trolley)*, roda *end truck (wheel end truck)*, dan drum.

5. Motor Listrik

Motor listrik memiliki dua bagian utama yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya terpisah dengan *air gap* sehingga rotor dapat berputar. Motor listrik merupakan komponen utama dalam menghasilkan gerakan pada *crane*. Pada dasarnya motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi gerak yang memutar poros kemudian disalurkan pada *gear set* sehingga menyebabkan pergerakan. Pada *hoist crane* terdapat tiga jenis motor listrik yaitu:

a. Motor Hoist

Motor *hoist* merupakan motor yang berperan dalam melakukan pengangkatan dan penurunan benda

b. Motor Cross Travel

Motor *cross travel* merupakan motor yang berperan dalam pemindahan benda ke kiri dan ke kanan

c. Motor Long Travel

Motor *long travel* merupakan motor yang berperan memindahkan keseluruhan *crane* bersama benda dengan gerakan maju mundur.

6. Control Box

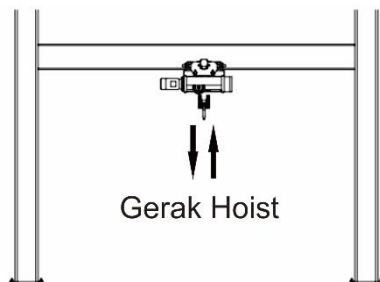
Control box berfungsi sebagai penghubung antara operator dengan mesin. Secara sederhana, *control box* menerjemahkan instruksi yang dilakukan operator pada *push*

button kemudian diteruskan kepada komponen listrik lainnya sehingga *crane* dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan.

Seperti dibahas sebelumnya, motor listrik pada *hoist crane* jenis *overhead crane* terdiri dari 3 jenis yaitu motor *hoist*, motor *cross travel*, dan motor *long travel*. Ketiga jenis motor ini menghasilkan gerakan dan fungsi yang berbeda yaitu gerak *hoist*, *cross travel*, dan *long travel*.

1. Gerak Naik atau Turun (*Hoist*)

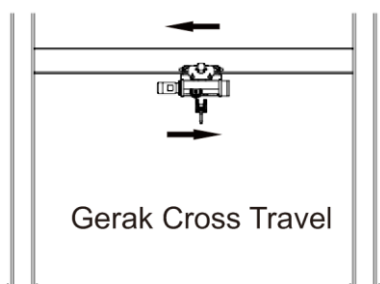
Gerakan ini dilakukan oleh *motor hoist* yang kemudian terhubung kepada drum melalui *gear set*. Drum dililitkan dengan *wire rope* sehingga *wire rope* dapat ditarik dan diulur. Gerakan tarik ulur inilah yang menghasilkan gerak naik dan turun. Ilustrasi gerak *hoist* dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Gerak *hoist* pada *hoist crane*

2. Gerak *Cross Travel*

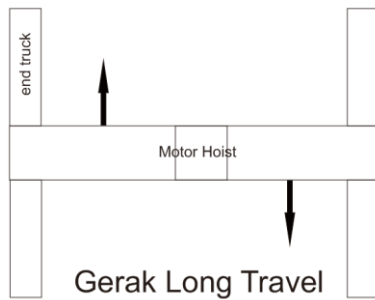
Gerakan *cross travel* dilakukan oleh motor troli (*motor cross travel*) yang bergerak pada rel utama (*runway*). Motor *cross travel* terhubung dengan *wheel trolley* melalui *gear set*. Untuk lebih jelasnya, gerakan *cross travel* dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Gerak *cross travel* pada *hoist crane*

3. Gerak *Long Travel*

Gerakan *long travel* merupakan gerakan yang dilakukan oleh motor penggerak yang terdapat pada *end truck* (*motor long travel*). Motor *long travel* terhubung dengan *wheel end truck* melalui *gear set*. Gerak *long travel* dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Gerak long travel pada hoist crane

4.2 Functional Block Diagram

Functional Block Diagram digunakan untuk memahami hubungan fungsi antar komponen dan *sub assembly*. Untuk lebih jelasnya, *functional block diagram hoist crane* dapat dilihat pada Gambar 4.7. Sistem terbagi menjadi lima *block*. Masing-masing *block* terdapat komponen mesin dengan fungsi tertentu.

1. Block Crane

Block Crane terdiri dari *Control Box*, *end truck*, *trolley*, dan *hoist*. *control box* berperan untuk meneruskan perintah dari operator kepada masing-masing motor pada *end truck*, *trolley*, dan *hoist*. Perintah yang masuk pada *end truck* akan diteruskan kepada motor *end truck* yang kemudian menghasilkan gerak *long travel*. Perintah yang masuk pada *trolley* akan diteruskan kepada motor *trolley* yang kemudian menghasilkan gerak *cross travel*. Sedangkan perintah yang masuk pada *hoist* akan diteruskan kepada motor *hoist* yang kemudian menghasilkan gerakan *hoist*.

2. Block End Truck

End truck terdiri dari motor, transmisi, dan *wheel* yang membantu dalam melakukan gerakan *long travel*. Motor sebagai sumber gerak utama menghasilkan rotasi yang dihubungkan dengan transmisi untuk kemudian diteruskan kepada *wheel end truck*. *End truck* memiliki 2 buah motor, 2 buah *gearbox*, dan 4 buah *wheel*

3. Block Trolley

Trolley terdiri dari motor, transmisi, dan *wheel* yang membantu dalam melakukan gerakan *cross travel*. Motor sebagai sumber gerak utama menghasilkan rotasi yang dihubungkan dengan transmisi untuk kemudian diteruskan kepada *wheel trolley*. *Trolley* memiliki sebuah motor dan *gear set* serta 4 buah *wheel*

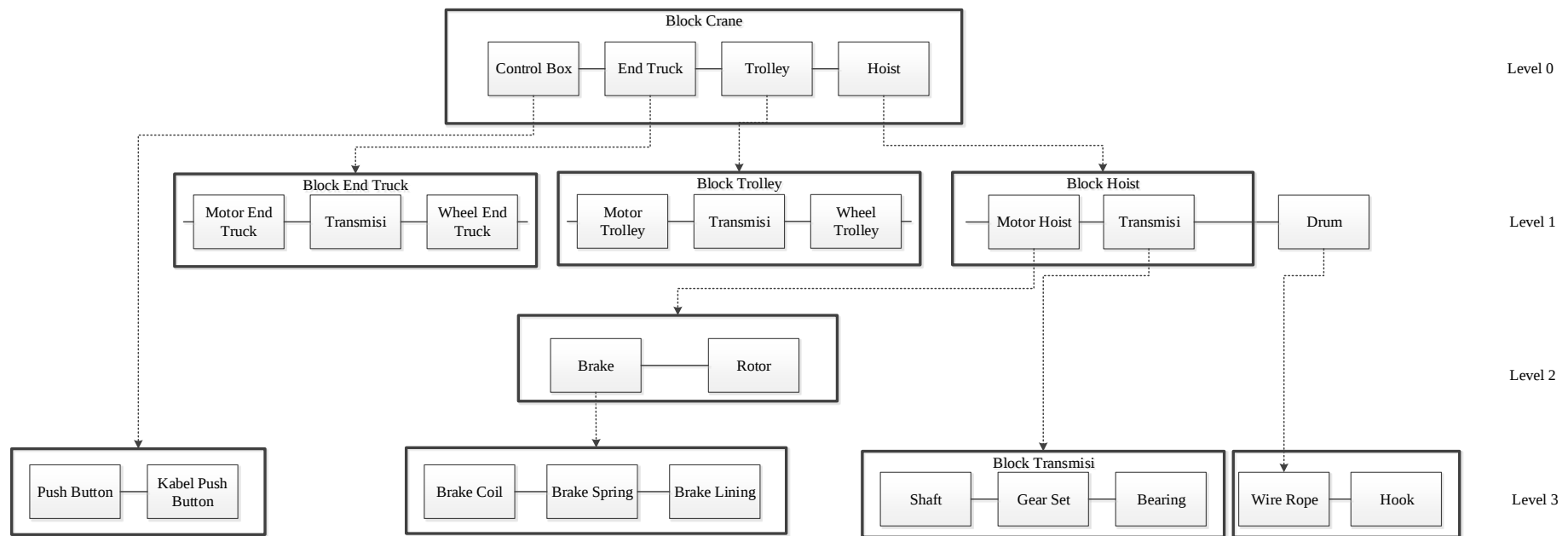
4. Block Hoist

Dalam melakukan pengangkatan, terdapat motor *hoist* sebagai sumber energi utama. Motor *hoist* kemudian dihubungkan dengan drum melalui *gear set*. *Wire rope* dililitkan

pada drum dan *hook* sebagai pengaitnya. Motor *hoist* sendiri terdiri dari rotor dan *brake*. Rotor adalah komponen yang berputar akibat dari adanya aliran listrik yang dialirkan pada stator. *Brake* pada motor berfungsi untuk menahan kedudukan *hoist* pada titik ketinggian tertentu sesuai kebutuhan pengangkatan.

5. *Block Transmisi*

Block yang terakhir adalah *block transmisi* dimana gerakan yang dihasilkan dari motor *hoist* akan diteruskan ke *shaft*. *Shaft* memiliki dua buah *bearing* yang berfungsi untuk menstabilkan putaran dan mengurangi getaran pada *shaft*. Kemudian *shaft* dihubungkan dengan *gear set*



Gambar 4.7 Functional block diagram hoist crane

4.3 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini dikumpulkan data primer dan sekunder yang berfungsi sebagai *input* untuk tahap pengolahan data.

4.3.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer didapatkan melalui wawancara dengan bagian *maintenance* PT Timur Megah Steel. Data primer yang diambil adalah data proses produksi, fungsi masing-masing komponen, dan identifikasi kegagalan dan penyebab kegagalan komponen, dan biaya terkait tenaga kerja dan biaya komponen di PT. Timur Megah Steel.

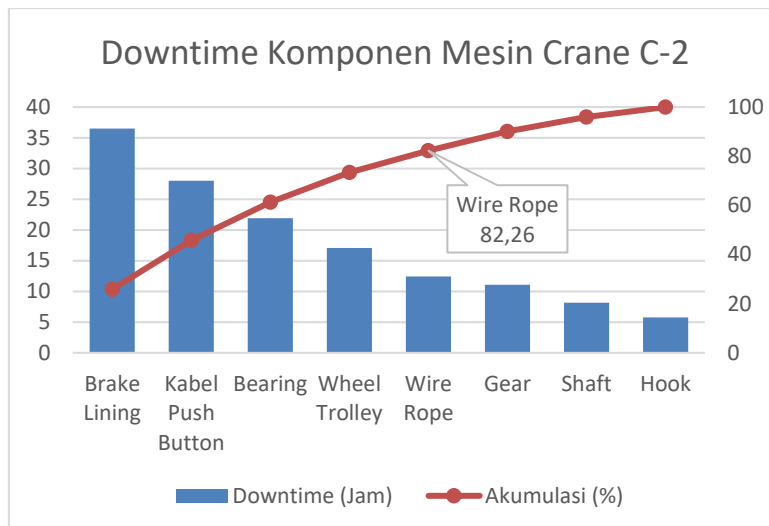
4.3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam pengolahan data pada penelitian ini diantaranya frekuensi kerusakan dan *downtime* mesin, data *Time to Failure* (TTF) serta data *Time to Repair* (TTR). Pada Tabel 4.1 dapat dilihat data frekuensi kerusakan dan *downtime* komponen mesin dari Juni 2015 sampai dengan Juni 2016.

Tabel 4.1
Frekuensi Kerusakan dan *Downtime* Komponen Mesin Crane

Komponen	Frekuensi	<i>Downtime</i> (Jam)
<i>Brake Lining</i>	10	36,53
Kabel <i>Push button</i>	10	28,03
<i>Bearing</i>	5	21,94
<i>Wheel Trolley</i>	4	17,09
<i>Wire Rope</i>	5	12,44
<i>Gear</i>	2	11,09
<i>Shaft</i>	2	8,17
<i>Hook</i>	2	5,76
Total	40	141,05

Berdasarkan Tabel 4.1 , terdapat 8 komponen yang diamati dengan total frekuensi kerusakan sebanyak 40 kali dan total *downtime* sebesar 141,05 jam selama periode Juni 2015 sampai dengan Juni 2016. Selanjutnya dari Tabel 4.1, dapat ditentukan komponen kritis dengan menggunakan diagram pareto yang disajikan pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Downtime komponen mesin crane C-2

Diagram pareto pada Gambar 4.8 berfungsi untuk menentukan komponen kritis pada mesin *hoist crane* C-2. Berdasarkan konsep pareto (80:20), terdapat lima komponen yang telah mencapai persentase kumulatif 82,26% yaitu komponen *brake lining*, kabel *push button*, *bearing*, *wheel trolley*, dan *wire rope*. Komponen-komponen tersebut yang akan diteliti pada penelitian ini karena merupakan komponen yang paling berpengaruh terhadap kerusakan pada mesin *hoist crane* C-2

Data *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR) dari masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 atau pada **Lampiran 1**.

Tabel 4.2

Data TTF Komponen Kritis

No	<i>Brake Lining</i> (Jam)	Kabel <i>Push Button</i> (Jam)	<i>Bearing</i> (Jam)	<i>Wheel Trolley</i> (Jam)	<i>Wire Rope</i> (Jam)
1	250	269,75	456,5	682,5	546,33
2	299,5	273,75	612	532,25	628
3	245	194,3	558	635	412,75
4	253	257,67	589,25		566,25
5	190	251,25			
6	303,75	308			
7	255	295,67			
8	237,25	196			
9	227,67	267,75			
Rata-rata	251,24	257,13	553,94	616,58	538,33

Nilai TTF dapat dicari dengan cara menghitung waktu komponen pertama kali bekerja atau waktu pertama kali komponen bekerja setelah terjadinya kerusakan sampai dengan waktu dimana komponen mengalami kerusakan. Contoh perhitungan TTF dapat dilihat pada komponen *brake lining* dengan nilai TTF sebesar 250 jam. Komponen *brake lining*

mengalami kerusakan dan selesai diperbaiki pada Sabtu, 13 Juni 2015 pukul 14:00. Komponen *brake lining* mengalami kerusakan lagi pada Selasa, 28 Juli 2015 pukul 12:00. Maka TTF dihitung berdasarkan hari aktif operasi selama periode 13 Juni 2015 14:00 sampai dengan 28 Juli 2015 12:00. Berdasarkan perhitungan, terdapat total 32 hari sebelum kerusakan selanjutnya terjadi. Selama periode tersebut, terdapat 5 kali hari Sabtu dimana hari Sabtu memiliki jam kerja hanya 6 jam. Kerusakan terjadi pada pukul 12:00, sehingga pada hari tersebut mesin telah beroperasi selama 4 jam. Nilai TTF dapat dihitung sebagai berikut.

$$TTF_{brake\ lining} = 27 \text{ hari} \times 8 \text{ jam} + 5 \text{ hari} \times 6 \text{ jam} + 4 \text{ jam} = 250 \text{ jam}$$

Tabel 4.3

Data TTR Komponen Kritis

No	<i>Brake Lining</i> (Jam)	Kabel <i>Push Button</i> (Jam)	<i>Bearing</i> (Jam)	<i>Wheel Trolley</i> (Jam)	<i>Wire Rope</i> (Jam)
1	3,84	3	3,84	4	2,59
2	4	2,75	4,59	4,42	2,34
3	3,75	2,67	4,67	4,5	2,59
4	3,67	2,25	4,5	4,17	2,75
5	4,17	2,84	4,34		2,17
6	3,5	3,42			
7	3,59	3,34			
8	3	2			
9	3,34	2,92			
10	3,67	2,84			
Rata-rata	3,65	2,80	4,39	4,27	2,49

Nilai TTR didapat dengan menghitung waktu komponen mengalami kerusakan sampai dengan waktu komponen selesai diperbaiki. Contoh perhitungan TTR dapat dilihat pada komponen *brake lining* dengan nilai TTR 3,84 jam. Diketahui bahwa komponen *brake lining* mulai rusak pada Sabtu 13 Juni 2015 pukul 10:10 dan selesai diperbaiki dihari yang sama pada pukul 14:00. Nilai TTR dapat dihitung dengan cara mengurangi waktu komponen beroperasi kembali dengan waktu *downtime*nya yaitu 14:00 dikurangi 10:10 sehingga didapat nilai 3,84 jam.

4.4 Pengolahan Data

Pengolahan data terdiri dari beberapa tahap yaitu penyusunan *Functional Block Diagram* (FBD), membuat *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), perhitungan interval

perawatan optimal dan biaya perawatan, perhitungan keandalan komponen, penyusunan RCM II *Decision Worksheet*, dan penyusunan jadwal perawatan.

4.4.1 Identifikasi System Function dan Functional Failure

System function adalah fungsi dari komponen yang akan diteliti, sedangkan *functional failure* adalah jenis kegagalan yang dialami oleh komponen tersebut. Pada tabel 4.4 disajikan *system function* dan *functional failure* komponen kritis pada mesin *hoist crane C-2*

Tabel 4.4

System Function dan Function Failure Komponen Kritis

No	Komponen	Function	Function Failure
1	<i>Brake lining</i>	Menghentikan gerakan rotor dengan menekan <i>brake lining</i> pada <i>base plate</i>	Rotor tidak langsung berhenti
2	Kabel <i>Push button</i>	Mengontrol gerakan <i>crane</i> baik gerakan <i>hoist</i> , <i>cross travel</i> , dan <i>long travel</i>	Fungsi <i>hoist</i> , <i>cross travel</i> , dan <i>long travel</i> tidak berjalan
3	<i>Bearing</i>	Menstabilkan putaran dan menahan getaran <i>shaft</i>	Putaran <i>shaft</i> tidak stabil dan terjadi getaran yang berlebihan
4	<i>Wire Rope</i>	Media dalam pengangkatan material yang menghubungkan <i>drum</i> dan <i>hook</i>	Hubungan antara <i>drum</i> dan <i>hook</i> terputus sehingga tidak terjadi aktifitas <i>hoist</i>
5	<i>Wheel Trolley</i>	Bergerak pada <i>runway</i> untuk memindahkan beban pada gerakan <i>cross travel</i>	Aktifitas <i>cross travel</i> terganggu

4.4.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) disusun untuk mengetahui dan menganalisis terjadinya kegagalan tertinggi pada komponen kritis sehingga dapat ditentukan strategi perawatan yang tepat dan dapat menyelesaikan permasalahan. FMEA didasari atas tiga faktor yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Dengan adanya FMEA, permasalahan dapat diselesaikan dengan lebih fokus dan terarah. Pada studi kasus kali ini, FMEA difokuskan pada lima komponen kritis pada *hoist crane C-2*. Tabel FMEA dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Komponen Kritis

No	Komponen	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Effect
1	<i>Brake lining</i>	Menghentikan gerakan rotor dengan menekan <i>brake lining</i> pada <i>base plate</i>	Rotor tidak langsung berhenti	<i>Brake lining</i> menipis	rotor tidak langsung berhenti sehingga memungkinkan terjadinya <i>slip</i>

No	Komponen	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Effect
2	Kabel <i>Push button</i>	Mengontrol gerakan <i>crane</i> baik gerakan <i>hoist</i> , <i>cross travel</i> , dan <i>long travel</i>	Fungsi <i>hoist</i> , <i>cross travel</i> , dan <i>long travel</i> tidak berjalan.	Sambungan kabel terputus karena posisi kabel yang tergantung sehingga ada kemungkinan kabel tertarik	perintah dari operator tidak diteruskan kepada mesin sehingga mesin tidak bergerak
3	<i>Bearing</i>	Menstabilkan putaran dan menahan getaran <i>shaft</i>	Putaran <i>shaft</i> tidak stabil dan terjadi getaran yang berlebih	Pelumasan yang kurang, pembersihan jarang dilakukan, serta pelumas yang tercampur	Gaya gesek terhadap permukaan bearing bertambah sehingga menimbulkan panas dan keausan dini
4	<i>Wire Rope</i>	Media dalam pengangkatan material yang menghubungkan <i>drum</i> dan <i>hook</i>	Hubungan antara <i>drum</i> dan <i>hook</i> terputus sehingga tidak terjadi aktifitas <i>hoist</i>	Berkurangnya diameter <i>wire rope</i> disebabkan <i>overload</i> dan korosi	Aktifitas <i>hoist</i> gagal seperti material yang diangkat jatuh
5	<i>Wheel Trolley</i>	Bergerak pada <i>runway</i> untuk memindahkan beban pada gerakan <i>cross travel</i>	Aktifitas <i>cross travel</i> terganggu	Aus yang disebabkan tingkat pemakaian yang tinggi dan <i>runway</i> jarang dibersihkan	Diameter antar roda tidak sama yang menyebabkan kedudukan <i>trolley</i> tidak seimbang sehingga membahayakan aktifitas <i>cross travel</i>

4.4.2.1 Perhitungan Nilai Severity

Severity merupakan langkah yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar dampak suatu kejadian terhadap sistem maupun *output* proses. Nilai *severity* diperoleh melalui diskusi dengan pihak perusahaan dalam hal ini bagian *maintenance*. Nilai *severity* komponen kritis disajikan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6
Nilai *Severity* Komponen Kritis

No	Komponen	Efek	Penjelasan	Rank
1	<i>Brake Lining</i>	Tinggi	<i>Downtime</i> diatas 2-4 jam	7
2	Kabel <i>Push Button</i>	Tinggi	<i>Downtime</i> diatas 2-4 jam	7
3	<i>Bearing</i>	Tinggi	<i>Downtime</i> diatas 2-4 jam	7
4	<i>Wire Rope</i>	Tinggi	<i>Downtime</i> diatas 2-4 jam	7
5	<i>Wheel Trolley</i>	Tinggi	<i>Downtime</i> diatas 2-4 jam	7

Dari Tabel 4.6 diketahui bahwa kelima komponen memiliki nilai *severity* yang sama yaitu 7. Komponen *brake lining* memiliki nilai *severity* 7 dikarenakan rata-rata waktu perbaikan berdasarkan data TTR *brake lining* adalah sebesar 3,65 jam sehingga masuk kategori *downtime* diatas 2-4 jam. Kabel *push button* memiliki nilai *severity* 7 dikarenakan rata-rata waktu perbaikan berdasarkan data TTR kabel *push button* adalah sebesar 2,8 jam sehingga masuk kategori *downtime* diatas 2-4 jam. *Bearing* memiliki nilai *severity* 7 dikarenakan rata-rata waktu perbaikan berdasarkan data TTR *bearing* adalah sebesar 4,39 jam sehingga masuk kategori *downtime* diatas 2-4 jam. Komponen *wire rope* memiliki nilai *severity* 7 dikarenakan rata-rata waktu perbaikan berdasarkan data TTR *wire rope* adalah sebesar 2,49 jam yang termasuk kategori *downtime* diatas 2-4 jam. Komponen *wheel trolley* memiliki nilai *severity* 7 dikarenakan rata-rata waktu perbaikan berdasarkan data TTR *wheel trolley* adalah sebesar 4,27 jam yang dikategorikan *downtime* diatas 2-4 jam.

4.4.2.2 Perhitungan Nilai Occurrence

Nilai *occurrence* ditentukan berdasarkan berapa banyak frekuensi *failure* terjadi dalam satu tahun. Nilai *occurrence* didapat dari data kegagalan masing-masing komponen kritis. Nilai *occurrence* masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7

Nilai Occurrence Komponen Kritis

No	Komponen	Kemungkinan Tingkat Kegagalan	Rank
1	<i>Brake Lining</i>	Kegagalan terjadi setiap bulan	6
2	Kabel <i>Push Button</i>	Kegagalan terjadi setiap bulan	6
3	<i>Bearing</i>	Kegagalan terjadi setiap 3 bulan	5
4	<i>Wire Rope</i>	Kegagalan terjadi setiap 3 bulan	5
5	<i>Wheel Trolley</i>	Kegagalan terjadi setiap 3 bulan	5

Dari Tabel 4.7 diketahui bahwa nilai *occurrence* tertinggi yaitu 6 dimiliki oleh komponen *brake lining* dan kabel *push button*. Komponen *brake lining* dan kabel *push button* memiliki nilai *occurrence* 6 dikarenakan berdasarkan data historis kedua komponen tersebut mengalami 10 kali kegagalan selama 12 bulan. Itu artinya kegagalan terjadi hampir setiap bulan. Komponen *bearing* memiliki nilai *occurrence* 5 karena kegagalan yang terjadi berdasarkan data historis sebanyak 5 kali yang artinya kegagalan terjadi setiap 3 bulan. Komponen *wire rope* dan *wheel trolley* sama-sama memiliki frekuensi kegagalan sebanyak 4 kali yang artinya kegagalan terjadi setiap 3 bulan sehingga dikategorikan pada *rank* 5

4.4.2.3 Perhitungan Nilai *Detection*

Nilai *detection* ditentukan berdasarkan kemungkinan metode deteksi saat ini dapat mendeteksi potential *failure mode*. Nilai *detection* didapat dari wawancara dengan bagian *maintenance*. Nilai *detection* masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8

Nilai *Detection* Komponen Kritis

No	Komponen	Deteksi	Kemungkinan Pendeteksian	Rank
1	<i>Brake Lining</i>	Sedang	Kontrol permesinan akan menghadirkan indikasi kegagalan yang akan terjadi	5
2	Kabel <i>Push Button</i>	Tinggi	Kontrol permesinan akan mencegah kegagalan yang akan terjadi dan mengisolasi penyebabnya	3
3	<i>Bearing</i>	Tinggi	Kontrol permesinan akan mencegah kegagalan yang akan terjadi dan mengisolasi penyebabnya	3
4	<i>Wire Rope</i>	Tinggi	Kontrol permesinan akan mencegah kegagalan yang akan terjadi dan mengisolasi penyebabnya	3
5	<i>Wheel Trolley</i>	Sedang	Kontrol permesinan akan menghadirkan indikasi kegagalan yang akan terjadi	5

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa komponen *brake lining* dan *wheel trolley* sama-sama memiliki kemungkinan deteksi sedang dan memiliki nilai 5. Nilai 5 berarti komponen-komponen tersebut sedang untuk dideteksi keagalannya. Kontrol permesinan yang dilakukan akan menghasilkan indikasi kegagalan yang akan terjadi, namun tidak cukup untuk dapat mengisolasi penyebabnya. Komponen lainnya yaitu kabel *push button*, *bearing*, dan *wire rope* memiliki kemungkinan yang tinggi untuk dideteksi dan bernilai 3. Nilai 3 yang berarti tingkat untuk mendeteksi kegagalan pada komponen ini tinggi. Kontrol permesinan akan mencegah terjadinya kegagalan sekaligus dapat mengisolasi penyebabnya.

4.4.2.4 Perhitungan Nilai RPN

Pada *subbab* ini dilakukan perhitungan nilai *risk priority number* (RPN). Perhitungan nilai RPN berguna untuk mempertimbangkan tindakan dalam rangka mengurangi kekritisan dan meningkatkan proses. Nilai RPN didapat dengan mengalikan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang telah didapat sebelumnya. Pada Tabel 4.9 disajikan tabel *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II *Information Worksheet* yang memuat FMEA dan nilai RPN dari masing-masing komponen kritis.

Tabel 4.9
RCM II Information Worksheet

RCM II INFORMATION WORKSHEET			System:		Facilitator:							
			Subsystem:		Auditor:							
EQUIPMENT	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		S	O	D	RPN
Brake lining	1	Menghentikan gerakan rotor dengan menekan <i>brake lining</i> pada base plate	A	Rotor tidak langsung berhenti	1	Brake lining menipis	rotor tidak langsung berhenti sehingga memungkinkan terjadinya <i>slip</i>		7	6	5	210
Kabel Push Button	1	Mengontrol gerakan crane baik gerakan <i>hoist</i> , <i>cross travel</i> , dan <i>long travel</i>	A	Fungsi <i>hoist</i> , <i>cross travel</i> , dan <i>long travel</i> tidak berjalan	1	Sambungan kabel terputus karena posisi kabel yang tergantung sehingga ada kemungkinan kabel tertarik	perintah dari operator tidak diteruskan kepada mesin sehingga mesin tidak bergerak		7	6	3	126
Bearing	1	Menstabilkan putaran dan menahan getaran <i>shaft</i>	A	Putaran <i>shaft</i> tidak stabil dan terjadi getaran yang berlebih	1	Pelumasan yang kurang, pembersihan jarang dilakukan, serta pelumas yang tercampur	Gaya gesek terhadap permukaan bearing bertambah sehingga menimbulkan panas dan keausan dini		7	5	3	105
Wire rope	1	Media dalam pengangkatan material yang menghubungkan <i>drum</i> dan <i>hook</i>	A	Hubungan antara <i>drum</i> dan <i>hook</i> terputus sehingga tidak terjadi aktifitas hoist	1	Berkurangnya diameter <i>wire rope</i> disebabkan <i>overload</i> dan korosi	Aktifitas hoist gagal seperti material yang diangkat jatuh		7	5	3	105
Wheel Trolley	1	Bergerak pada <i>runway</i> untuk memindahkan beban pada gerakan <i>cross travel</i>	A	Aktifitas <i>cross travel</i> terganggu	1	Aus yang disebabkan tingkat pemakaian yang tinggi dan <i>runway</i> jarang dibersihkan	Diameter antar roda tidak sama yang menyebabkan kedudukan <i>trolley</i> tidak seimbang sehingga membahayakan aktifitas <i>cross travel</i>		7	5	5	175

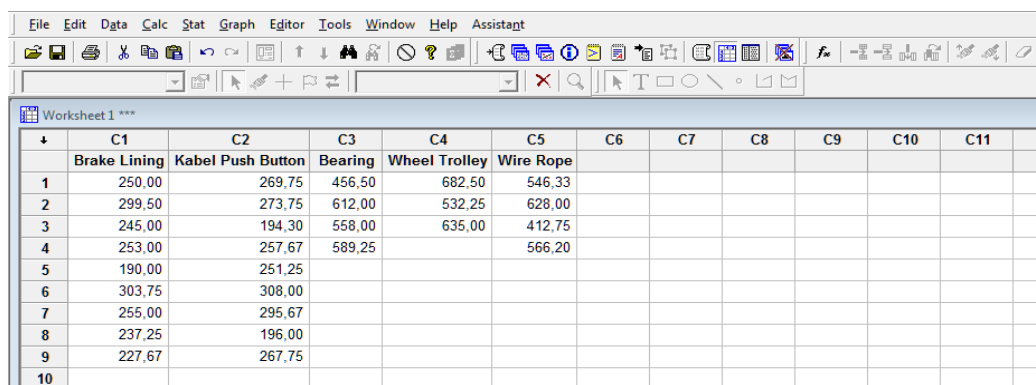
4.4.3 Penentuan Distribusi, MTTF, dan MTTR

Pengolahan data selanjutnya adalah menentukan pola distribusi data dari data *time to failure* dan *time to repair* masing-masing komponen kritis. Pola data kerusakan komponen biasanya mengikuti beberapa jenis distribusi, yaitu distribusi weibull, normal, dan distribusi lognormal. Distribusi tersebut dipilih karena paling sering menggambarkan model kerusakan atau fase keausan dari mesin atau komponen. Setelah menentukan distribusi, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *mean time to failure* dan *mean time to repair*.

4.4.3.1 Penentuan Distribusi *Time to Failure* (TTF)

Penentuan distribusi *Time to Failure* (TTF) dari komponen kritis mesin *hoist crane C-2* menggunakan *software* Minitab 16. Langkah-langkah penentuan distribusi TTF adalah sebagai berikut.

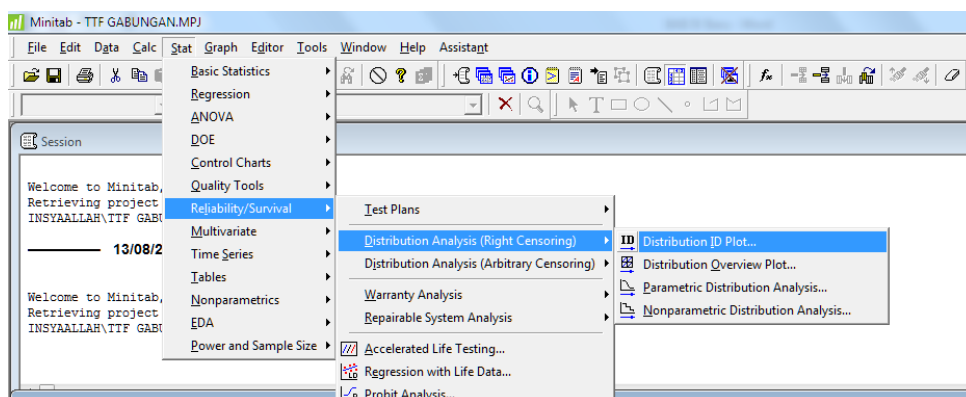
1. Memasukkan data *time to failure* dari komponen kritis pada *worksheet software* Minitab 16



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Brake Lining	Kabel Push Button	Bearing	Wheel Trolley	Wire Rope							
1	250,00	269,75	456,50	682,50	546,33							
2	299,50	273,75	612,00	532,25	628,00							
3	245,00	194,30	558,00	635,00	412,75							
4	253,00	257,67	589,25		566,20							
5	190,00	251,25										
6	303,75	308,00										
7	255,00	295,67										
8	237,25	196,00										
9	227,67	267,75										
10												

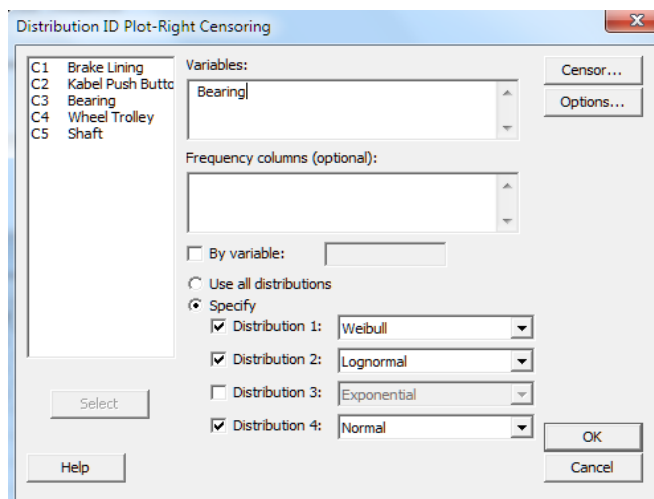
Gambar 4.9 Input data pada worksheet Minitab 16

2. Setelah data dimasukkan, kemudian melakukan perintah *Stat – Reliability/Survival – Distribution Analysis (Right Censoring) – Distribution ID Plot*



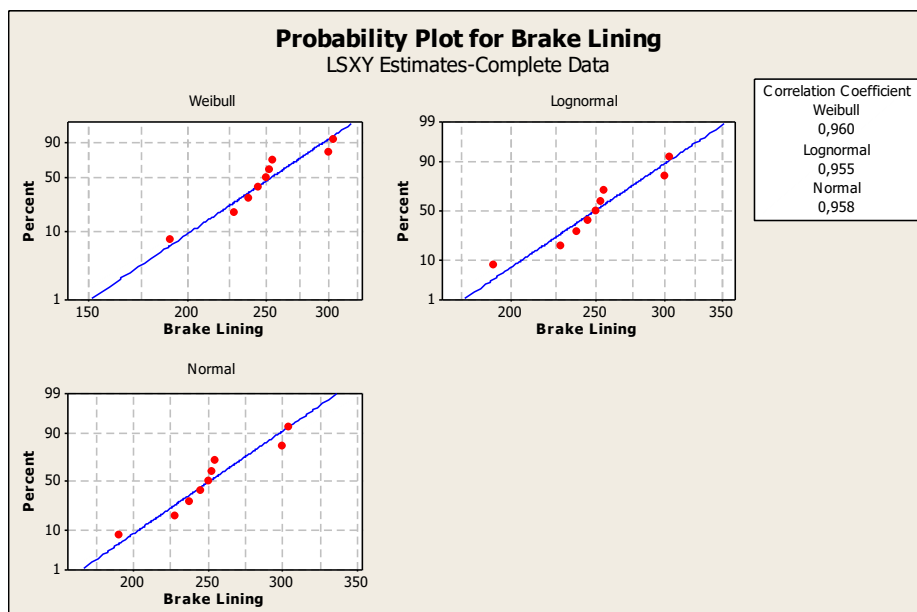
Gambar 4.10 Langkah pengujian distribusi pada Minitab 16

3. Selanjutnya memilih data yang akan di analisa dengan cara melakukan *double click* nama variabel pada kotak dialog yang muncul. Kemudian memilih distribusi pada kolom *specify distribusi* yaitu Weibull, Lognormal, dan Normal lalu klik OK



Gambar 4.11 Kotak dialog distribution ID Plot

Dari langkah-langkah tersebut dihasilkan *output* berupa hasil pengujian distribusi pada data komponen tersebut. Contoh *output* pengujian distribusi pada komponen *brake lining* dapat dilihat pada Gambar 4.12

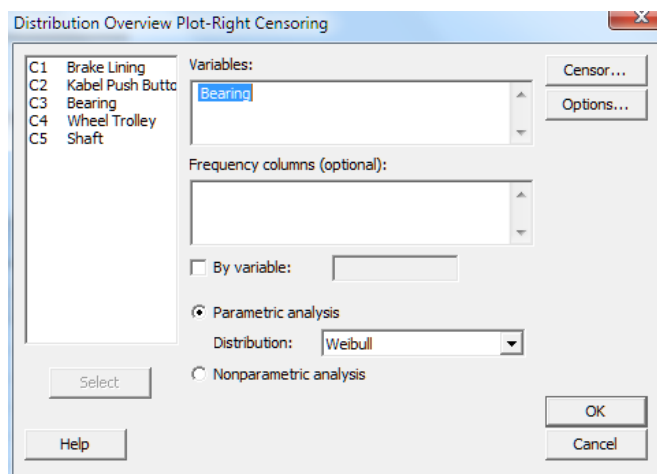


Gambar 4.12 Output pengujian distribusi data TTF komponen *brake lining*

Berdasarkan pengujian distribusi data komponen *brake lining* pada Gambar 4.12, nilai *correlation coeffecient* distribusi weibull, lognormal, dan normal masing-masing adalah 0.960, 0.955, dan 0.958. Dari nilai tersebut dipilih distribusi yang menghasilkan nilai *correlation coeffecient* terbesar yaitu weibull dengan nilai 0,960. Dapat disimpulkan bahwa distribusi kerusakan komponen *brake lining* adalah weibull.

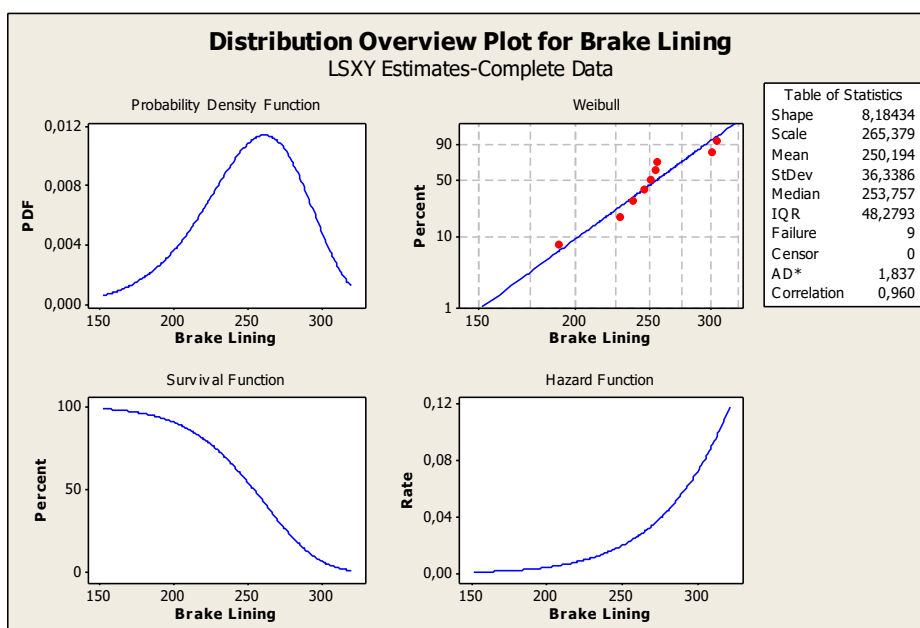
Setelah mengetahui distribusi yang akan digunakan, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter distribusi weibull pada komponen. Langkah-langkah penentuan parameter distribusi adalah sebagai berikut.

1. Memilih menu *stat – reliability/survival – distribution analysis (right censoring) – distribution overview plot*
2. Selanjutnya akan muncul kotak dialog, lalu memilih variabel atau komponen yang akan diuji pada kolom variabel. Pada kolom *parametric analysis*, distribusi yang dipilih adalah distribusi weibull. Setelah itu pilih OK.



Gambar 4.13 Tampilan kotak dialog *Distribution Overview Plot*

Dari langkah-langkah tersebut akan dihasilkan *output* berupa parameter distribusi pada data komponen tersebut. Contoh *output* parameter distribusi pada komponen *brake lining* dapat dilihat pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Output parameter TTF komponen *brake lining*

Berdasarkan uji parameter distribusi pada Gambar 4.14, didapatkan nilai *shape* dan *scale* sebesar 8,18434 dan 265,379. Nilai ini nantinya digunakan sebagai dasar perhitungan MTTF masing-masing komponen. Pengujian distribusi dan penentuan parameter data TTF selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Pada Tabel 4.10, disajikan hasil uji parameter pada tiap-tiap komponen kritis

Tabel 4.10

Uji Distribusi Data TTF dan Parameter Distribusi Komponen Kritis

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		β (Shape)	θ (Scale)
<i>Brake Lining</i>	Weibull	8,18434	265,379
<i>Kabel Push Button</i>	Weibull	7,13402	273,432
<i>Bearing</i>	Weibull	8,02395	584,306
<i>Wheel Trolley</i>	Weibull	7,62383	652,687
<i>Wire Rope</i>	Weibull	5,81198	577,721

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa data TTF kelima komponen kritis memiliki distribusi weibull. Parameter yang digunakan untuk perhitungan MTTF adalah parameter β (Shape) dan θ (Scale).

4.4.3.2 Perhitungan MTTF untuk Data TTF

Setelah penentuan distribusi data dan parameter dengan Minitab 16, selanjutnya dilakukan perhitungan *mean time to failure* (MTTF). Rumus perhitungan MTTF dipilih berdasarkan distribusi data masing-masing komponen kritis. Data *time to failure* (TTF) komponen kritis pada *subbab* sebelumnya menunjukkan distribusi data *weibull* sehingga akan digunakan Persamaan (2-11). Berikut ini perhitungan MTTF pada komponen kritis mesin *hoist crane C-2*

1. *Brake Lining*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 265,379 \Gamma \left(1 + \frac{1}{8,18434} \right) \\ &= 265,379 \times 1,122185 = 250,1936 \end{aligned}$$

2. *Kabel Push Button*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 273,432 \Gamma \left(1 + \frac{1}{7,13402} \right) \\ &= 273,432 \times 1,140173 = 256,0298 \end{aligned}$$

3. *Bearing*

$$\text{MTTF} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 584,306 \Gamma \left(1 + \frac{1}{8,02395} \right)$$

$$MTTF = 584,306 \times 1,124627 = 550,3457$$

4. *Wheel Trolley*

$$\begin{aligned} MTTF &= \theta_r \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 652,687r \left(1 + \frac{1}{7,62383} \right) \\ &= 652,687 \times 1,131168 = 613,2083 \end{aligned}$$

5. *Wire Rope*

$$\begin{aligned} MTTF &= \theta_r \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 577,721r \left(1 + \frac{1}{5,81198} \right) \\ &= 577,721 \times 1,172058 = 535,0143 \end{aligned}$$

Perhitungan MTTF pada setiap komponen kritis memiliki cara dan rumus yang sama. Hal itu dikarenakan komponen-komponen kritis sebelumnya diketahui berdistribusi weibull. Pada Tabel 4.11 dirangkum hasil perhitungan MTTF komponen kritis selengkapnya.

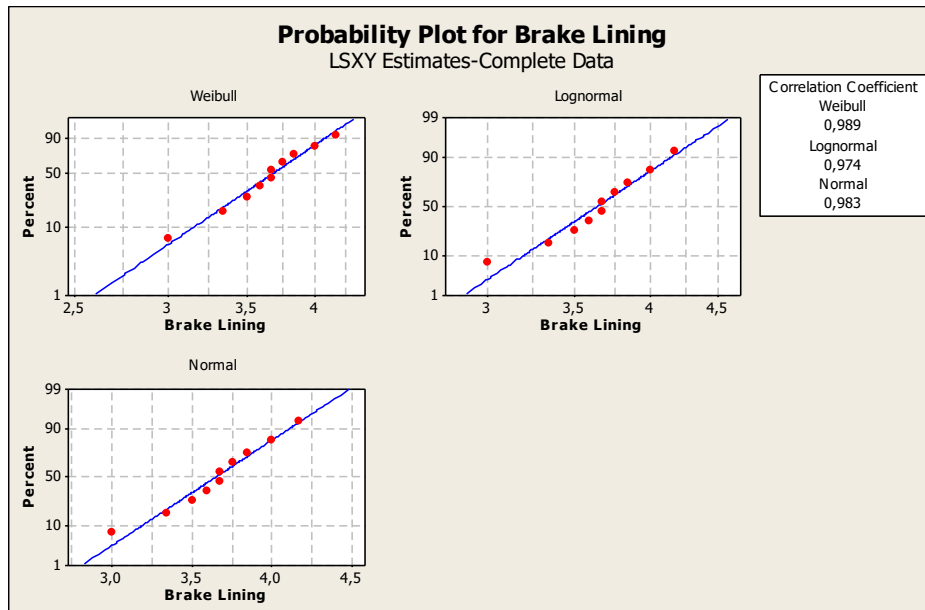
Tabel 4.11
Nilai MTTF Komponen Kritis

Komponen	MTTF (Jam)
<i>Brake Lining</i>	250,1936
Kabel <i>Push Button</i>	256,0298
<i>Bearing</i>	550,3457
<i>Wheel Trolley</i>	613,2083
<i>Wire Rope</i>	535,0143

Berdasarkan Tabel 4.11, dapat diketahui bahwa komponen *wheel trolley* merupakan komponen dengan MTTF terbesar yaitu 613,2083 jam. Sedangkan komponen *brake lining* merupakan komponen dengan MTTF terkecil yaitu 250,1936 jam. Interval MTTF ini mempengaruhi frekuensi dilakukannya kegiatan perawatan.

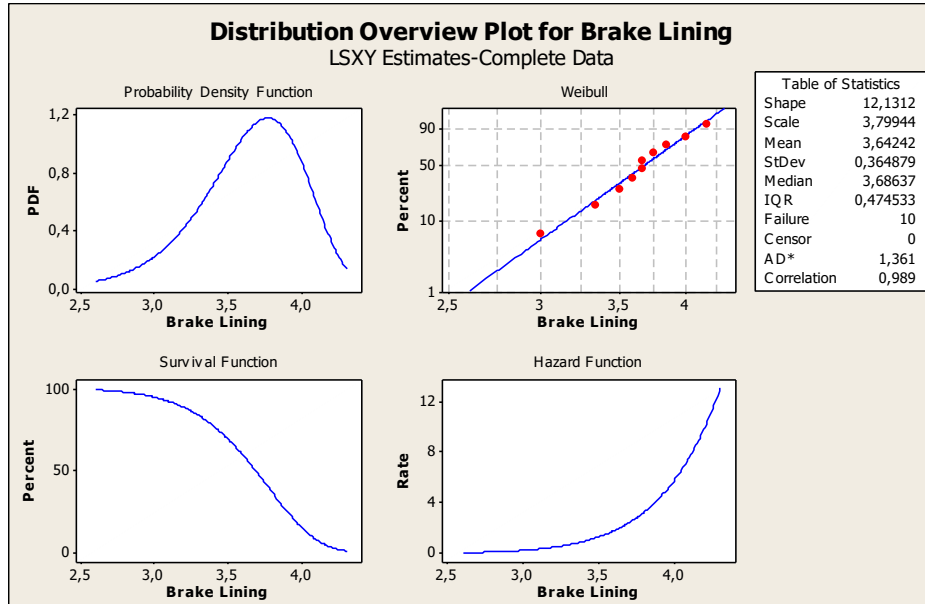
4.4.3.3 Penentuan Distribusi *Time to Repair* (TTR)

Penentuan distribusi *Time to Repair* (TTR) dari komponen kritis mesin *hoist crane* C-2 menggunakan *software* Minitab 16. Langkah-langkah penentuan distribusi TTR hampir sama dengan penentuan distribusi TTF. Contoh hasil pengujian distribusi dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Output pengujian distribusi data TTR komponen *brake lining*

Berdasarkan pengujian distribusi data komponen *brake lining* pada Gambar 4.15, nilai *correlation coefficient* distribusi weibull, lognormal, dan normal masing-masing adalah 0.989, 0.974, dan 0.983. Dari nilai tersebut dipilih distribusi yang menghasilkan nilai *correlation coefficient* terbesar yaitu weibull dengan nilai 0,989. Dapat disimpulkan bahwa distribusi kerusakan komponen *brake lining* adalah weibull.



Gambar 4.16 Output parameter TTR komponen *brake lining*

Berdasarkan uji parameter distribusi pada Gambar 4.16, didapatkan nilai *shape* dan *scale* sebesar 12,1312 dan 3,79944. Nilai ini nantinya digunakan sebagai dasar perhitungan MTTR masing-masing komponen. Pengujian distribusi dan penentuan parameter data TTR selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 3**. Pada Tabel 4.12, disajikan hasil uji parameter pada tiap-tiap komponen kritis

Tabel 4.12

Uji Distribusi Data TTR dan Parameter Distribusi Komponen Kritis

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		β (Shape)	θ (Scale)
<i>Brake Lining</i>	Weibull	12,1312	3,79944
<i>Kabel Push Button</i>	Weibull	6,97169	2,98665
<i>Bearing</i>	Weibull	13,8874	4,53507
<i>Wheel Trolley</i>	Weibull	18,9553	4,37677
<i>Wire Rope</i>	Weibull	11,2225	2,59011

Berdasarkan Tabel 4.12, dapat diketahui bahwa data TTR dari kelima komponen kritis memiliki distribusi weibull. Parameter yang digunakan untuk perhitungan MTTF adalah parameter β (Shape) dan θ (Scale).

4.4.3.4 Perhitungan MTTR untuk Data TTR

Pada *subbab* ini akan dilakukan perhitungan *mean time to repair* (MTTR). Perhitungan MTTR hampir sama dengan perhitungan MTTF pada *subbab* sebelumnya. Perbedaannya terletak pada parameter dan data yang dipakai. Pada perhitungan MTTR data yang digunakan adalah data *Time to Repair* (TTR) masing-masing komponen kritis. Berikut ini merupakan perhitungan MTTR pada masing-masing komponen mesin *hoist crane C-2*

1. *Brake Lining*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 3,79944 \Gamma \left(1 + \frac{1}{12,1312} \right) \\ &= 3,79944 \times 1,082432 = 3,642421 \end{aligned}$$

2. *Kabel Push Button*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 2,98665 \Gamma \left(1 + \frac{1}{6,97169} \right) \\ &= 2,98665 \times 1,143437 = 2,793235 \end{aligned}$$

3. *Bearing*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 4,53507 \Gamma \left(1 + \frac{1}{13,8874} \right) \\ &= 4,53507 \times 1,072008 = 4,368407 \end{aligned}$$

4. *Wheel Trolley*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 4,37677 \Gamma \left(1 + \frac{1}{18,9553} \right) \\ &= 4,37677 \times 1,052756 = 4,254988 \end{aligned}$$

5. Wire Rope

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 2,59011 \Gamma \left(1 + \frac{1}{11,2225} \right) \\ &= 2,59011 \times 1,089107 = 2,475715 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas menggunakan Persamaan (2-11). Perhitungan MTTR Komponen kritis lainnya menggunakan cara yang sama karena memiliki distribusi yang sama yaitu weibull. Pada Tabel 4.13 dirangkum hasil perhitungan MTTR komponen kritis selengkapnya.

Tabel 4.13
Nilai MTTR Komponen Kritis

Komponen	MTTR (Jam)
<i>Brake Lining</i>	3,6424
<i>Kabel Push Button</i>	2,7932
<i>Bearing</i>	4,3684
<i>Wheel Trolley</i>	4,2550
<i>Wire Rope</i>	2,4757

Berdasarkan Tabel 4.13, dapat diketahui bahwa komponen *bearing* merupakan komponen dengan MTTR terbesar yaitu 4,3684 jam. Sedangkan komponen *wire rope* merupakan komponen dengan MTTR terkecil yaitu 2,4757 jam.

4.4.4 Perhitungan Interval Perawatan (TM) dan Total Biaya Perawatan

Setelah mengetahui nilai MTTF dan MTTR, maka tahap selanjutnya adalah menghitung total biaya perawatan yang optimum. Untuk menghitung biaya optimum, variabel yang diperlukan adalah biaya tenaga kerja, kerugian produksi, dan biaya perbaikan komponen. Berikut ini dijelaskan mengenai ketiga variabel yang disebutkan sebelumnya.

1. Biaya Tenaga Kerja

Dalam konteks perawatan, maka biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk membayar pekerjanya dalam melakukan *maintenance* disebut biaya tenaga kerja. Untuk menangani mesin *hoist crane* C-2 pada studi kasus ini, dibutuhkan tenaga kerja sebanyak 4 orang. Jumlah jam kerja perhari adalah 8 jam. Pada Tabel 4.14 ditampilkan biaya tenaga kerja dan total biaya tenaga kerja per jam

Tabel 4.14

Biaya Tenaga Kerja Periode Juni 2015 – Juni 2016

Tenaga Kerja	Biaya Perhari	Biaya dengan Lembur	Jumlah gaji/jam	Jumlah Tenaga Kerja
<i>Maintenance</i>	100000	105000	13125	4
Jumlah	400000	420000	52500	4

Tenaga kerja perawatan pada TMS merupakan tenaga kerja tetap. Tenaga kerja tersebut akan mendapatkan bonus per perawatan dan lembur yang dilakukan. Biaya tenaga kerja memerlukan Rp 100.000 per orang sehingga untuk empat orang tenaga kerja diperlukan dana Rp 400.000 perhari. Dengan jumlah jam kerja 8 jam perhari, maka perusahaan membayar Rp 50.000 perjam untuk 4 tenaga kerja di bidang *maintenance* khususnya mesin *hoist*. Selama periode Juni 2015 sampai dengan Juli 2016 terdapat 5 kali lembur dengan durasi lebih dari 30 menit. Aturan mengenai upah lembur adalah 1 jam pertama menerima upah sebesar Rp 25.000 per jam, 1 jam kedua dan selanjutnya menerima upah sebesar Rp 50.000 per jam. Maksimal waktu lembur yang ditetapkan adalah 4 jam per hari. Selama periode tersebut upah lembur yang dikeluarkan perusahaan adalah sebesar Rp 150.000 sehingga rata-rata upah tenaga kerja berubah menjadi Rp 52.500 per jam.

2. Biaya Kerugian Produksi

Biaya kerugian produksi yang dimaksud disini adalah biaya yang hilang akibat tidak dilakukannya produksi (*opportunity cost*). Kerusakan atau *downtime* menyebabkan terhambat atau terhentinya produksi untuk sementara sehingga perusahaan mengalami *loss production* dan keuntungan yang seharusnya didapatkan dari produksi selama masa *downtime* tersebut tidak didapatkan.

Rata-rata produksi mur dan baut 5cm x 10 mm (10 gram) dari stasiun kerja *hot dip* selama 1 bulan yaitu sebesar 30 Ton. Selama 1 bulan terdapat 24 hari kerja dengan total jam kerja 184 jam. Dengan demikian selama 1 jam stasiun kerja *hot dip* dapat memproduksi 163,04 kg mur dan baut jenis tersebut. Keuntungan per unit baut adalah sebesar Rp 44, sehingga keuntungan per kg adalah Rp 4400. Kerugian produksi per jam dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Opportunity Cost} &= \text{Kapasitas Produksi} \times \text{Keuntungan Produksi} \\ &= 163,04 \text{ kg} \times \text{Rp } 4400 = \text{Rp } 717.391 \end{aligned}$$

3. Biaya Pergantian Komponen dan Waktu Perbaikan

Biaya pergantian komponen tidak selalu dipakai dalam perhitungan biaya *perawatan*. Hal itu dikarenakan tidak semua komponen yang rusak harus dilakukan penggantian. Komponen yang rusak akan terlebih dahulu dilihat apakah masih bisa diperbaiki atau

tidak. Jika komponen sudah tidak bisa diperbaiki, maka penggantian komponen masuk kedalam biaya penggantian komponen. Pada Tabel 4.15 ditampilkan biaya komponen mesin kritis dan waktu perbaikan *corrective* dan *preventive* mesin *hoist*

Tabel 4.15

Biaya Komponen Kritis

Komponen	Harga	Jumlah	Total
<i>Brake Lining</i>	Rp280.000	1 unit	Rp280.000
<i>Wire Rope</i>	Rp68.000	30 meter	Rp2.040.000
<i>Bearing</i>	Rp60.000	2 unit	Rp120.000
Kabel <i>Push button</i>	Rp17.000	50 meter	Rp850.000
<i>Wheel Trolley</i>	Rp420.000	2 unit	Rp840.000

4. Biaya perbaikan *corrective* (Cf) dan perbaikan *preventive* (Cp)

Biaya perbaikan *corrective* (Cf) maupun perbaikan *preventive* (Cp) sama-sama memiliki variabel berupa waktu perbaikan. Waktu perbaikan *corrective* (Tf) diambil dari nilai MTTR komponen kritis. Sedangkan waktu perbaikan *preventive* (Tp) diambil dari waktu standar yang diperlukan oleh operator untuk melakukan perbaikan maupun pengecekan sebelum pengoperasian mesin. Waktu perbaikan *corrective* (Tf) dan waktu perbaikan *preventive* (Tp) masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16

Waktu Perbaikan *Corrective* dan *Preventive*

Komponen	Waktu Perbaikan <i>Corrective</i> (Tf) (Jam)	Waktu Perbaikan <i>Preventive</i> (Tp) (Jam)
<i>Brake Lining</i>	3,6424	2,5591
<i>Wire Rope</i>	2,4757	1,6424
<i>Bearing</i>	4,3684	1,8684
Kabel <i>Push button</i>	2,7932	2,0432
<i>Wheel Trolley</i>	4,2550	2,0050

Berikut ini merupakan perhitungan nilai Cf dan Cp pada masing-masing komponen kritis.

a. *Brake Lining*

$$\begin{aligned}
 C_f &= ((\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya kerugian produksi}) \times \text{MTTR}) \\
 &\quad + \text{Biaya komponen} \\
 &= ((\text{Rp } 52.500 + \text{Rp } 717.391) \times 3,6424) + \text{Rp } 280.000 \\
 &= \text{Rp } 3.084.268
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_p &= ((\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya kerugian produksi}) \times T_p) \\
 &\quad + \text{Biaya komponen}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p &= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 2,5591) + Rp280.000 \\&= Rp\ 2.250.219\end{aligned}$$

b. *Wire Rope*

$$\begin{aligned}C_f &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times MTTR) \\&\quad + Biaya\ komponen \\&= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 2,7932) + Rp2.040.000 \\&= Rp\ 3.946.032\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times T_p) \\&\quad + Biaya\ komponen \\&= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 1,6424) + Rp2.040.000 \\&= Rp\ 3.304.456\end{aligned}$$

c. *Bearing*

$$\begin{aligned}C_f &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times MTTR) \\&\quad + Biaya\ komponen \\&= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 4,3684) + Rp120.000 \\&= Rp\ 3.483.199\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times T_p) \\&\quad + Biaya\ komponen \\&= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 1,8684) + Rp120.000 \\&= Rp\ 1.558.470\end{aligned}$$

d. *Kabel Push Button*

$$\begin{aligned}C_f &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times MTTR) \\&\quad + Biaya\ komponen \\&= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 2,7932) + Rp850.000 \\&= Rp\ 3.000.488\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times T_p) \\&\quad + Biaya\ komponen \\&= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 2,0432) + Rp850.000 \\&= Rp\ 2.423.069\end{aligned}$$

e. *Wheel Trolley*

$$\begin{aligned}C_f &= ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times MTTR) \\&\quad + Biaya\ komponen\end{aligned}$$

$$C_f = ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 4,2550) + Rp840.000$$

$$= Rp\ 4.115.878$$

$$C_p = ((biaya\ tenaga\ kerja + biaya\ kerugian\ produksi) \times T_p)$$

$$+ \text{Biaya komponen}$$

$$= ((Rp\ 52.500 + Rp\ 717.391) \times 2,0050) + Rp840.000$$

$$= Rp\ 2.383.622$$

Nilai C_f dan C_p selanjutnya menjadi *input* untuk menghitung interval perawatan yang optimal. Perhitungan interval perawatan optimal (TM) menggunakan rumus pada persamaan (2-29). Berikut ini merupakan perhitungan nilai TM pada masing-masing komponen kritis.

a. *Brake Lining*

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 265,379 \left[\frac{Rp\ 2.250.219}{Rp\ 3.084.268(8,18434 - 1)} \right]^{\frac{1}{8,18434}}$$

$$= 200,678 \text{ Jam}$$

b. *Kabel Push Button*

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 273,432 \left[\frac{Rp\ 2.423.069}{Rp\ 3.000.488(7,13402 - 1)} \right]^{\frac{1}{7,13402}}$$

$$= 205,786 \text{ Jam}$$

c. *Bearing*

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 584,306 \left[\frac{Rp\ 1.558.470}{Rp\ 3.483.199(8,02395 - 1)} \right]^{\frac{1}{8,02395}}$$

$$= 414,576 \text{ Jam}$$

d. *Wheel Trolley*

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 652,687 \left[\frac{Rp\ 2.383.622}{Rp\ 4.115.878(7,62383 - 1)} \right]^{\frac{1}{7,62383}}$$

$$= 474,117 \text{ Jam}$$

e. *Wire Rope*

$$\begin{aligned}
 TM &= \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \\
 &= 577,721 \left[\frac{Rp\ 3.304.456}{Rp\ 3.946.032(5,81198 - 1)} \right]^{\frac{1}{5,81198}} \\
 &= 427,622 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai interval perawatan optimal (TM) masing-masing komponen kritis dapat dirangkum dan ditampilkan pada Tabel 4.17

Tabel 4.17

Interval Perawatan Optimal (TM) Komponen Kritis

Komponen	C _f	C _p	β	θ	TM
<i>Brake Lining</i>	Rp3.084.268	Rp2.250.219	8,18434	265,379	200,678
<i>Kabel Push Button</i>	Rp3.000.488	Rp2.423.069	7,13402	273,432	205,786
<i>Bearing</i>	Rp3.483.199	Rp1.558.470	8,02395	584,306	414,576
<i>Wheel Trolley</i>	Rp4.115.878	Rp2.383.622	7,62383	652,687	474,117
<i>Wire Rope</i>	Rp3.946.032	Rp3.304.456	5,81198	577,721	427,622

Dari Tabel 4.17 dapat diketahui komponen *brake lining* memiliki interval perawatan paling rendah yaitu 200,678 jam. Hal itu berarti komponen *brake lining* memiliki frekuensi perawatan komponen yang lebih sering daripada komponen lainnya. Sedangkan komponen *wheel trolley* memiliki interval perawatan terbesar yaitu 474,117 jam. Hal itu berarti bahwa komponen *wheel trolley* memiliki frekuensi perawatan komponen yang lebih jarang daripada komponen lainnya. Nilai interval perawatan komponen-komponen kritis ini selanjutnya digunakan sebagai jadwal perawatan mesin dan untuk mengetahui total biaya perawatan perjam masing-masing komponen kritis.

5. Total Biaya Perawatan

Langkah selanjutnya adalah menghitung total biaya perawatan sebelum dan sesudah menggunakan interval perawatan optimal (TM). Hal ini berguna dalam pertimbangan pemilihan interval perawatan. Perhitungan total biaya perawatan menggunakan persamaan (2-25)

$$TC = (P(TTF \leq TM) C_F) + (P(TTF > TM) C_M)$$

Berikut ini adalah langkah perhitungan TC komponen *brake lining* apabila menggunakan interval TM

a. Perhitungan Probabilitas Rusak

Berikut ini merupakan perhitungan probabilitas komponen *brake lining* sudah rusak sebelum mencapai waktu TM

$$\begin{aligned}
P(TTF \leq TM) &= \int_0^{TM} f(t)dt \\
&= \int_0^{TM} \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] dt \\
&= \int_0^{200,68} \frac{8,18434}{265,379} \left(\frac{t}{265,379}\right)^{8,18434-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{265,379}\right)^{8,18434}\right] dt \\
&= 0,0966
\end{aligned}$$

b. Perhitungan Probabilitas Masih Baik

Berikut ini merupakan perhitungan probabilitas komponen *brake lining* masih baik sampai waktu TM yang ditentukan

$$\begin{aligned}
P(TTF > TM) &= 1 - P(TTF \leq TM) \\
&= 1 - 0,0966 \\
&= 0,9034
\end{aligned}$$

c. Perhitungan TC

$$\begin{aligned}
TC &= ((P(TTF \leq TM) C_F) + (P(TTF > TM) C_M)) \times \frac{\text{durasi 1 tahun (jam)}}{TM} \\
&= ((0,0966 \times \text{Rp } 3.084.268) + (0,9034 \times \text{Rp } 2.250.219)) \times \frac{2460}{200,68} \\
&= (\text{Rp } 297.834 + \text{Rp } 2.032.926) \times 12 \\
&= \text{Rp } 27.969.126
\end{aligned}$$

Perhitungan total biaya perawatan komponen lain menggunakan cara yang sama. Sedangkan perhitungan total biaya perawatan apabila menggunakan interval MTTF juga menggunakan cara yang sama, hanya saja nilai TM pada rumus diganti dengan nilai MTTF. Perhitungan total biaya perawatan secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Pada Tabel 4.18 disajikan rekapitulasi perhitungan total biaya perawatan baik menggunakan interval TM maupun interval MTTF.

Tabel 4.18

Rekapitulasi Total Biaya Perawatan Komponen Kritis

Komponen	TC (TM)	TC (MTTF)
<i>Brake Lining</i>	Rp27.969.126	Rp23.709.825
<i>Kabel Push Button</i>	Rp27.437.268	Rp24.224.292
<i>Bearing</i>	Rp8.386.263	Rp9.784.992
<i>Wheel Trolley</i>	Rp12.643.217	Rp12.741.552
<i>Wire Rope</i>	Rp17.034.661	Rp14.430.888

4.4.5 Perhitungan Keandalan Komponen Kritis

Langkah selanjutnya setelah menghitung interval perawatan (TM) adalah menghitung keandalan masing-masing komponen kritis. Distribusi antar kerusakan komponen kritis

(MTTF) sudah diketahui sebelumnya berdistribusi weibull. Oleh karena itu digunakan rumus fungsi keandalan weibull sesuai persamaan (2-16) ($e = 2,178$)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

Berikut ini merupakan perhitungan keandalan pada masing-masing komponen kritis sebelum dan sesudah menggunakan interval perawatan.

1. *Brake Lining*

Sebelum menggunakan interval perawatan (TM)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$\begin{aligned} R(\text{MTTF}) &= e^{-\left(\frac{\text{MTTF}}{\theta}\right)^\beta} \\ &= 2,178^{-\left(\frac{250,194}{265,379}\right)^{8,18434}} \\ &= 0,6184 \end{aligned}$$

Setelah menggunakan interval perawatan (TM)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$\begin{aligned} R(\text{TM}) &= e^{-\left(\frac{\text{TM}}{\theta}\right)^\beta} \\ &= 2,178^{-\left(\frac{200,680}{265,379}\right)^{8,18434}} \\ &= 0,9240 \end{aligned}$$

2. *Kabel Push Button*

Sebelum menggunakan interval perawatan (TM)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$\begin{aligned} R(\text{MTTF}) &= e^{-\left(\frac{\text{MTTF}}{\theta}\right)^\beta} \\ &= 2,178^{-\left(\frac{256,030}{273,432}\right)^{7,13402}} \\ &= 0,6145 \end{aligned}$$

Setelah menggunakan interval perawatan (TM)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$\begin{aligned} R(\text{TM}) &= e^{-\left(\frac{\text{TM}}{\theta}\right)^\beta} \\ &= 2,178^{-\left(\frac{205,793}{273,432}\right)^{7,13402}} \\ &= 0,9026 \end{aligned}$$

3. *Bearing*

Sebelum menggunakan interval perawatan (TM)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$\begin{aligned}
 R(MTTF) &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 &= 2,178^{-\left(\frac{550,346}{584,306}\right)^{8,02395}} \\
 &= 0,6179
 \end{aligned}$$

Setelah menggunakan interval perawatan (TM)

$$\begin{aligned}
 R(TM) &= e^{-\left(\frac{TM}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 &= 2,178^{-\left(\frac{414,583}{584,306}\right)^{8,02395}} \\
 &= 0,9516
 \end{aligned}$$

4. *Wheel Trolley*

Sebelum menggunakan interval perawatan (TM)

$$\begin{aligned}
 R(t) &= e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 R(MTTF) &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 &= 2,178^{-\left(\frac{613,208}{652,687}\right)^{7,62383}} \\
 &= 0,6165
 \end{aligned}$$

Setelah menggunakan interval perawatan (TM)

$$\begin{aligned}
 R(TM) &= e^{-\left(\frac{TM}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 &= 2,178^{-\left(\frac{474,147}{652,687}\right)^{7,62383}} \\
 &= 0,9342
 \end{aligned}$$

5. *Wire Rope*

Sebelum menggunakan interval perawatan (TM)

$$\begin{aligned}
 R(t) &= e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 R(MTTF) &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 &= 2,178^{-\left(\frac{535,014}{577,721}\right)^{5,81198}} \\
 &= 0,6077
 \end{aligned}$$

Setelah menggunakan interval perawatan (TM)

$$\begin{aligned}
 R(TM) &= e^{-\left(\frac{TM}{\theta}\right)^{\beta}} \\
 &= 2,178^{-\left(\frac{427,646}{577,721}\right)^{5,81198}} \\
 &= 0,8733
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan keandalan masing-masing komponen kritis serta perbandingan antara keandalan sebelum dan sesudah menggunakan interval perawatan TM dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.19
Rekapitulasi Perhitungan Keandalan Komponen Kritis

Komponen	R (MTTF)	R (MTTF) %	R (TM)	R (TM) %
Brake Lining	0,6184	61,84%	0,9240	92,40%
Kabel Push Button	0,6145	61,45%	0,9026	90,26%
Bearing	0,6179	61,79%	0,9516	95,16%
Wheel Trolley	0,6165	61,65%	0,9342	93,42%
Wire Rope	0,6077	60,77%	0,8733	87,33%

4.4.6 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet

Setelah mengetahui fungsi komponen dan interval waktu perawatan komponen kritis, langkah selanjutnya adalah menyusun *Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet*. RCM II Decision Worksheet berguna untuk mencari jenis perawatan yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk mengatasi setiap kegagalan maupun *failure mode*. Worksheet ini terdiri dari beberapa kolom utama yaitu kolom *information reference*, *consequence evaluation*, *default action*, *proposed task*, *initial interval*, dan kolom *can be done*. Pada Tabel 4.20 ditampilkan RCM II Decision Worksheet yang telah disusun.

Tabel 4.20
RCM II Decision Worksheet

RCM II DECISION WORKSHEET				SYSTEM: Hoist Crane						SYSTEM N			Facilitator			Date		Sheet N		
				SUB-SYSTEM						SUB SYSTEM N			Auditor			Date		of		
				Consequence Evaluation				H 1 H 2 H 3			Default Action			Proposed Task			Initial Interval (Jam)		Can be done by	
								S 1 S 2 S 3												
Information Reference				O 1 O 2 O 3																
Komponen	F	F F	F M	H	S	E	O	N 1	N 2	N 3	H 4	H 5	S 4							
Brake Lining	1	A	1	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition Task	200,68		Teknisi		
Kabel Push Button	1	A	1	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition Task	205,79		Operator/ Teknisi		
Bearing Hoist	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y					Sceduled Discard Task	414,58		Teknisi		
Wire Rope	1	A	1	Y	Y			Y							Scheduled on-condition Task	427,62		Operator/ Teknisi		
Wheel Trolley	1	A	1	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition Task	474,12		Teknisi		

4.4.7 Penyusunan Jadwal Perawatan

Jadwal perawatan disusun dengan tujuan agar interval perawatan dapat diterapkan pada perusahaan. Pertimbangan penyusunan jadwal perawatan disusun berdasarkan interval

MTTF dan interval TM. Selain itu, pertimbangan jadwal perawatan juga dapat didasarkan pada penggabungan antar interval perawatan komponen yang saling berdekatan dan dapat digabungkan. Pada Tabel 4.21 ditampilkan jadwal perawatan dari periode Juli 2016 sampai dengan periode Juli 2018.

Tabel 4.21

Jadwal Perawatan Komponen

Tanggal	Keterangan
26/07/16	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
08/08/16	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
20/08/16	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
27/08/16	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
29/09/16	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
26/10/16	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
31/10/16	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
01/12/16	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
31/12/16	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
04/01/17	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
10/01/17	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
06/02/17	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
09/03/17	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
15/03/17	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
24/03/17	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
18/04/17	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
18/05/17	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
24/05/17	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
04/07/17	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>

Tanggal	Keterangan
	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
01/08/17	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
04/08/17	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
07/09/17	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
09/10/17	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
11/10/17	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
11/11/17	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
15/12/17	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
21/12/17	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
19/01/18	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
22/02/18	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
02/03/18	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
27/03/18	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
30/04/18	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
14/05/18	Jadwal perawatan <i>wire rope</i>
	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
05/06/18	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>
21/06/18	Jadwal perawatan <i>wheel trolley</i>
	Jadwal perawatan <i>bearing</i>
13/07/18	Jadwal perawatan <i>brake lining</i>
13/07/18	Jadwal perawatan kabel <i>push button</i>

Jadwal perawatan pada Tabel 4.21 selanjutnya disusun kedalam kalender untuk memudahkan dalam pembacaan dan penerapannya. Kalender perawatan dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Jadwal perawatan usulan tersebut kemudian dihitung total biaya perawatannya.

4.5 Analisis Pembahasan

Pada *subbab* ini dilakukan analisis dan pembahasan terhadap *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), analisis penentuan distribusi data, analisis MTTF dan MTTR, analisis total biaya perawatan dan keandalan, analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II, dan analisis jadwal perawatan.

4.5.1 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dapat dilihat pada Tabel 4.5. Terdapat lima komponen kritis yang dibahas dalam FMEA pada penelitian ini yaitu *brake lining*, kabel *push button*, *bearing*, *wire rope*, dan *wheel trolley*. Komponen *brake lining* yang berfungsi untuk menghentikan gerakan rotor mengalami kegagalan dikarenakan berkurangnya ketebalan *brake lining*. Hal ini berdampak pada berkurangnya daya pengereman. Sistem pengereman pada *hoist* sendiri berupa *electromagnetic brake*. Dalam pengoperasian *hoist crane* C-2 khususnya aktivitas *hoisting*, *brake* berperan penting dalam menjaga posisi *hook* pada ketinggian tertentu. Selain itu, *brake* juga berperan dalam menjaga agar beban tidak terjatuh apabila aliran listrik terputus. Penggunaan *brake* yang sedemikian rupa menyebabkan *brake lining* cepat menipis.

Komponen kabel *push button* yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan *crane* mengalami kegagalan yang disebabkan oleh terputusnya sambungan pada kabel. Kabel *push button* memiliki sambungan pada *push button* dan *control box*. Penyebab terputusnya sambungan adalah adanya kemungkinan kabel tertarik ataupun tersenggol selama pengoperasian baik itu dalam melakukan pergerakan *hoist*, *cross travel*, maupun *long travel*. Hal itu dikarenakan posisi *push button* yang tergantung.

Komponen *bearing* yang berfungsi menstabilkan putaran dan getaran pada shaft mengalami kegagalan yang disebabkan komponen *bearing* yang aus. Kegagalan tersebut disebabkan masalah pelumasan dan kontaminasi. *Bearing* yang digunakan merupakan *bearing* tanpa *seal* sehingga diperlukan pelumasan yang berkala. Pelumasan selama ini jarang dilakukan karena banyaknya komponen yang harus dilumasi. Selain itu dalam melakukan pelumasan, komponen *bearing* tidak dibersihkan terlebih dahulu sehingga

pelumas yang lama tercampur dengan pelumas yang baru. Hal ini dapat mempengaruhi kekentalan dari pelumas yang dapat berakibat pada gaya gesek bertambah. Kotoran yang tidak dibersihkan juga dapat menyebabkan pengendapan pada *track* sehingga menyebabkan gesekan yang berlebihan antara *ball* pada *bearing* dengan kotoran yang mengendap. Gesekan yang berlebihan ini dapat menghasilkan panas yang berlebih dan keausan dini.

Komponen *wire rope* yang berfungsi sebagai media pengangkatan material mengalami penyusutan pada diameternya. Penyusutan diameter ini disebabkan oleh beban material yang berlebihan (*overload*) dan adanya korosi. *Overload* disebabkan operator tidak dapat memperkirakan beban material yang akan diangkat. *Overload* menyebabkan serat-serat baja yang menyusun *wire rope* terputus sehingga diameternya menyusut. Korosi disebabkan adanya kontaminasi kotoran yang terbawa pada sarung tangan operator maupun tangan operator.

Komponen *wheel trolley* yang berfungsi dalam memindahkan beban pada gerakan *cross travel* mengalami kegagalan yang disebabkan oleh aus. Hal ini disebabkan karena gerakan *cross travel* yang sering dilakukan. *Runway trolley* juga jarang dibersihkan sehingga gesekan semakin besar. Kegagalan ini mengakibatkan diameter *wheel* antara kiri dan kanan yang tidak lagi sama sehingga kedudukan *trolley* menjadi tidak seimbang.

Pada Tabel 4.6, dapat dilihat nilai *severity* dari masing-masing komponen kritis. Semua komponen kritis yang diamati memiliki nilai *severity* 7. Komponen *brake lining* diberi nilai *severity* 7 karena rata-rata *downtime brake lining* sebesar 3,653 jam yang dapat dikategorikan memiliki efek yang tinggi. Komponen kabel *push button* diberi nilai 7 karena rata-rata *downtime*nya sebesar 2,803 jam yang dikategorikan memiliki efek yang tinggi. Komponen *bearing* diberi nilai 7 karena rata-rata *downtime*nya sebesar 4,388 jam. Sementara komponen *wire rope* diberi nilai 7 karena rata-rata *downtime*nya sebesar 2,488 jam. Komponen *wheel trolley* diberi nilai 7 karena *downtime* rata-rata nya sebesar 4,272 jam.

Pada tabel 4.7 dapat dilihat nilai *occurrence* dari masing-masing komponen kritis. Nilai *occurrence* tertinggi adalah 6 yang dimiliki oleh komponen *brake lining* dan kabel *push button*. *Brake lining* dan *push button* diberi nilai 6 karena frekuensi kegagalan kedua komponen ini sama-sama 10 kali dalam 1 tahun. Jika dirata-rata maka kegagalan hampir terjadi setiap bulan. Komponen *bearing*, *wire rope*, dan *wheel trolley* memiliki nilai *occurrence* sebesar 5. Komponen *bearing* dan *wire rope* diberi nilai *occurrence* 5 karena frekuensi kegagalan dalam setahun adalah sebanyak 5 kali. Itu artinya kegagalan terjadi setiap 2,4 bulan sekali atau dapat dibulatkan menjadi per 3 bulan sekali. Komponen *wheel*

trolley diberi nilai 5 karena frekuensi kegagalan dalam setahun komponen ini adalah sebanyak 4 kali. Itu artinya kegagalan terjadi setiap 3 bulan sekali.

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat nilai *detection* dari masing-masing komponen kritis. Komponen dengan nilai *detection* tertinggi adalah komponen *brake lining* dan *wheel trolley* yaitu sebesar 5. Nilai 5 berarti komponen-komponen tersebut sedang untuk dideteksi keagalannya. Kontrol permesinan yang dilakukan akan menghasilkan indikasi kegagalan yang akan terjadi, namun tidak cukup untuk dapat mengisolasi penyebabnya. Sementara komponen kabel *push button*, *bearing*, dan *wire rope* memiliki nilai 3 yang berarti tingkat untuk mendeteksi kegagalan pada komponen ini tinggi. Kontrol permesinan akan mencegah terjadinya kegagalan sekaligus dapat mengisolasi penyebabnya.

Nilai RPN dapat dilihat pada Tabel 4.9. Komponen *brake lining* merupakan komponen dengan nilai RPN tertinggi yaitu sebesar 210. Komponen *wheel trolley* memiliki nilai RPN sebesar 175. Komponen kabel *push button* memiliki nilai RPN sebesar 126. Komponen *wire rope* dan *bearing* memiliki nilai RPN yang terkecil yaitu sebesar 105. Nilai RPN yang terbesar menunjukkan bahwa komponen tersebut memerlukan prioritas dalam perawatan dan memiliki kekritisian tertinggi.

4.5.2 Analisis Penentuan Distribusi Data TTF dan TTR

Penentuan distribusi data baik itu data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) dilakukan sebelum mencari nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR). Tujuan mengetahui distribusi data adalah agar parameter yang digunakan dalam perhitungan MTTF dan MTTR tepat. Langkah awal dalam menentukan distribusi data adalah menduga jenis distribusi data. Ada empat jenis distribusi data yang biasa digunakan dalam model keandalan yaitu distribusi weibull, eksponensial, normal, dan lognormal. Empat jenis distribusi tersebut dipilih karena bersifat kontinyu dan cocok digunakan untuk menganalisis kerusakan suatu komponen. Langkah selanjutnya dalam menentukan distribusi data adalah melakukan pengujian distribusi data. Langkah ini dilakukan dengan bantuan *Minitab 16 Statistical Software*. Hasil pengujian distribusi data dapat dilihat pada Tabel 4.10 untuk data TTF dan Tabel 4.12 untuk data TTR. Hasil pengujian distribusi data untuk data TTF dan TTR menunjukkan bahwa distribusi data kelima komponen berjenis distribusi weibull. Distribusi weibull umum digunakan untuk memodelkan umur dari suatu komponen atau peralatan yang terkait dengan laju kerusakan. Distribusi weibull menggunakan parameter θ (*Scale*) dan β (*Shape*). Parameter β (*Shape*) merupakan parameter yang dapat mengindikasikan tingkat kegagalan dari komponen. Apabila nilai $\beta < 1$, itu berarti tingkat

kegagalan komponen akan berkurang seiring bertambahnya waktu. Apabila nilai β mendekati atau sama dengan 1, maka tingkat kegagalan komponen relatif konstan terhadap waktu. Apabila $\beta > 1$, itu berarti tingkat kegagalan komponen akan bertambah seiring bertambahnya waktu. Parameter θ (*Scale*) menunjukkan penurunan nilai reliability terhadap waktu. Semakin besar nilai θ maka semakin lama pula penurunan reliabilitas terhadap waktu. Semakin kecil nilai θ maka semakin cepat pula penurunan reliabilitas terhadap waktu.

4.5.3 Analisis Mean Time to Failure (MTTF)

Mean Time to Failure (MTTF) menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan suatu komponen mengalami kegagalan dimulai dari komponen tersebut diperbaiki atau diganti. Perhitungan MTTF masing-masing komponen dapat dilakukan setelah distribusi data *Time to Failure* (TTF) masing-masing komponen sudah diketahui. Distribusi weibull merupakan distribusi yang terpilih untuk kelima komponen berdasarkan data TTF. Perhitungan MTTF dengan data yang berdistribusi weibull menggunakan parameter θ (*Scale*) dan β (*Shape*). Parameter untuk masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.10. Sedangkan hasil perhitungan MTTF untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 4.11. Berdasarkan Tabel 4.11 diketahui bahwa *wheel trolley* memiliki nilai MTTF terbesar yaitu 613,2083. Nilai tersebut berarti bahwa rata-rata kemampuan *wheel trolley* untuk beroperasi dan menjalankan fungsinya adalah sebesar 613,2083 jam. Sedangkan komponen dengan nilai MTTF terkecil adalah komponen *brake lining* yaitu sebesar 250,1936. Nilai tersebut berarti bahwa rata-rata kemampuan komponen *brake lining* untuk beroperasi dan menjalankan fungsinya adalah sebesar 250,1936 jam.

4.5.4 Analisis Mean Time to Repair (MTTR)

Mean Time to Repair (MTTR) menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan suatu komponen kepada keadaan semula sesuai fungsinya masing-masing. Perhitungan MTTR masing-masing komponen dapat dilakukan setelah distribusi data *Time to Repair* (TTR) masing-masing komponen sudah diketahui. Distribusi weibull merupakan distribusi yang terpilih untuk kelima komponen berdasarkan data TTR. Perhitungan MTTR pada data yang terdistribusi weibull menggunakan parameter θ (*Scale*) dan β (*Shape*). Parameter dan hasil perhitungan MTTR untuk masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13. Berdasarkan Tabel 4.13 diketahui bahwa komponen *bearing* memiliki nilai MTTR terbesar yaitu 4,368407. Nilai tersebut berarti rata-rata waktu yang diperlukan untuk memulihkan kondisi komponen *bearing* adalah sebesar 4,368407 jam.

Sedangkan komponen dengan nilai MTTR terkecil adalah komponen *wire rope* yaitu sebesar 2,475715. Nilai tersebut berarti bahwa rata-rata waktu yang diperlukan untuk memulihkan kondisi *wire rope* adalah sebesar 2,475715 jam.

4.5.5 Analisis Total Biaya Perawatan dan Keandalan

Total biaya perawatan dan keandalan yang dibahas pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu total biaya perawatan dan keandalan ketika menggunakan interval *Mean Time to Failure* (MTTF) dan total biaya perawatan dan keandalan ketika menggunakan interval perawatan optimal (TM). Total biaya perawatan dapat dilihat pada Tabel 4.18. Sedangkan keandalan komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.19

Komponen *brake lining* ketika menggunakan interval TM mempunyai total biaya perawatan sebesar Rp. 27.969.126. Biaya ini lebih besar Rp 4.259.301 dari total biaya perawatan ketika menggunakan interval MTTF yaitu Rp 23.709.825. Biaya ketika menggunakan interval TM mengalami peningkatan sebesar 17,96% dari biaya ketika menggunakan interval MTTF. Sementara itu keandalan komponen *brake lining* ketika menggunakan interval TM adalah sebesar 0,924. Angka ini meningkat sebesar 0,3056 atau 49,41% dibandingkan ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar 0,6184.

Total biaya perawatan komponen kabel *push button* ketika menggunakan interval perawatan TM adalah sebesar Rp 27.437.268. Biaya ini lebih besar 13,26% atau Rp 3.212.976 apabila dibandingkan apabila menggunakan interval MTTF yaitu sebesar Rp 24.224.292. Sementara itu keandalan komponen kabel *push button* yang didapatkan ketika menggunakan interval TM adalah sebesar 0,9026. Keandalan komponen kabel *push button* meningkat 0,2881 atau 46,88% dibandingkan ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar 0,6145.

Total biaya perawatan komponen *bearing* ketika menggunakan interval perawatan TM adalah sebesar Rp 8.386.263. Total biaya ini mengalami penurunan sebesar Rp 1.398.729 atau apabila dipersentasekan yaitu sebesar 14,29% dari ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar Rp 9.784.992. Keandalan komponen *bearing* ketika menggunakan interval TM adalah sebesar 0,9516. Nilai ini meningkat 0,3337 atau 54,01% dari ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar 0,6179

Total biaya perawatan komponen *wheel trolley* ketika menggunakan interval perawatan TM adalah sebesar Rp 12.643.217. Biaya ini mengalami penurunan sebesar Rp 98.335 atau sebesar 0,77% apabila dibandingkan dengan total biaya ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar Rp 12.741.552. Keandalan komponen *wheel trolley* ketika menggunakan

interval TM adalah sebesar 0,9342. Nilai ini meningkat 0,3177 atau sebesar 51,54% apabila dibandingkan dengan keandalan ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar 0,6165.

Total biaya perawatan pada komponen *wire rope* ketika diterapkan interval perawatan TM adalah sebesar Rp 17.034.661. Biaya ini meningkat sebesar Rp 2.603.773 atau sebesar 18,04% dari total biaya perawatan ketika menggunakan interval MTTF yaitu sebesar Rp 14.430.888. keandalan komponen *wire rope* ketika menggunakan interval TM adalah sebesar 0,8733. Nilai tersebut meningkat sebesar 0,2656 atau sebesar 43,71% dari keandalan ketika menggunakan interval perawatan MTTF yaitu sebesar 0,6077.

Pada Tabel 4.22 dirangkum perbandingan antara interval perawatan TM dan MTTF terkait total biaya perawatan dan keandalan.

Tabel 4.22
Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Keandalan

Komponen	Total Biaya Perawatan			Keandalan		
	Interval TM	Interval MTTF	Peningkatan	Interval TM	Interval MTTF	Peningkatan
<i>Brake lining</i>	Rp27.969.126	Rp23.709.825	17,96%	0,9240	0,6184	49,41%
Kabel <i>Push button</i>	Rp27.437.268	Rp24.224.292	13,26%	0,9026	0,6145	46,88%
Bearing	Rp8.386.263	Rp9.784.992	-14,29%	0,9516	0,6179	54,01%
<i>Wheel Trolley</i>	Rp12.643.217	Rp12.741.552	-0,77%	0,9342	0,6165	51,54%
<i>Wire rope</i>	Rp17.034.661	Rp14.430.888	18,04%	0,8733	0,6077	43,72%

Berdasarkan Tabel 4.22 diketahui bahwa terdapat tiga komponen yang mengalami peningkatan total biaya perawatan ketika menerapkan interval perawatan optimal (TM). Hal itu disebabkan interval perawatan TM menghasilkan frekuensi perawatan yang lebih sering dibandingkan dengan interval perawatan MTTF. Dua komponen mengalami penurunan total biaya perawatan yaitu komponen *bearing* dan *wheel trolley*. Interval perawatan TM pada kedua komponen ini tetap menghasilkan frekuensi yang lebih sering dibandingkan dengan interval perawatan MTTF. Hal yang menyebabkan total biaya perawatan mengalami penurunan adalah probabilitas dilakukannya perawatan *corrective* pada komponen *bearing* dan *wheel trolley* pada saat penerapan interval TM yang lebih kecil dibandingkan dengan pada saat penerapan interval MTTF. Faktor lain yang menyebabkan total biaya perawatan mengalami penurunan adalah lama waktu perbaikan *corrective* (T_f) yang lebih lama dibandingkan dengan waktu perbaikan *preventive* (T_p). Hal itu dapat menyebabkan biaya perbaikan *corrective* meningkat drastis sehingga mempengaruhi total biaya perawatan.

4.5.6 Analisis *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*

Pada subbab ini, akan dibahas mengenai *Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet* yang ada pada Tabel 4.20. Komponen *brake lining* dapat diambil sebagai contoh pengisian RCM II *Decision Worksheet*. RCM II *Decision Worksheet* terbagi atas beberapa kolom utama. Kolom *information reference* terbagi menjadi kolom F (*function*), FF (*functional failure*), dan FM (*failure mode*). Pengisian kolom F, FF, dan FM berdasarkan atas RCM *Information Reference* yang ditampilkan pada Tabel 4.8. Komponen *brake lining* memiliki 1 *function*, 1 *functional failure*, dan 1 *failure mode*. Maka pada Tabel 4.21, kolom F, FF, dan FM pada komponen *brake lining* diisi dengan kode 1-A-1. Apabila *brake lining* memiliki 2 fungsi, maka kolom F ditulis dengan 1 atau 2. Apabila *brake lining* memiliki 2 *functional failure*, maka kolom FF ditulis dengan A atau B. Apabila *brake lining* memiliki 2 *failure mode*, maka kolom FM ditulis 1 atau 2.

Kolom selanjutnya adalah kolom *consequence evaluation*. Kolom ini terbagi menjadi kolom H (*Hidden Failure*), S (*Safety*), E (*Environment*), dan O (*Operational*). Kriteria pengisian kolom ini terdapat pada Tabel 2.3. Komponen *brake lining* baris 1-A-1, kolom H diisi dengan Y, itu berarti *failure mode* dapat diketahui dengan langsung oleh operator. *Failure mode* pada 1-A-1 adalah pemakaian yang sering dilakukan. *Failure mode* tersebut dapat diketahui secara langsung oleh operator. Kolom S diisi dengan N, itu berarti *failure mode* tersebut tidak mempengaruhi dan membahayakan operator. Kolom E diisi dengan N, itu artinya *failure mode* tidak berpengaruh terhadap lingkungan. Kolom O diisi dengan Y, itu artinya *failure mode* dapat mempengaruhi operasional dari komponen ataupun mesin. Setelah itu lanjut ke pertanyaan H1/S1/E1/O1. Pada kolom ini ditanyakan apakah ada tindakan yang dapat mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau akan terjadi. Dalam hal ini, kolom H1/S1/E1/O1 diisi dengan Y karena kegagalan berupa *brake lining* yang menipis dapat dideteksi dengan beberapa tindakan. Karena kolom H1/S1/E1/O1 diisi dengan Y, maka kolom H2/S2/E2/O2 dan H3/S3/E3/O3 tidak diisi. Karena pengisian kolom berhenti pada kolom H1/S1/E1/O1, maka pada kolom *proposed task* diisi *scheduled on-condition task*. Apabila pengisian berhenti pada kolom H2/S2/E2/O2, maka pada kolom *proposed task* diisi *scheduled restoration task*. Apabila pengisian berhenti pada kolom H3/S3/E3/O3, maka pada kolom *proposed task* diisi *scheduled discard task*. Kolom berikutnya adalah kolom *initial interval* yang merupakan interval optimal (TM) dari masing-masing komponen. Komponen bearing memiliki initial interval 200,68 jam. Kolom terakhir yaitu kolom *can be done by* yaitu kolom yang menunjukkan siapa yang dapat menjalankan kegiatan perawatan

yang telah disusun. Pada Tabel 4.23 ditampilkan tindakan perawatan untuk masing-masing komponen berdasarkan RCM II *Decision Worksheet*.

Tabel 4.23
Tindakan Perawatan Masing-masing Komponen

Komponen	Functional Failure	Proposed Task
Brake lining	Brake lining menipis	<i>Scheduled on-condition Task</i> : Melakukan pengecekan terhadap ketebalan <i>brake lining</i> . Apabila sudah terlalu tipis maka dilakukan pergantian
		<i>Scheduled on-condition Task</i> : Melakukan penyesuaian <i>air gap</i> pada <i>brake lining</i>
Kabel <i>Push button</i>	Sambungan kabel terputus	<i>Scheduled on-condition Task</i> : Melakukan pengecekan terhadap baut dan sambungan kabel baik di <i>push button</i> maupun di <i>control box</i>
Bearing	Aus	<i>Scheduled Discard Task</i> : Melakukan pergantian terhadap komponen bearing
Wire Rope	Penyusutan diameter <i>wire rope</i>	<i>Scheduled on-condition Task</i> : Memperhatikan kebersihan dari tangan dan sarung tangan operator
		<i>Scheduled on-condition Task</i> : Melakukan penyesuaian terhadap beban material yang akan diangkat
		<i>Scheduled on-condition Task</i> : Memeriksa diameter <i>wire rope</i> . Apabila <i>wire rope</i> telah menyusut lebih dari 10 persen dari diameter awal maka dilakukan pergantian.
Wheel Trolley	Aus	<i>Scheduled on-condition Task</i> : Memeriksa diameter <i>wheel trolley</i> . Apabila terdapat perbedaan diameter 8% antara <i>wheel</i> kiri dan kanan maka dilakukan pergantian
		<i>Scheduled on-condition Task</i> : Memeriksa abrasi dan membersihkan permukaan <i>wheel</i> dan <i>runway</i> dari kotoran

4.5.7 Analisis Jadwal Perawatan

Jadwal perawatan dapat dilihat pada Tabel 4.21. Penyusunan jadwal perawatan dengan cara menggabungkan jadwal perawatan disusun berdasarkan atas beberapa pertimbangan. Yang pertama adalah interval optimal (TM) menghasilkan frekuensi perawatan yang lebih sering sehingga hal ini dapat mempengaruhi total biaya perawatan. Berdasarkan Tabel 4.25 diketahui bahwa frekuensi perawatan yang dihasilkan apabila menggunakan interval TM dan MTTF masing-masing adalah sebanyak 74 dan 57 kali. Frekuensi tersebut jauh berbeda apabila dibandingkan dengan usulan jadwal perawatan yaitu sebanyak 36 kali.

Pertimbangan penggabungan jadwal selanjutnya adalah adanya komponen kritis yang saling terkait satu sama lain. Hal itu dapat dilihat pada komponen *brake lining* dan komponen *bearing*. Kedua komponen tersebut sama-sama berada pada *motor hoist* sehingga memiliki

proses yang hampir sama dalam hal pembongkaran masing-masing komponen tersebut. Komponen *wheel trolley* juga memiliki keterkaitan dengan *brake lining* dan *bearing* dimana *wheel trolley* berada tepat diatas motor hoist sehingga lebih efisien apabila komponen-komponen tersebut digabung jadwal perawatannya.

Interval perawatan TM yang hampir sama juga masuk kedalam pertimbangan penggabungan jadwal perawatan. Sebagai contoh interval perawatan *brake lining* dan kabel *push button* yang masing-masing sebesar 200,68 jam dan 205,79 jam. Dalam hal ini, interval perawatan *brake lining* dapat dimajukan mendekati atau menyamai interval perawatan kabel *push button* sehingga kedua komponen tersebut dapat digabungkan jadwal perawatannya. Selain itu jadwal perawatan yang kebetulan hampir berdekatan dapat digabungkan jadwalnya dengan cara memajukan jadwal perawatan salah satu komponen yang berdekatan tersebut. Pada Tabel 4.24 disajikan perbandingan frekuensi antara perawatan dengan interval MTTF, TM, dengan usulan jadwal perawatan.

Tabel 4.24
Perbandingan Frekuensi Perawatan

Bulan	Frekuensi Perawatan		
	Interval MTTF	Interval TM	Skenario Jadwal Perawatan
Juli - Desember 2016	11	19	9
Januari - Desember 2017	30	34	18
Januari - Juli 2018	16	21	9
TOTAL	57	74	36

Interval MTTF merupakan rata-rata interval perawatan yang selama ini dilakukan perusahaan. Interval TM merupakan interval perawatan optimal yang telah dihitung. Sedangkan skenario jadwal perawatan merupakan usulan agar tindakan perawatan dilakukan lebih efisien. Berdasarkan Tabel 4.24, frekuensi perawatan pada jadwal perawatan yang diusulkan sebanyak 36 kali selama periode Juli 2016 – Juli 2018. Dengan berkurangnya frekuensi perawatan ini, maka gangguan terhadap operasional pabrik dapat dikurangi. Selain itu frekuensi perawatan yang lebih sedikit dapat mengurangi total biaya perawatan secara signifikan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian.....	33
4.1.1 Profil Perusahaan	33
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan.....	33
4.1.3 Struktur Organisasi Perusahaan	34
4.1.4 Proses Produksi Mur dan Baut.....	35
4.1.5 Sistem Kerja	36
4.1.6 Deskripsi Objek yang Diamati	37
4.2 <i>Functional Block Diagram</i>	40
4.3 Pengumpulan Data.....	43
4.3.1 Pengumpulan Data Primer	43
4.3.2 Pengumpulan Data Sekunder	43
4.4 Pengolahan Data	45
4.4.1 <i>Identifikasi System Function dan Functional Failure</i>	46
4.4.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	46
4.4.2.1 Perhitungan Nilai <i>Severity</i>	47
4.4.2.2 Perhitungan Nilai <i>Occurrence</i>	48
4.4.2.3 Perhitungan Nilai <i>Detection</i>	49
4.4.2.4 Perhitungan Nilai RPN.....	49
4.4.3 Penentuan Distribusi, MTTF, dan MTTR.....	51
4.4.3.1 Penentuan Distribusi <i>Time to Failure (TTF)</i>	51
4.4.3.2 Perhitungan MTTF untuk Data TTF	54
4.4.3.3 Penentuan Distribusi <i>Time to Repair (TTR)</i>	55
4.4.3.4 Perhitungan MTTR untuk Data TTR.....	57
4.4.4 Perhitungan Interval Perawatan (TM) dan Total Biaya Perawatan.....	58
4.4.5 Perhitungan Keandalan Komponen Kritis	64
4.4.6 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet</i>	67
4.4.7 Penyusunan Jadwal Perawatan.....	67
4.5 Analisis Pembahasan	70
4.5.1 Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	70
4.5.2 Analisis Penentuan Distribusi Data TTF dan TTR	72
4.5.3 Analisis <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i>	73
4.5.4 Analisis <i>Mean Time to Repair (MTTR)</i>	73

4.5.5 Analisis Total Biaya Perawatan dan Keandalan	74
4.5.6 Analisis <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) II	76
4.5.7 Analisis Jadwal Perawatan.....	77

<i>Gambar 4.1</i> Struktur Organisasi PT. Timur Megah Steel.....	34
<i>Gambar 4.2</i> Proses Pembuatan Mur dan Baut	36
<i>Gambar 4.3</i> Komponen <i>hoist crane</i>	37
<i>Gambar 4.4</i> Gerak <i>hoist</i> pada <i>hoist crane</i>	39
<i>Gambar 4.5</i> Gerak <i>cross travel</i> pada <i>hoist crane</i>	39
<i>Gambar 4.6</i> Gerak <i>long travel</i> pada <i>hoist crane</i>	40
<i>Gambar 4.7</i> <i>Functional block diagram hoist crane</i>	42
<i>Gambar 4.8</i> Downtime komponen mesin <i>crane C-2</i>	44
<i>Gambar 4.9</i> Input data pada worksheet Minitab 16.....	51
<i>Gambar 4.10</i> Langkah pengujian distribusi pada Minitab 16.....	51
<i>Gambar 4.11</i> Kotak dialog <i>distribution ID Plot</i>	52
<i>Gambar 4.12</i> Output pengujian distribusi data TTF komponen <i>brake lining</i>	52
<i>Gambar 4.13</i> Tampilan kotak dialog <i>Distribution Overview Plot</i>	53
<i>Gambar 4.14</i> Output parameter TTF komponen <i>brake lining</i>	53
<i>Gambar 4.15</i> Output pengujian distribusi data TTR komponen <i>brake lining</i>	56
<i>Gambar 4.16</i> Output parameter TTR komponen <i>brake lining</i>	56

Tabel 4.1 Frekuensi Kerusakan dan <i>Downtime</i> Komponen Mesin <i>Crane</i>	43
Tabel 4.2 Data TTF Komponen Kritis	44
Tabel 4.3 Data TTR Komponen Kritis	45
Tabel 4.4 <i>System Function</i> dan <i>Function Failure</i> Komponen Kritis	46
Tabel 4.5 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) Komponen Kritis	46
Tabel 4.6 Nilai <i>Severity</i> Komponen Kritis	47
Tabel 4.7 Nilai <i>Occurrence</i> Komponen Kritis	48
Tabel 4.8 Nilai <i>Detection</i> Komponen Kritis	49
Tabel 4.9 RCM II <i>Information Worksheet</i>	50
Tabel 4.10 Uji Distribusi Data TTF dan Parameter Distribusi Komponen Kritis.....	54
Tabel 4.11 Nilai MTTF Komponen Kritis	55
Tabel 4.12 Uji Distribusi Data TTR dan Parameter Distribusi Komponen Kritis	57
Tabel 4.13 Nilai MTTR Komponen Kritis.....	58
Tabel 4.14 Biaya Tenaga Kerja Periode Juni 2015 – Juni 2016	59
Tabel 4.15 Biaya Komponen Kritis.....	60
Tabel 4.16 Waktu Perbaikan <i>Corrective</i> dan <i>Preventive</i>	60
Tabel 4.17 Interval Perawatan Optimal (TM) Komponen Kritis	63
Tabel 4.18 Rekapitulasi Total Biaya Perawatan Komponen Kritis	64
Tabel 4.19 Rekapitulasi Perhitungan Keandalan Komponen Kritis	67
Tabel 4.20 RCM II <i>Decision Worksheet</i>	67
Tabel 4.21 Jadwal Perawatan Komponen	68
Tabel 4.22 Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Keandalan	75
Tabel 4.23 Tindakan Perawatan Masing-masing Komponen	77
Tabel 4.24 Perbandingan Frekuensi Perawatan	78