

BAB 4

PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Identifikasi Alat Berat *Gantry Jib Crane* (GJC)

Alat berat GJC yaitu alat bantu angkat yang memiliki fungsi untuk memindahkan beban berat dari kapal ke dermaga atau sebaliknya. Alat berat GJC dapat digunakan secara vertikal maupun horizontal dan memberikan kestabilan dalam proses pemindahan beban berat, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan bagi pekerja dalam proses bongkar muat. Alat berat GJC 2 yang dimiliki oleh PT Pelabuhan Tanjung Priok Cabang Panjang beroperasi selama 24 jam/hari dan berlangsung dari hari Senin sampai Minggu, dengan waktu aktif kerja selama 20 jam/hari. Waktu istirahat dilakukan setiap pukul 07.00-08.00 WIB, 12.00-13.00 WIB, 18.00-19.00 WIB, 00.00-01.00 WIB. Pada saat tidak ada kapal yang bersandar, GJC 2 tetap dalam keadaan *standby* dan siap digunakan kapan saja begitu kapal tiba di dermaga. Tingginya tingkat operasional dan durasi kerja alat berat GJC 2 hampir tanpa henti, sehingga diperlukan sistem perawatan yang terjadwal dan keberlanjutan untuk memastikan alat berat GJC 2 tetap dalam kondisi yang optimal. Alat berat GJC 2 dilakukan inspeksi rutin setiap hari untuk mencari kerusakan serta melakukan *maintenance* ringan seperti pelumasan, pemeriksaan fungsi kontrol, *cleaning*. Sedangkan proses *maintenance* berat seperti pergantian *wire rope* dilakukan pada saat komponen tersebut mengalami kerusakan. Oleh sebab itu diperlukan analisis ulang untuk melakukan penjadwalan *maintenance* agar dapat mengoptimalkan kinerja alat berat dan meminimasi biaya perawatan yang dikeluarkan.

Berikut adalah gambaran alat berat GJC yang dimiliki PT Pelabuhan Tanjung Priok Cabang Panjang.



Gambar 4. 1 Gantry Jib Crane

4.1.2 Data Komponen Alat Berat

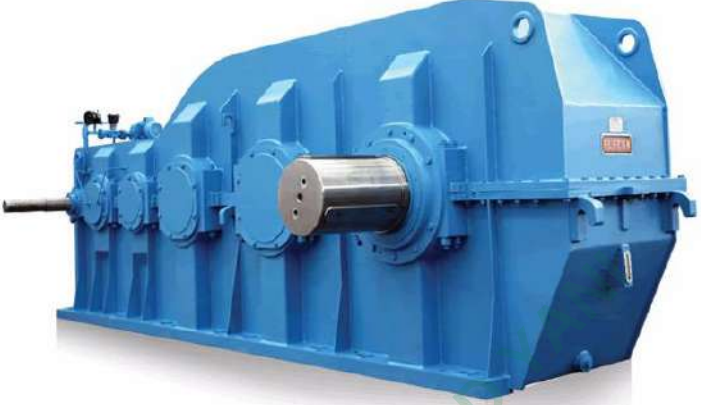
Alat berat GJC 2 memiliki komponen yang berperan penting dalam kegiatan operasionalnya. Data komponen alat berat digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis kinerja, perencanaan *maintenance*, serta identifikasi kerusakan pada alat berat. Dengan adanya data yang lengkap dan akurat, proses identifikasi permasalahan terhadap alat berat menjadi cepat dan tepat, sehingga dapat

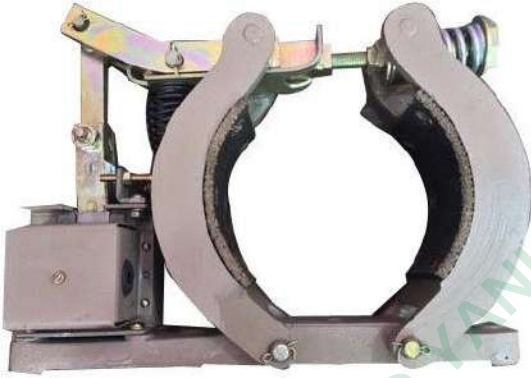
meminimalkan waktu henti operasional dan pemborosan biaya. Data ini diperoleh dari hasil observasi dan wawancara terhadap *Jr. Assisten Officer Teknik*.

Berikut adalah komponen yang terdapat pada alat berat GJC 2:

Tabel 4. 1 Data Komponen Alat Berat GJC 2

Komponen	Gambar Komponen
<i>Motor Gantry</i>	
<i>Bogie Gantry</i>	
<i>Open Gear Slewing</i>	

Komponen	Gambar Komponen
<i>Gearbox Hoist 1</i> <i>Gearbox Hoist 2</i>	
<i>Gearbox Slewing</i>	
<i>Break Slewing</i>	Komponen <i>break slewing</i> terdapat didalam <i>gearbox slewing</i> namun tidak dapat terdokumentasi dikarenakan pada komponen tersebut tertutup oleh <i>cover gearbox slewing</i>

Komponen	Gambar Komponen
<i>Break Hoist</i>	
<i>Boom System</i>	

Komponen	Gambar Komponen
<i>Counter Weight System</i>	
<i>Drive</i>	
PLC	

Komponen	Gambar Komponen
<i>Wire Rope</i>	
<i>Swivel Block</i>	

Komponen	Gambar Komponen
Roda <i>Gantry</i>	

4.1.3 Data Kerusakan Alat Berat

Selain data komponen alat berat, terdapat rincian kerusakan alat berat yang mengakibatkan *downtime*, sehingga perlu dilakukan perawatan atau perbaikan pada alat berat GJC 2. Berikut merupakan data kerusakan pada alat berat GJC 2 pada periode Agustus 2023 sampai Juli 2024.

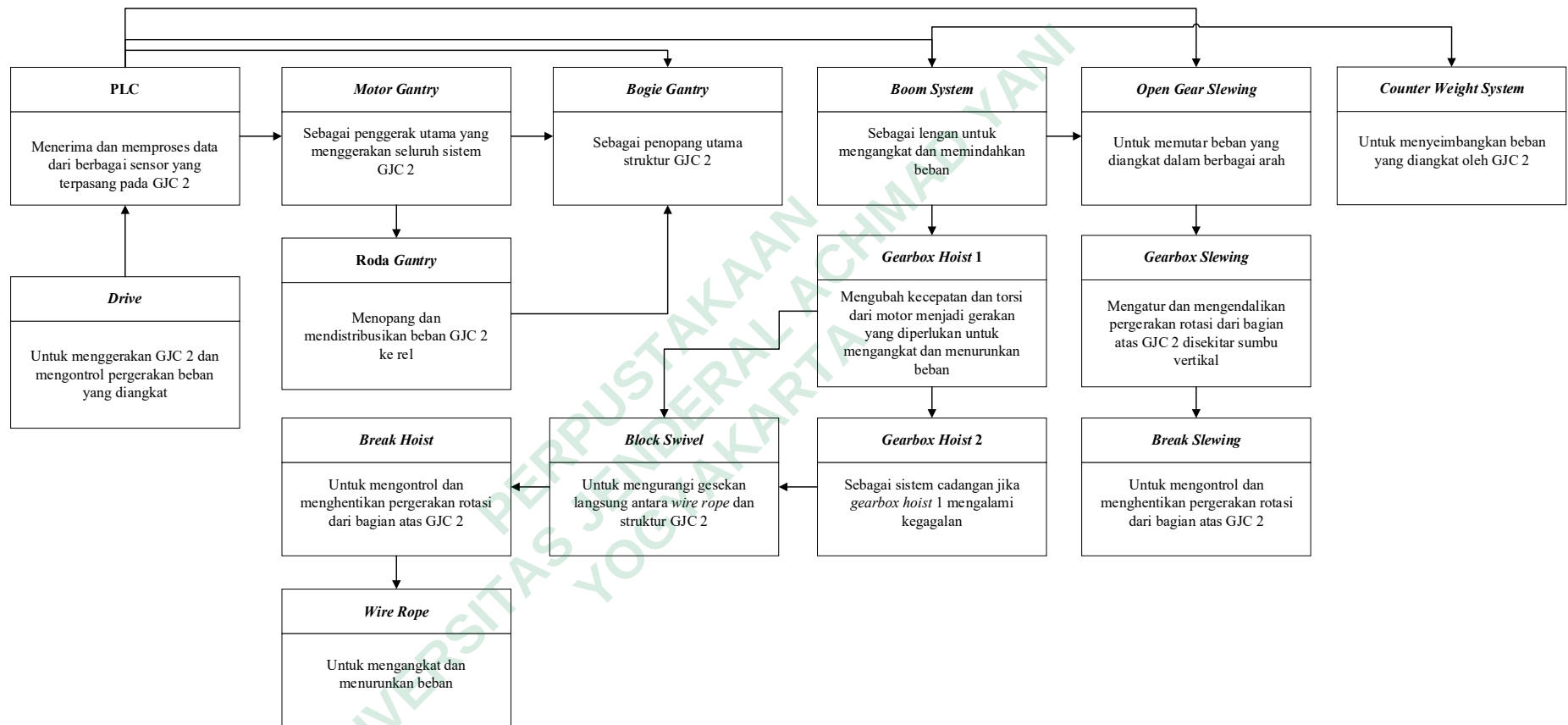
Tabel 4. 2 Data Kerusakan Alat Berat GJC 2

No	Bulan	Tanggal	Jam Awal Kerusakan	Jam Akhir Kerusakan	Durasi kerusakan (Jam)	Durasi kerusakan (Menit)
1	Agustus	07/08/2023	02.48	02.52	0,07	4
		08/08/2023	14.32	14.36	0,07	4
		12/08/2023	11.45	11.55	0,17	10
		14/08/2023	22.18	22.33	0,25	15
2	September	03/09/2023	09.02	09.17	0,25	15
		15/09/2023	18.30	18.45	0,25	15
		24/09/2023	15.15	15.55	0,67	40
3	Oktober	10/10/2023	10.17	10.27	0,17	10
		17/10/2023	01.57	02.01	0,07	4
		22/10/2023	14.09	14.29	0,33	20
		30/10/2023	10.55	11.05	0,17	10
4	November	14/11/2023	05.00	05.47	0,78	47
		18/11/2023	10.35	10.50	0,25	15
		20/11/2023	21.40	23.00	1,33	80
		29/11/2023	14.00	14.40	0,67	40
5	Desember	03/12/2023	08.32	08.47	0,25	15

No	Bulan	Tanggal	Jam Awal Kerusakan	Jam Akhir Kerusakan	Durasi kerusakan (Jam)	Durasi kerusakan (Menit)
		05/12/2023	04.44	04.51	0,12	7
		11/12/2023	17.57	18.12	0,25	15
		25/12/2023	15.24	15.34	0,17	10
		26/12/2023	20.48	21.08	0,33	20
		27/12/2023	09.38	09.48	0,17	10
		30/12/2023	07.31	07.46	0,25	15
		31/12/2023	04.24	04.28	0,07	4
6	Januari	07/01/2024	16.12	16.37	0,42	25
		12/01/2024	23.08	23.18	0,17	10
		20/01/2024	11.12	11.17	0,08	5
		27/01/2024	08.42	09.02	0,33	20
7	Februari	02/02/2024	13.05	13.09	0,07	4
		04/02/2024	05.00	06.00	1,00	60
		05/02/2024	14.37	15.37	1,00	60
		07/02/2024	20.55	21.10	0,25	15
		10/02/2024	02.14	02.24	0,17	10
		13/02/2024	07.53	08.42	0,82	49
		21/02/2024	13.41	14.21	0,67	40
		23/02/2024	18.37	18.41	0,07	4
		24/02/2024	01.12	01.42	0,50	30
		28/02/2024	23.55	23.59	0,07	4
8	Maret	01/03/2024	09.00	17.00	7,00	420
		02/03/2024	07.00	11.09	4,15	249
		07/03/2024	15.25	15.35	0,17	10
		14/03/2024	19.37	19.41	0,07	4
		19/03/2024	08.47	08.57	0,17	10
		28/03/2024	10.39	10.54	0,25	15
9	April	12/04/2024	14.05	14.15	0,17	10
		21/04/2024	22.19	22.34	0,25	15
		25/04/2024	09.25	09.40	0,25	15
		27/04/2024	16.01	17.01	1,00	60
		28/04/2024	03.57	04.12	0,25	15
10	Mei	01-31/05/2024	Full downtime			
11	Juni	01-30/06/2024	Full downtime			
12	Juli	01-31/07/2024	Full downtime			

4.1.4 *Functional Block Diagram (FBD) GJC 2*

FBD digunakan untuk mengidentifikasi keterkaitan fungsi utama pada komponen GJC 2. Pembuatan FBD dilakukan melalui diskusi dan wawancara langsung kepada *Jr. Assisten Officer Teknik*. *Jr. Assisten Officer Teknik* memiliki pengalaman dalam bidang Teknik selama 14 tahun bekerja di PT Pelabuhan Tanjung Priok Cabang Panjang. Sehingga, responden tersebut menguasai detail teknis tentang mekanisme GJC 2 serta semua aspek dalam pengendaliannya. Sedangkan untuk kepala mekanik dan pelaksana teknik hanya melakukan validasi data mengenai hubungan antarfungsi komponen, karena kepala mekanik dan pelaksana teknik tidak bersangkutan langsung dengan detail teknis tentang mekanisme GJC 2 sehingga hanya dilakukan kepada *Jr. Assisten Officer Teknik*. Gambar 4.2 merupakan gambar dari FBD pada GJC 2.



Gambar 4. 2 Functional Block Diagram Alat Berat GJC 2

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antarkomponen beserta fungsinya pada alat berat GJC 2. Dalam operasional alat berat GJC 2, *drive* sebagai komponen utama untuk mengatur keseluruhan perintah pergerakan pada GJC 2, lalu perintah tersebut masuk ke dalam komponen PLC yang nantinya akan membaca sensor perintah dari *drive* sehingga dapat menggerakkan komponen lain yang diinginkan. Pada komponen Roda *gantry* terhubung dengan *motor gantry* fungsinya digunakan untuk menggeser GJC 2 sesuai tempat yang diinginkan sesuai rel yang telah ada, roda *gantry* dan *motor gantry* tersebut terletak pada *bogie gantry* yang berfungsi menjadi penopang utama seluruh rangkaian yang memberikan kekuatan dan menjadikan kestabilan terhadap keseluruhan bagian GJC 2. Lalu terdapat *boom system* sebagai lengan mekanik yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan beban dari kapal ke transportasi yang terdapat di dermaga atau sebaliknya. Untuk memberikan fleksibilitas arah saat memindahkan beban digunakan *open gear slewing* sehingga dapat berputar ke berbagai arah. *counter weight system* memberikan keseimbangan tambahan pada saat mengangkat beban berat.

Pada proses pengangkatan beban digunakan dua *Gearbox*, yaitu *gearbox hoist 1* sebagai sistem utama dan *gearbox hoist 2* sebagai sistem cadangan. *gearbox* ini berfungsi untuk mengubah kecepatan dan torsi pada saat menaikkan atau menurunkan beban. Untuk menjaga keamanan pada saat proses *hoisting* maka perlu adanya komponen *break hoist* supaya dapat mengontrol dan menghentikan *wire rope*. *Wire rope* digunakan untuk mengangkat beban berupa tali baja yang kuat dan fleksibel. Supaya *wire rope* tidak mengalami gesekan secara langsung dengan struktur GJC 2 dan supaya dapat berfungsi secara optimal, digunakan *block swivel* yang membantu mengurangi gesekan tersebut. Selain itu, untuk mengatur rotasi bagian atas digunakan *gearbox slewing* yang bekerja sama dengan *break slewing* untuk mengontrol dan menghentikan rotasi sesuai kebutuhan operasional.

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

Tahapan selanjutnya yaitu mengidentifikasi komponen kritis pada alat berat GJC 2 dengan menggunakan FMEA. Data yang dibutuhkan pada tahap ini adalah data komponen alat berat yang tercantum pada FBD kemudian dilakukan

identifikasi kegagalan fungsinya. Adapun cara mendapatkan informasi data FMEA yaitu menyusun kuesioner yang dilakukan bersama *Jr. Assisten Officer* Teknik yang kemudian divalidasi oleh kepala mekanik dan pelaksana teknik untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi lapangan. Informasi data yang didapatkan tercantum pada Tabel 4.3.

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS JENDERAL ACHMAD YANI
YOGYAKARTA

Tabel 4.3 FMEA Pada Alat Berat GJC 2

Gantry Jib Crane 2									
<i>Part</i>	<i>Functional</i>	<i>Functional Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>	S	<i>Cause of Failure</i>	O	<i>Current Control</i>	D
<i>Motor Gantry</i>	Sebagai penggerak utama yang menggerakkan seluruh sistem <i>gantry Jib crane</i>	Tidak dapat menggerakkan <i>crane</i>	Motor tidak berfungsi	Tidak dapat mengangkat atau memindahkan beban		Masalah kelistrikan		Melakukan gulung ulang stator	
		Motor tidak dapat mengatur kecepatan dengan tepat	Kecepatan tidak dapat diatur	Kesulitan dalam mengangkat atau menurunkan beban		Kerusakan pada sistem kontrol		Perbaikan <i>drive</i>	
		Kerusakan pada komponen listrik motor	Gangguan pasokan listrik	Motor tidak dapat beroperasi		Kabel mengalami kerusakan		Perbaikan <i>short cable</i>	
<i>Bogie Gantry</i>	Sebagai penopang utama struktur <i>Gantry Jib Crane</i>	Kegagalan sistem kontrol	Sistem kontrol yang mengatur pergerakan <i>bogie</i> tidak berfungsi	Kesulitan dalam mengoperasikan <i>crane</i>		Kerusakan pada sensor		Melakukan perbaikan dan <i>painting</i> ulang	
		Tidak dapat melakukan pelumasan (<i>Greasing</i>)	Kurangnya pelumasan pada komponen <i>bogie</i>	Peningkatan gesekan yang dapat menyebabkan <i>overheating</i>		Kebocoran pada pelumas		Melakukan pelumasan secara rutin	
<i>Open Gear Slewing</i>	Untuk memutar beban yang diangkat dalam berbagai arah	Kegagalan dalam melakukan rotasi	<i>Open gear slewing</i> tidak dapat berputar	<i>Crane</i> tidak dapat memindahkan beban kearah yang diinginkan		Kerusakan pada <i>gear</i>		Melakukan pelumasan secara rutin	
		Kegagalan sistem pengereman	Sistem pengereman tidak berfungsi	<i>Crane</i> tidak dapat berhenti dengan aman saat berputar		Kerusakan komponen rem		Melakukan pembersihan	
<i>Gearbox hoist 1</i>	Mengubah kecepatan dan torsi dari motor menjadi gerakan yang diperlukan	Tidak dapat melakukan pengangkatan beban	Tidak dapat mengubah kecepatan atau torsi dari motor	<i>Crane</i> tidak dapat mengangkat beban		Kerusakan pada <i>gearbox</i>		<i>Setting</i> parameter ulang	

Gantry Jib Crane 2									
Part	Functional	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	Cause of Failure	O	Current Control	D
	untuk mengangkat dan menurunkan beban								
<i>Gearbox hoist 2</i>	Sebagai sistem cadangan jika <i>gearbox hoist 1</i> mengalami kegagalan	Tidak dapat melakukan redundansi	<i>Gearbox hoist 2</i> tidak dapat berfungsi sebagai cadangan	Jika <i>gearbox hoist 1</i> gagal, <i>crane</i> tidak dapat mengangkat beban		Kerusakan pada <i>gearbox</i>		Melakukan pergantian komponen	
<i>Gearbox slewing</i>	Mengatur dan mengendalikan pergerakan rotasi dari bagian atas <i>crane</i> di sekitar sumbu vertikal	Kerusakan pada <i>gear</i>	<i>Gear</i> mengalami keausan berlebih	Pergerakan menjadi tidak lancar		Beban berlebih		Penambahan pelumas pada <i>gearbox</i>	
<i>Break slewing</i>	Untuk mengontrol dan menghentikan pergerakan rotasi dari bagian atas <i>crane</i>	Tidak dapat mengatur posisi	Rem tidak dapat mengontrol posisi rotasi dengan tepat	Kesulitan dalam menempatkan beban dengan akurat		Sensor yang tidak berfungsi		Melakukan pergantian sensor	
		Kegagalan sistem kontrol	Sistem kontrol yang mengatur rem tidak berfungsi	Kesulitan dalam mengoperasikan <i>crane</i>		Kerusakan pada komponen elektronik		Setting ulang sistem	
<i>Break Hoist</i>	Untuk mengontrol dan menghentikan pergerakan rotasi dari bagian atas <i>crane</i>	Tidak dapat melakukan pengereman	Rem <i>hoist</i> tidak dapat berfungsi atau tidak dapat menghentikan rotasi	<i>Crane</i> tidak dapat berhenti dengan aman saat berputar		Kerusakan pada komponen rem		Pergantian komponen pengereman	
<i>Boom system</i>	Sebagai lengan untuk mengangkat dan memindahkan beban	Tidak dapat mengangkat dan memindahkan	<i>Boom</i> mengalami kerusakan fisik, seperti patah atau deformasi	Dapat menyebabkan terjatuhnya beban pada <i>boom</i> terjatuh		Mengoperasikan <i>boom</i> melebihi kapasitas yang telah ditentukan		Pergantian <i>bearing</i> dan melakukan pelumasan	
<i>Counter weight system</i>	Untuk menyeimbangkan beban yang diangkat oleh <i>crane</i>	<i>Crane</i> tidak seimbang saat mengangkat beban	Patah atau retaknya <i>counter weight system</i>	Dapat menyebabkan <i>crane</i> terbalik		Mengangkat beban yang melebihi kapasitas		Pembersihan dan perawatan rutin	

Gantry Jib Crane 2									
Part	Functional	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	Cause of Failure	O	Current Control	D
Drive	Untuk menggerakkan <i>crane</i> dan mengontrol pergerakan beban yang diangkat	<i>Crane</i> tidak dapat bergerak maju, mundur dan mengangkat beban	Kerusakan pada sistem kontrol	Menyebabkan berhenti operasi		Pemasangan komponen tidak tepat		Melakukan pergantian komponen	
		Sistem kontrol tidak merespon perintah dari operator	Kegagalan sistem kontrol	Menyebabkan kerusakan pada <i>crane</i>		Kurangnya pemeliharaan rutin dan inspeksi		Melakukan <i>cleaning</i>	
PLC	Menerima dan memproses data dari berbagai sensor yang terpasang pada <i>crane</i>	Tidak dapat menerima atau memproses data dari sensor	Kerusakan fisik pada komponen PLC, seperti CPU, modul I/O, atau koneksi listrik	Menyebabkan <i>crane</i> kehilangan kendali		Perangkat lain yang menghasilkan interfeerensi elektromagnetik dapat mengganggu operasi PLC		Melakukan pergantian komponen	
Wire Rope	Untuk mengangkat dan menurunkan beban	Tidak dapat mengangkat atau menahan beban	Mengalami patah atau putus akibat kelebihan beban	Menyebabkan beban terjatuh		Mengoperasikan <i>crane</i> dengan beban yang melebihi kapasitas		Melakukan pergantian <i>Wire Rope</i> secara rutin	
		Patah sebagian atau seluruh bagian <i>Wire Rope</i>	Mengalami kelelahan material seiring waktu	Daya angkut <i>crane</i> menurun		Kurangnya pelumasan		Melakukan pergantian <i>Wire Rope</i> secara rutin	
Swivel block	Untuk mengurangi gesekan langsung antara <i>Wire Rope</i> dan struktur <i>crane</i>	Menyebabkan gesekan berlebih pada <i>Wire Rope</i> yang mempercepat keausan	<i>Sheave misalignment</i> atau ketidaksejajaran <i>sheave</i>	Dapat mempercepat keausan dan menyebabkan <i>Wire Rope</i> putus		Kurangnya pelumasan		Melakukan pelumasan dan dapat melakukan pergantian komponen	
Roda Gantry	Menopang dan mendistribusikan beban <i>crane</i> ke rel	Menyebabkan pergerakan <i>crane</i> tersendat atau berhenti total	Keausan berlebih	<i>Crane</i> tidak dapat bergerak dengan lancar atau terhenti		Kurangnya pelumasan		Melakukan pelumasan secara rutin	

Setelah mendapatkan informasi data mengenai fungsi, kerusakan, dan tindakan perbaikan pada masing-masing komponen alat berat yang telah dijabarkan pada Tabel 4.3. Selanjutnya, menentukan tingkat kritis berdasarkan nilai S, O, D. Nilai S, O, D ditentukan oleh tiga responden yang dijadikan sebagai objek penelitian ini.

Penentuan nilai S, O, dan D berdasarkan pada kriteria skala 1-10 yang terdapat pada landasan teori Tabel 2.3 S (*Severity*), Tabel 2.4 O (*Occurrence*), dan Tabel 2.5 D (*Detection*) dalam penelitian. Penilaian tingkat kritis pada *severity* didapatkan dari aspek *function*, *functional failure*, *failure modes* dan *failure effect* karena pada aspek ini menggambarkan dampak kerusakan terhadap sebuah sistem alat berat tersebut. Sehingga dapat memberikan gambaran seberapa berbahaya apabila sampai terjadi kerusakan pada masing-masing komponen. Peringkat *severity* terdiri dari skala 1-10 dengan nilai skala yang lebih tinggi menunjukkan dampak yang lebih berbahaya. Selanjutnya pada penilaian *Occurrence* dinilai dari aspek *Cause of Failure* karena penyebab terjadinya kerusakan memberikan pertanda tentang frekuensi kerusakan berdasarkan yang telah terjadi atau data histori. Peringkat *Occurrence* terdiri dari skala 1-10 dengan nilai skala yang lebih tinggi menunjukkan bahwa frekuensi kerusakan lebih sering terjadi. Dan yang terakhir pada penilaian *Detection* didapatkan dari aspek *Current Controls* karena pengendalian yang ada dapat menunjukkan bahwa seberapa besar kemungkinan potensi kerusakan dapat terdeteksi sebelum dapat menjadi permasalahan serius pada setiap komponen. Peringkat *Detection* terdiri dari skala 1-10 dengan nilai yang lebih rendah dapat menunjukkan kemungkinan potensi kerusakan yang lebih tinggi.

Hasil identifikasi perhitungan S, O, D selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus 2.1. Perhitungan ini dapat membantu menentukan prioritas dalam suatu tindakan perbaikan berdasarkan tingkat risiko yang telah diidentifikasi. Fokus utamanya terdapat pada komponen dengan nilai RPN tertinggi. Pengisian nilai S, O, D dilakukan oleh tiga responden yaitu *Jr. Assisten Officer* Teknik, kepala mekanik, dan pelaksana teknik. Adapun penilaian S, O, D untuk seluruh komponen yang tercantum dalam FMEA dapat dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4. 5 Kuesioner Responden 2

FMEA		Gantry Jib Crane 2																													
Nama		Muhammad Adan Saputra																													
Usia		28 Tahun																													
Jabatan		Kepala Mekanik																													
Lama bekerja		8 Tahun																													
No	Komponen	Severity										Occurrence										Detection									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Motor Gantry						✓										✓							✓							
2	Bogie Gantry			✓								✓													✓						
3	Open Gear Slewing			✓								✓											✓								
4	Gearbox hoist 1						✓							✓									✓								
5	Gearbox hoist 2						✓							✓									✓								
6	Gearbox slewing						✓							✓									✓								
7	Break slewing						✓							✓									✓								
8	Break waist						✓							✓									✓								
9	Boom system						✓					✓											✓								
10	Counter weight system				✓							✓											✓								
11	Drive						✓					✓														✓					
12	PLC						✓					✓														✓					
13	Wire Rope										✓			✓										✓							
14	Sheave block			✓								✓														✓					
15	Roda Gantry				✓							✓													✓						

Tabel 4. 6 Kuesioner Responden 3

FMEA		Gantry Jib Crane 2																													
Nama		Samsul Mualif																													
Usia		31 Tahun																													
Jabatan		Pelaksana Teknik																													
Lama bekerja		6 Tahun																													
No	Part	Severity										Occurrence										Detection									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Motor Gantry						✓										✓							✓							
2	Bogie Gantry			✓								✓													✓						
3	Open Gear Slewing			✓								✓											✓								
4	Gearbox hoist 1						✓							✓									✓								
5	Gearbox hoist 2						✓							✓									✓								
6	Gearbox slewing						✓							✓									✓								
7	Break slewing						✓							✓									✓								
8	Break waist						✓							✓									✓								
9	Boom system						✓					✓											✓								
10	Counter weight system				✓							✓											✓								
11	Drive						✓						✓													✓					
12	PLC						✓					✓													✓						
13	Wire Rope										✓			✓										✓							
14	Sheave block			✓								✓													✓						
15	Roda Gantry				✓							✓													✓						

Berdasarkan nilai S, O, D dari ketiga responden dilakukan perhitungan untuk mencari nilai rata-rata dari *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Untuk mendapatkan nilai rata-rata dilakukan perhitungan sebagai contoh pada komponen *motor gantry*, perhitungannya adalah $\frac{6+6+6}{3} = 6$ dimana nilai 3 didapatkan dari jumlah responden tersebut. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai dari RPN untuk masing-masing komponen alat berat. Perhitungan nilai RPN dilakukan dengan cara mengalikan dari nilai rata-rata S, O, D. sebagai contoh pada komponen *motor gantry*, perhitungannya adalah $6 \times 6 \times 1 = 36$. Hasil perhitungan nilai RPN pada semua komponen alat berat dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Nilai RPN GJC 2

<i>Part</i>	<i>Rata-rata Severity</i>	<i>Rata-rata Occurrence</i>	<i>Rata-rata Detection</i>	RPN
<i>Motor Gantry</i>	6	6	1	36
<i>Bogie Gantry</i>	3	1	3	9
<i>Open Gear Slewing</i>	3	1	1	3
<i>Gearbox hoist 1</i>	6	3	1	18
<i>Gearbox hoist 2</i>	6	3	1	18
<i>Gearbox slewing</i>	6	3	1	18
<i>Break slewing</i>	6	3	1	18
<i>Break waist</i>	6	3	1	18
<i>Boom system</i>	6	1	1	6
<i>Counter weight system</i>	4	1	1	4
<i>Drive</i>	6	1	5	30
<i>PLC</i>	6	1	5	30
<i>Wire Rope</i>	10	3	2	60
<i>Sheave block</i>	3	1	3	9
<i>Roda Gantry</i>	4	1	2,33	9,32
Total				286,32

Langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai risiko kritis, perhitungan nilai risiko kritis dilakukan untuk mengetahui komponen yang termasuk kedalam risiko kritis tersebut. Suatu komponen dikategorikan kritis jika komponen tersebut memiliki nilai RPN diatas nilai kritis. Nilai kritis RPN dapat ditentukan dengan mengetahui rata-rata nilai RPN. Rumus 2.2 digunakan untuk mengetahui nilai kritis RPN. Berikut adalah hasil dari perhitungan nilai kritis RPN:

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai kritis RPN} &= \frac{\text{Total nilai RPN}}{\text{Jumlah komponen}} \\
 &= \frac{286,32}{15} \\
 &= 19,09
 \end{aligned}$$

Dari hasil nilai kritis RPN Tabel 4.7, sehingga diketahui komponen kritis pada alat berat GJC 2 adalah *motor gantry* dengan nilai RPN 36, *drive* dengan nilai RPN 30, PLC dengan nilai RPN 30, dan *wire rope* dengan nilai RPN 60, karena telah melebihi nilai kritis RPN yaitu sebesar 19,09.

4.1.6 *Time to Failure (TTF)* dan *Time to Repair (TTR)* Komponen Kritis

Setelah komponen kritis ditentukan, selanjutnya yaitu menghitung TTF dan TTR. Waktu kerusakan atau TTF yaitu interval waktu kerusakan antara kerusakan awal yang telah diperbaiki hingga terjadi kerusakan lagi. Sedangkan waktu perbaikan kerusakan atau TTR yaitu periode perbaikan yang memungkinkan alat berat dapat berfungsi lagi.

a. *Motor Gantry*

Contoh perhitungan TTF dan TTR untuk kerusakan komponen *motor gantry* pada tanggal 12 Agustus 2023 sampai pada tanggal 22 Oktober 2023 sebagai berikut:

1. Selesai kerusakan pertama pada tanggal 12 Agustus 2023 pukul 12.00
2. Mulai kerusakan kedua pada tanggal 22 Oktober 2023 pukul 14.09
3. Selisih dari waktu akhir kerusakan pada tanggal 12 Agustus 2023 sampai waktu awal kerusakan 22 Oktober 2023 yaitu 71 Hari, 2 Jam, 9 Menit dengan perhitungan $71 \times 24 + 2,15 = 1706,15$ Jam. Dimana 24 didapatkan dari waktu kerja penuh dalam 1 hari dan 2,15 didapatkan dari 2 Jam, 9 menit pada waktu selisih.
4. Jumlah hari penuh tanpa hari kerusakan yaitu 70 hari, dan waktu operasional dalam satu hari penuh yaitu 24 Jam. Jadi waktu operasi dalam 70 hari yaitu $70 \times 24 = 1680$ Jam.
5. Jam pertama operasional pada tanggal 12 Agustus 2023 dari pukul 12.00 (waktu akhir kerusakan) hingga pukul 00.00 (waktu hari akhir) yaitu 12 Jam. Sehingga total hari pertama operasional yaitu 12 Jam.
6. Jam terakhir operasional pada tanggal 22 Oktober 2023 dari pukul 00.00 (waktu hari awal) hingga pukul 14.09 (waktu awal kerusakan) yaitu 14 Jam 9 Menit atau 14,15 Jam. Sehingga total hari terakhir operasional yaitu 14,15 Jam.

7. Sehingga TTF *motor gantry* pada tanggal 22 Oktober 2023 yaitu 12 (Jam operasional hari pertama) + 1680 (Total hari penuh tanpa kerusakan) + 14,15 (Jam operasional hari terakhir) = 1.706,15 Jam.
8. Pada tanggal 12 Agustus 2023 tidak memiliki waktu TTF karena tidak diketahui waktu akhir kerusakan pada hari sebelumnya.

Tabel 4.8 adalah kumpulan data perhitungan TTF dan TTR pada komponen *motor gantry*.

Tabel 4.8 Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Motor Gantry*

No	Tanggal	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTR (Jam)	TTF (Jam)
1	12/08/2023	11.50	12.00	0,17	-
2	22/10/2023	14.09	14.29	0,33	1.706,15
3	14/11/2023	05.00	05.47	0,78	542,52
4	25/12/2023	15.24	15.34	0,17	993,62
5	27/12/2023	09.38	09.48	0,17	42,07
6	04/02/2024	05.00	06.00	1	931,20
7	13/02/2024	07.53	08.42	0,83	217,88
8	19/03/2024	08.47	08.57	0,17	816,08
9	28/04/2024	03.57	04.12	0,25	955

b. *Drive*

Contoh perhitungan TTF dan TTR untuk kerusakan komponen *drive* pada tanggal 07 Agustus 2023 sampai pada tanggal 03 September 2023 sebagai berikut:

1. Selesai kerusakan pertama pada tanggal 07 Agustus 2023 pukul 02.52
2. Mulai kerusakan kedua pada tanggal 03 September 2023 pukul 09.02
3. Selisih waktu akhir kerusakan dari tanggal 07 Agustus 2023 sampai waktu awal kerusakan 03 September 2023 yaitu 27 Hari, 6 Jam, 10 Menit dengan perhitungan $27 \times 24 + 6,17 = 654,17$ Jam. Dimana 24 didapatkan dari waktu kerja penuh dalam 1 hari dan 6,17 didapatkan dari 6 Jam, 10 menit pada waktu selisih.
4. Jumlah hari penuh tanpa hari kerusakan yaitu 26 hari, dan waktu operasional dalam satu hari penuh yaitu 24 Jam. Jadi waktu operasional dalam 26 hari yaitu $26 \times 24 = 624$ Jam.
5. Jam operasional pada hari pertama 07 Agustus 2023 terdapat 21 Jam 8 menit atau 21,13 dari pukul 02.52 (waktu setelah perbaikan) hingga 00.00 (akhir hari). Sehingga hari pertama operasional $21,13 = 21,13$ Jam operasional.

6. Jam terakhir operasional pada tanggal 03 September 2023 dari pukul 00.00 (waktu awal hari) hingga 09.02 (waktu awal kerusakan) yaitu 9 Jam 2 Menit atau 9,03 Jam. Sehingga total waktu terakhir operasional yaitu 9,03 Jam.
7. Sehingga TTF *drive* pada tanggal 03 September 2023 yaitu 21,13 (Jam operasional hari pertama) + 624 (Total hari penuh tanpa kerusakan) + 7.03 (Jam operasional hari terakhir) = 654,16 Jam.
8. Pada tanggal 07 Agustus 2023 tidak memiliki waktu TTF karena tidak diketahui waktu akhir kerusakan pada hari sebelumnya.

Tabel 4.9 adalah kumpulan data perhitungan TTF dan TTR pada komponen *drive*.

Tabel 4.9 Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Drive*

No	Tanggal	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTR (Jam)	TTF (Jam)
1	07/08/2023	02.48	02.52	0,07	-
2	03/09/2023	09.02	09.17	0,25	654,16
3	15/09/2023	18.30	18.45	0,25	297,22
4	30/10/2023	10.55	11.05	0,17	1.072,17
5	05/12/2023	04.44	04.51	0,12	857,65
6	31/12/2023	04.24	04.28	0,07	623,55
7	02/02/2024	13.05	13.09	0,07	800,62
8	07/02/2024	20.55	21.10	0,25	127,77
9	23/02/2024	18.37	18.41	0,07	381,45
10	28/02/2024	23.55	23.59	0,07	125,23
11	14/03/2024	19.37	19.41	0,07	355,63
12	28/03/2024	10.39	10.54	0,25	326,97
13	12/04/2024	14.05	14.15	0,17	363,18

c. PLC

Contoh perhitungan TTF dan TTR untuk kerusakan komponen PLC pada tanggal 14 Agustus 2023 sampai pada tanggal 20 November 2023 sebagai berikut:

1. Selesai kerusakan pertama pada tanggal 14 Agustus 2023 pukul 22.33
2. Mulai kerusakan kedua pada tanggal 20 November 2023 pukul 21.40
3. Selisih waktu akhir kerusakan dari tanggal 14 Agustus 2023 sampai waktu awal kerusakan 20 November 2023 yaitu 98 Hari, 23 Jam, 7 Menit dengan perhitungan $8 \times 24 + 23,12 = 2.375,12$ Jam. Dimana 24 didapatkan dari waktu kerja penuh dalam 1 hari dan 23,12 didapatkan dari 23 Jam, 7 menit pada waktu selisih.

4. Jumlah hari penuh tanpa kerusakan yaitu 97 hari, dan waktu operasional dalam satu hari penuh yaitu 24 Jam. Jadi waktu operasional dalam 97 hari yaitu $97 \times 24 = 2.328$ Jam.
5. Jam operasional pada hari pertama 14 Agustus 2023 terdapat 1 Jam 37 menit atau 1,61 Jam dari pukul 22.23 (waktu setelah perbaikan) hingga 00.00 (akhir hari). Sehingga hari pertama operasional 1,61 Jam operasional.
6. Jam terakhir operasional pada tanggal 20 November 2023 dari pukul 00.00 (waktu awal hari) hingga 21.40 (waktu awal kerusakan) yaitu 21 Jam 40 Menit atau 21,67 Jam. Sehingga total waktu terakhir operasional yaitu 21,67 Jam.
7. Sehingga TTF PLC pada tanggal 20 November 2023 yaitu 1,61 (Jam operasional hari pertama) + 2.328 (Total hari penuh tanpa kerusakan) + 21,67 (Jam terakhir operasional) = 2.351,28 Jam.
8. Pada tanggal 14 Agustus 2023 tidak memiliki waktu TTF karena tidak diketahui waktu akhir kerusakan pada hari sebelumnya.

Tabel 4.10 adalah kumpulan data perhitungan TTF dan TTR pada komponen PLC.

Tabel 4. 10 Perhitungan TTF dan TTR Komponen PLC

No	Tanggal	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTR (Jam)	TTF (Jam)
1	14/08/2023	22.18	22.23	0,25	-
2	20/11/2023	21.40	23.00	1,33	2.351,28
3	27/01/2024	08.42	09.02	0,33	1.59370
4	05/02/2024	14.37	15.37	1,00	221,58
5	24/02/2024	01.12	01.42	0,50	441,58
6	27/04/2024	16.01	17.01	1,00	1.526,32

d. *Wire Rope*

Contoh perhitungan TTF dan TTR untuk kerusakan komponen *wire rope* pada tanggal 24 September 2023 sampai pada tanggal 29 November 2023 sebagai berikut:

1. Selesai kerusakan pertama pada tanggal 24 September 2023 pukul 15.15
2. Mulai kerusakan kedua pada tanggal 29 November 2023 pukul 14.00
3. Selisih waktu akhir kerusakan dari tanggal 24 September 2023 sampai waktu awal kerusakan 29 November 2023 yaitu 65 Hari, 22 Jam, 5 Menit

dengan perhitungan $65 \times 24 + 22,08 = 1582,08$ Jam. Dimana 24 didapatkan dari waktu kerja penuh dalam 1 hari dan 22,08 didapatkan dari 22 Jam, 5 menit pada waktu selisih.

4. Jumlah hari penuh tanpa hari kerusakan yaitu 64 hari, dan waktu operasional dalam satu hari penuh yaitu 24 Jam. Jadi waktu operasional dalam 64 hari yaitu $65 \times 24 = 1.560$ Jam.
5. Jam operasional pada hari pertama 24 September 2023 terdapat 8 Jam 5 menit atau 8,08 jam dari pukul 15.55 (waktu setelah perbaikan) hingga 00.00 (akhir hari). Sehingga hari pertama operasional yaitu 8,08.
6. Jam terakhir operasional pada tanggal 29 November 2023 dari pukul 00.00 (waktu awal hari) hingga 14.00 (waktu awal kerusakan) yaitu 14 Jam. Sehingga total waktu terakhir operasional yaitu 14 Jam.
7. Sehingga TTF *wire rope* pada tanggal 29 November 2023 yaitu 8,08 (Jam operasional hari pertama) + 1.560 (Total hari penuh tanpa kerusakan) + 14 (Jam terakhir operasional) = 1.582,08 Jam.
8. Pada tanggal 24 September 2023 tidak memiliki waktu TTF karena tidak diketahui waktu akhir kerusakan pada hari sebelumnya.

Tabel 4.11 adalah kumpulan data perhitungan TTF dan TTR pada komponen *wire rope*.

Tabel 4. 11 Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Wire Rope*

No	Tanggal	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTR (Jam)	TTF (Jam)
1	24/09/2023	15.15	15.55	0,67	-
2	29/11/2023	14.00	14.40	0,67	1.582,08
3	07/01/2024	16.12	16.37	0,42	937,53
4	21/02/2024	13.41	14.21	0,67	1.077,07
5	01/03/2024	09.00	17.00	7	210,65
6	02/03/2024	07.00	11.09	4,15	14

4.1.7 Uji *Goodness of Fit* TTF dan TTR Komponen Kritis

Setelah diketahui TTF dan TTR pada komponen kritis, selanjutnya yaitu menentukan jenis distribusi dengan melakukan suatu uji *goodness of fit*. Uji *goodness of fit* menggunakan *software* EasyFit 5.5 Profesional yang nantinya perolehan data tersebut dijadikan sebagai jenis distribusi yang mengacu pada nilai *Kolmogorov Smirnov*. *Kolmogorov Smirnov* merupakan uji statistik yang dapat

digunakan untuk menentukan kesesuaian distribusi suatu data terhadap distribusi teoritis. Sehingga hasil nilai statistik paling kecil menunjukkan kesesuaian yang lebih baik antara data dan distribusi teoritis.

a. Uji *goodness of fit* TTF

Tahapan dalam menggunakan *software* EasyFit 5.5 Profesional untuk uji *goodness of fit* sebagai berikut:

1. Membuka *software* EasyFit 5.5 Profesional.
2. Memasukkan seluruh data TTF ke dalam *software* EasyFit 5.5 Profesional.
3. Setelah seluruh data dimasukkan pilih menu *analyze*, lalu pilih *fit distribution* atau klik F9 pada *keyboard*.
4. Selanjutnya muncul *input data*, lalu pada kolom *available data table* pilih data yang akan digunakan lalu pindahkan ke dalam *sample data*.
5. Pada *data domain* pilih opsi *continuous* lalu klik *OK* dan data akan diproses.
6. Setelah data selesai diproses langkah terakhir pilih menu *goodness of fit* dan hasil jenis distribusi akan ditampilkan pada *worksheet software* EasyFit 5.5 Profesional.

Berikut adalah hasil dari uji *goodness of fit* TTF pada komponen *motor gantry*, *drive*, *PLC*, dan *wire rope*.

Tabel 4. 12 Hasil Uji *Goodness of Fit* TTF Komponen Kritis

No	Komponen	Distribution	Kolmogorov Smirnov	
			Statistic	Rank
1	Motor Gantry	Exponential	0,27585	3
		Lognormal	0,27729	4
		Normal	0,21176	1
		Weibull	0,2611	2
2	Drive	Exponential	0,28225	4
		Lognormal	0,15237	1
		Normal	0,23562	3
		Weibull	0,17995	2
3	PLC	Exponential	0,31179	3
		Lognormal	0,32664	4
		Normal	0,23279	1
		Weibull	0,30764	2
4	Wire Rope	Exponential	0,30674	3
		Lognormal	0,3187	4
		Normal	0,20583	1
		Weibull	0,27324	2

Bedasarkan hasil nilai *statistic* pada tabel 4.12 komponen *motor gantry* yang mendapatkan hasil nilai *statistic* terkecil dengan *ranking* pertama yaitu Normal dan nilai *statistic* 0,21176. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTF pada komponen *motor gantry* jenis distribusi Normal yang cocok untuk dilakukan uji data.

Pada komponen *drive* yang mendapatkan hasil nilai *statistic* terkecil dengan *ranking* pertama yaitu jenis distribusi Lognormal dan nilai *statistic* 0,15237. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTF pada komponen *drive* jenis distribusi Lognormal yang cocok untuk dilakukan uji data.

Pada komponen PLC yang mendapatkan hasil nilai *statistic* terkecil dengan *ranking* pertama yaitu jenis distribusi Normal dan nilai *statistic* 0,23279. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTF pada komponen PLC jenis distribusi Normal yang cocok untuk dilakukan uji data.

Pada komponen *wire rope* yang mendapatkan hasil nilai *statistic* dengan *ranking* pertama yaitu jenis distribusi Normal dan nilai *statistic* 0,20583. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTF pada komponen *wire rope* jenis distribusi Normal yang cocok untuk dilakukan uji data.

Berikut merupakan rekapitulasi hasil uji *goodness of fit* yang mendapatkan *ranking* pertama dari TTF dan TTR pada komponen *motor gantry*, *drive*, PLC dan *wire rope*.

b. Uji *goodness of fit* TTR

Berikut adalah hasil dari uji *goodness of fit* untuk TTR pada komponen *motor gantry*, *drive*, PLC, dan *wire rope*.

Tabel 4.13 Hasil Uji *Goodness of Fit* TTR Komponen Kritis

No	Komponen	Distribution	Kolmogorov Smirnov	
			Statistic	Rank
1	Motor Gantry	Exponential	0,32655	4
		Lognormal	0,26462	1
		Normal	0,28261	2
		Weibull	0,28313	3
2	Drive	Exponential	0,38371	4
		Lognormal	0,3055	3
		Normal	0,28156	2
		Weibull	0,24034	1
3	PLC	Exponential	0,28833	4
		Lognormal	0,28232	3
		Normal	0,2258	1
		Weibull	0,27484	2

No	Komponen	Distribution	Kolmogorov Smirnov	
			Statistic	Rank
4	Wire Rope	Exponential	0,41044	4
		Lognormal	0,38614	2
		Normal	0,38761	3
		Weibull	0,29884	1

Bedasarkan hasil nilai *statistic* pada tabel 4.13 komponen *motor gantry* yang mendapatkan hasil nilai *statistic* terkecil dengan *ranking* pertama yaitu Lognormal dan nilai *statistic* 0,26462. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTR pada komponen *motor gantry* jenis distribusi Lognormal yang cocok untuk dilakukan uji data.

Pada komponen *drive* yang mendapatkan hasil nilai *statistic* terkecil dengan *ranking* pertama yaitu jenis distribusi *Weibull* dan nilai *statistic* 0,24034. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTR pada komponen *drive* jenis distribusi *Weibull* yang cocok untuk dilakukan uji data.

Pada komponen PLC yang mendapatkan hasil nilai *statistic* terkecil dengan *ranking* pertama yaitu jenis distribusi Normal dan nilai *statistic* 0,2258. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTR pada komponen PLC jenis distribusi Normal yang cocok untuk dilakukan uji data.

Pada komponen *wire rope* yang mendapatkan hasil nilai *statistic* dengan *ranking* pertama yaitu jenis distribusi *Weibull* dan nilai *statistic* 0,29884. Sehingga hasil uji *goodness of fit* TTR pada komponen *wire rope* jenis distribusi *Weibull* yang cocok untuk dilakukan uji data.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Hasil Uji *Goodness of Fit* TTF dan TTR

TTF		
Part	Distribution	Statistic
Motor Gantry	Normal	0,21176
Drive	Lognormal	0,15237
PLC	Normal	0,23279
Wire Rope	Normal	0,20583
TTR		
Part	Distribution	Statistic
Motor Gantry	Lognormal	0,26462
Drive	Weibull	0,24034
PLC	Normal	0,2285
Wire Rope	Weibull	0,29884

4.1.8 Perhitungan Parameter TTF dan TTR Pada Komponen Kritis

Setelah selesai melakukan uji *goodness of fit*, selanjutnya adalah melakukan perhitungan parameter TTF dan TTR pada komponen kritis dengan menggunakan *Software EasyFit 5.5 Profesional*. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai parameter β , θ , λ , μ sesuai dari jenis distribusi yang sudah ditentukan.

a. Perhitungan Parameter TTF

Tahapan dalam menggunakan *software EasyFit 5.5 Profesional* untuk melakukan perhitungan parameter sebagai berikut:

1. Membuka *software EasyFit 5.5 Profesional*.
2. Memasukkan seluruh data TTF ke dalam *software EasyFit 5.5 Profesional*.
3. Setelah seluruh data dimasukkan pilih menu *analyze*, lalu pilih *fit distribution* atau klik F9 pada *keyboard*.
4. Selanjutnya muncul *input data*, lalu pada kolom *available data table* pilih data yang akan digunakan lalu pindahkan ke dalam *sample data*.
5. Pada *data domain* pilih opsi *continuous* lalu klik *OK* dan data akan diproses.
6. Setelah data selesai diproses langkah terakhir pilih menu *Summary* dan hasil parameter akan ditampilkan pada *worksheet software EasyFit 5.5 Profesional*.

Berikut adalah hasil dari perhitungan parameter untuk TTF pada komponen *motor gantry*, *drive*, *PLC*, *wire rope*.

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Parameter TTF

<i>Part</i>	<i>Distribution</i>	<i>Parameters</i>
<i>Motor Gantry</i>	Normal	$\sigma = 517,54$ $\mu = 775,57$
<i>Drive</i>	Lognormal	$\sigma = 0,66279$ $\mu = 6,0178$
PLC	Normal	$\sigma = 882,58$ $\mu = 1226,9$
<i>Wire Rope</i>	Normal	$\sigma = 645,38$ $\mu = 764,27$

Dari tabel 4.15 hasil dari perhitungan parameter TTF pada komponen *motor gantry* dengan jenis distribusi Normal dan menghasilkan parameter $\sigma = 517,54$ dan $\mu = 775,57$. Komponen PLC dengan jenis distribusi Normal dan menghasilkan parameter $\sigma = 882,58$ dan $\mu = 1226,9$. Komponen *wire rope* dengan jenis distribusi

Normal dan menghasilkan parameter $\sigma = 645,38$ dan $\mu = 764,27$. Distribusi Normal memberikan gambaran bahwa data yang diperoleh seimbang, penyebaran data yang simetris dan membentuk kurva lonceng. Pada komponen *drive* memiliki jenis distribusi Lognormal dan menghasilkan parameter $\sigma = 0,66279$ dan $\mu = 6,0178$. Distribusi Lognormal menggambarkan bahwa logaritma dari variabel acak berdistribusi normal.

b. Perhitungan Parameter TTR

Berikut adalah hasil dari perhitungan parameter untuk TTR pada komponen *motor gantry*, *drive*, PLC, *wire rope*.

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Parameter TTR

<i>Part</i>	<i>Distribution</i>	<i>Parameters</i>
<i>Motor Gantry</i>	Lognormal	$\sigma = 0,7193$ $\mu = 1,1131$
<i>Drive</i>	<i>Weibull</i>	$\alpha = 1,5418$ $\beta = 0,16176$
PLC	Normal	$\sigma = 0,43565$ $\mu = 0,735$
<i>Wire Rope</i>	<i>Weibull</i>	$\alpha = 0,78121$ $\beta = 1,5811$

Dari tabel 4.16 hasil dari perhitungan parameter TTF pada komponen *motor gantry* dengan jenis distribusi Lognormal dan menghasilkan parameter $\sigma = 0,7193$ dan $\mu = 1,1131$. Distribusi Lognormal menggambarkan bahwa logaritma dari variabel acak berdistribusi normal. Komponen *drive* dengan jenis distribusi *Weibull* dan menghasilkan parameter $\alpha = 1,5418$ dan $\beta = 0,16176$. Komponen *wire rope* dengan jenis distribusi *Weibull* dan menghasilkan parameter $\alpha = 0,78121$ dan $\beta = 1,5811$. Distribusi Weibull menggambarkan tentang kemungkinan umur hidup atau waktu sampai kegagalan dari suatu sistem, dengan bentuk distribusi yang fleksibel tergantung dari nilai parameter β . Komponen PLC dengan jenis distribusi Normal dan menghasilkan parameter parameter $\sigma = 0,43565$ dan $\mu = 0,735$. Distribusi Normal memberikan gambaran bahwa data yang diperoleh seimbang, penyebaran data yang simetris dan membentuk kurva lonceng.

4.1.9 Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

Setelah didapatkan parameter dengan jenis distribusi yang telah ditentukan selanjutnya adalah menghitung MTTF dan MTTR pada setiap komponen kritis

dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan. MTTF digunakan untuk menghitung rata-rata waktu suatu komponen hingga mengalami kerusakan. Sedangkan MTTR digunakan untuk menghitung rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen yang mengalami kerusakan. Berikut adalah perhitungan MTTF dan MTTR pada masing-masing komponen.

a. Perhitungan MTTF

Berikut adalah perhitungan MTTF pada komponen *motor gantry*, *drive*, PLC dan *wire rope*.

1. *Motor Gantry*

Jenis distribusi Normal:

$$MTTF = \mu$$

Nilai parameter:

$$\sigma = 517,54$$

$$\mu = 775,57$$

Jadi perhitungan nilai MTTF dari parameter yang diketahui:

$$MTTF = 775,57 \text{ Jam}$$

$$MTTF = 32 \text{ Hari}$$

Maka nilai MTTF pada komponen *motor gantry* yang berjenis distribusi Normal dengan parameter $\sigma = 517,54$ dan $\mu = 775,57$ yaitu 32 hari. Dikarenakan alat berat GJC aktif beroperasi sekitar 24 Jam dalam satu hari. 32 Hari didapatkan dari 775,57 Jam dibagi dengan waktu aktif beroperasi yaitu 24 Jam dan menghasilkan waktu 32,32 Hari, sehingga dibulatkan menjadi 32 Hari.

2. *Drive*

Jenis distribusi Lognormal:

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{s^2/2}$$

Nilai parameter:

$$\sigma = 0,66279$$

$$\mu = 6,0178$$

Jadi perhitungan nilai MTTF dari parameter yang diketahui:

$$t_{med} = e^{\mu}$$

$$t_{med} = e^{6,0178}$$

$$t_{med} \approx 410,67$$

dan

$$s = \sigma$$

Sehingga

$$MTTF = 410,67 \cdot e^{\left(\frac{0,66279^2}{2}\right)}$$

$$MTTF = 410,67 \cdot e^{\left(\frac{0,4392905841}{2}\right)}$$

$$MTTF = 410,67 \cdot e^{0,219645292}$$

$$MTTF \approx 410,67 \cdot 1,24563$$

$$MTTF \approx 511,54 \text{ Jam}$$

$$MTTF \approx 21 \text{ Hari}$$

Maka nilai MTTF pada komponen *drive* yang berjenis distribusi Lognormal dengan parameter $\sigma = 0,666279$ dan $\mu = 6,0178$ yaitu 21 Hari. Dikarenakan alat berat GJC aktif beroperasi sekitar 24 Jam dalam satu hari. 21 Hari didapatkan dari 511,54 Jam dibagi dengan waktu aktif beroperasi yaitu 24 Jam dan menghasilkan waktu 21,31 Hari, sehingga dibulatkan menjadi 21 Hari.

3. PLC

Jenis distribusi Normal:

$$MTTF = \mu$$

Nilai parameter:

$$\sigma = 882,58$$

$$\mu = 1226,9$$

Jadi perhitungan nilai MTTF dari parameter yang diketahui:

$$MTTF = 1226,9 \text{ Jam}$$

$$MTTF = 51 \text{ Hari}$$

Maka nilai MTTF pada komponen PLC yang berjenis distribusi Normal dengan parameter $\sigma = 882,58$ dan $\mu = 1226,9$ yaitu 51 hari. Dikarenakan alat berat GJC aktif beroperasi sekitar 24 Jam dalam satu hari. 51 Hari didapatkan dari 1226,9 Jam dibagi dengan waktu aktif beroperasi yaitu 24 Jam dan menghasilkan waktu 51,12 Hari, sehingga dibulatkan menjadi 51 Hari.

4. *Wire Rope*

Jenis distribusi Normal:

$$MTTF = \mu$$

Nilai parameter:

$$\sigma = 645,38$$

$$\mu = 764,27$$

Jadi perhitungan nilai MTTF dari parameter yang diketahui:

$$MTTF = 764,27 \text{ Jam}$$

$$MTTF = 31 \text{ Hari}$$

Maka nilai MTTF pada komponen *wire rope* yang berjenis distribusi Normal dengan parameter $\sigma = 645,38$ dan $\mu = 764,27$ yaitu 31 hari. Dikarenakan alat berat GJC aktif beroperasi sekitar 24 Jam dalam satu hari. 31 Hari didapatkan dari 764,27 Jam dibagi dengan waktu aktif beroperasi yaitu 24 Jam dan menghasilkan waktu 31,84 Hari, sehingga dibulatkan menjadi 31 Hari.

b. Perhitungan MTTR

Berikut adalah perhitungan MTTR pada komponen *motor gantry*, *drive*, PLC dan *wire rope*.

1. *Motor Gantry*

Jenis distribusi Lognormal:

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{s^2/2}$$

Nilai parameter:

$$\sigma = 0,7193$$

$$\mu = 1,1131$$

Jadi perhitungan nilai MTTR dari parameter yang diketahui:

$$t_{med} = e^{\mu}$$

$$t_{med} = e^{1,1131}$$

$$t_{med} \approx 3,04377$$

dan

$$s = \sigma$$

Sehingga

$$MTTR = 3,04377 \cdot e^{\left(\frac{0,7193^2}{2}\right)}$$

$$MTTR = 3,04377 \cdot e^{\left(\frac{0,51739249}{2}\right)}$$

$$MTTR = 3,04377 \cdot e^{0,258696245}$$

$$MTTR \approx 3,04377 \cdot 1,29524$$

$$MTTR \approx 4 \text{ Jam}$$

Maka nilai MTTR pada komponen *motor gantry* yang berjenis distribusi Lognormal dengan parameter $\sigma = 0,7193$ dan $\mu = 1,1131$ yaitu 3,94 Jam yang dibulatkan menjadi 4 Jam. Waktu ini digunakan untuk mengindikasikan perkiraan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen *motor gantry* setelah mengalami kerusakan.

2. Drive

Jenis distribusi *Weibull*:

$$MTTR = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

Nilai parameter:

$$\alpha = 1,5418$$

$$\beta = 0,16176$$

Menghitung fungsi *Gamma*:

$$\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = \left(1 + \frac{1}{1,5418}\right)$$

$$= 1 + 0,65 = 1,65$$

Nilai fungsi Gamma:

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

$$\Gamma = (1,65) = 0,90$$

Menghitung nilai MTTR berdasarkan fungsi *Gamma* yang didapat:

$$MTTR = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

$$MTTR = 0,16176 \times 0,90 = 0,15 \text{ Jam}$$

Maka nilai MTTR pada komponen *drive* yang berjenis distribusi *Weibull* dengan parameter $\alpha = 1,5418$ dan $\beta = 0,16176$ yaitu 0,15 Jam. Waktu ini digunakan untuk mengindikasikan perkiraan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen *drive* setelah mengalami kerusakan.

3. PLC

Jenis distribusi Normal:

$$MTTR = \mu$$

Nilai parameter:

$$\sigma = 0,43565$$

$$\mu = 0,735$$

Jadi perhitungan nilai MTTR dari parameter yang diketahui:

$$MTTR = 0,74 \text{ Jam}$$

Maka nilai MTTR pada komponen PLC yang berjenis distribusi Normal dengan parameter $\sigma = 0,43565$ dan $\mu = 0,735$ yaitu 0,74 Jam. Waktu ini digunakan untuk mengindikasikan perkiraan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen PLC setelah mengalami kerusakan.

4. Wire Rope

Jenis distribusi *Weibull*:

$$MTTR = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

Nilai parameter:

$$\alpha = 0,78121$$

$$\beta = 1,5811$$

Menghitung fungsi *Gamma*:

$$\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = \left(1 + \frac{1}{0,78121}\right)$$

$$= 1 + 1,28 = 2,28$$

Nilai fungsi *Gamma*:

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

$$\Gamma = (2,28) = 1,15$$

Menghitung nilai MTTR berdasarkan fungsi *Gamma* yang didapat:

$$MTTR = \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

$$MTTR = 1,5811 \times 1,15 = 1,82 \text{ Jam}$$

Maka nilai MTTR pada komponen *wire rope* yang berjenis distribusi *Weibull* dengan parameter $\alpha = 0,78121$ dan $\beta = 1,5811$ yaitu 1,82 Jam. Waktu ini digunakan untuk mengindikasikan perkiraan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen *wire rope* setelah mengalami kerusakan.

4.1.10 Perhitungan Interval Waktu Perawatan Optimal

Langkah selanjutnya adalah perhitungan interval waktu perawatan pada setiap komponen kritis. Perhitungan interval waktu perawatan digunakan untuk mengetahui waktu optimal perawatan dan dapat mencegah terjadinya kerusakan secara mendadak pada komponen *motor gantry*, *drive*, PLC, dan *wire rope*. Dasar yang digunakan untuk perhitungan interval waktu perawatan yaitu dari hasil analisis nilai MTTF dan MTTR yang telah didapatkan sebelumnya. Selain untuk mencegah terjadinya kerusakan yang mendadak, penjadwalan perawatan yang tepat juga dapat mengurangi risiko kerusakan dan dapat memastikan kegiatan bongkar muat barang di pelabuhan menjadi lebih lancar dan efisien. Berikut merupakan perhitungan interval waktu perawatan pada masing-masing komponen kritis.

1. *Motor Gantry*

a. Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (*t*)

1) Mementukan rata-rata hari kerja per bulan:

Berdasarkan data jam kerja alat berat, untuk menghitung rata-rata hari kerja per bulan dalam periode 12 bulan, dan jumlah total hari kerja 366 hari dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{\text{Jumlah total hari kerja}}{\text{Jumlah bulan}}$$

Sehingga:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{366 \text{ Hari}}{12 \text{ Bulan}} = 30,50 \text{ Hari per bulan}$$

2) Menentukan jam kerja dalam 1 hari:

Dari hasil observasi dan wawancara jam kerja alat berat GJC 2 dalam 1 hari yaitu 24 Jam.

3) Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (t):

Dari hasil perhitungan, diketahui yaitu rata-rata hari kerja per bulan adalah 30,50 hari per bulan, dan jam kerja dalam 1 hari adalah 24 Jam. Perhitungan jam kerja per bulan (t), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \text{Rata - rata hari kerja per bulan} \times \text{Jam kerja dalam 1 hari}$$

Sehingga:

$$t = 30,50 \text{ Hari} \times 24 \text{ Jam} = 732 \text{ Jam per bulan}$$

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Perhitungan rata-rata tersebut bertujuan supaya dapat mengetahui kapasitas kerja alat berat per bulan.

b. Menentukan jumlah kerusakan

1) Jumlah kerusakan selama 12 bulan:

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen *motor gantry* terjadi kerusakan sebanyak 9 kali dalam 12 bulan.

c. Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

1) Menentukan MTTR:

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR didapatkan nilai MTTR *motor gantry* yaitu 4 Jam. Hasil nilai MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu komponen setelah terjadinya kegagalan hingga dapat kembali digunakan.

2) Menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja:

Rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi perbaikan per jam kerja ($\frac{1}{\mu}$), menunjukkan seberapa sering perbaikan terjadi dalam satu jam kerja. Untuk menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{MTTR}{\text{Rata - rata jam kerja perbulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{4 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,005$$

Didapatkan 0,005 yaitu hasil frekuensi perbaikan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa perbaikan akan dilakukan.

3) Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

Untuk mendapatkan nilai μ , dapat diambil kebalikan dari frekuensi perbaikan per jam kerja.

$$\text{laju rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu}\right)}$$

Maka:

$$\text{laju rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{(0,005)\text{Jam}} = 200 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata perbaikan sebesar 200 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua perbaikan berturut-turut yaitu sekitar 200 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen *motor gantry* dapat diperkirakan beroperasi sekitar 200 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

d. Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (i)

1) Menentukan waktu untuk 1 kali pemeriksaan:

Berdasarkan hasil wawancara kepada kepala mekanik, bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan komponen *motor gantry* dalam satu kali pemeriksaan memerlukan waktu sekitar 0,75 Jam.

2) Menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja:

Rata-rata kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi pemeriksaan per jam kerja $\left(\frac{1}{i}\right)$, menunjukkan seberapa sering pemeriksaan terjadi dalam satu jam kerja.

Untuk menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{\text{Rata - rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{0,75 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,001$$

Diketahui 0,001 yaitu hasil frekuensi pemeriksaan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa pemeriksaan akan dilakukan.

3) Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (i)

Untuk mendapatkan nilai i , dapat diambil kebalikan dari frekuensi pemeriksaan per jam kerja.

$$\text{laju rata-rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{\left(\frac{1}{i}\right)}$$

Maka:

$$\text{Laju rata-rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{0,001 \text{ Jam}} = 1.000 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata pemeriksaan sebesar 1.000 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua pemeriksaan berturut-turut yaitu sekitar 1.000 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen *motor gantry* dapat diperkirakan beroperasi sekitar 1.000 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

e. Menghitung rata-rata kerusakan per bulan (k)

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen *motor gantry* terjadi kerusakan sebanyak 9 kali dalam 12 bulan. Untuk menghitung rata-rata kerusakan *motor gantry* per bulan (k), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(k) = \frac{\text{Jumlah kerusakan selama 12 bulan}}{\text{Jumlah periode}}$$

Maka:

$$(k) = \frac{9 \text{ kali}}{12 \text{ bulan}} = 0,75 \text{ kali kerusakan}$$

Diketahui rata-rata kerusakan *motor gantry* yaitu 0,75 kali kerusakan per bulan.

f. Menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n)

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui rata-rata kerusakan per bulan (k) yaitu 0,75 kali, laju rata-rata pemeriksaan (i) yaitu 1.000 Jam, dan laju rata-rata

perbaikan (μ) yaitu 200 Jam. Dalam menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n) pada komponen *motor gantry* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(n) = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

Maka:

$$(n) = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1.000}{200}} = 1,936 \text{ kali pemeriksaan}$$

Diketahui pemeriksaan pada komponen *motor gantry* perlu dilakukan pemeriksaan sekitar 1,936 kali pemeriksaan per bulan.

g. Interval waktu pemeriksaan

Dari hasil perhitungan, diketahui rata-rata jam kerja per bulan (t) yaitu 732 jam, dan frekuensi pemeriksaan per bulan (n) yaitu 1,936 kali. Untuk melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *motor gantry* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{t}{n}$$

Maka:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{732 \text{ Jam}}{1,936 \text{ kali}} = 377 \text{ Jam} = 16 \text{ hari}$$

Jadi diketahui interval waktu perawatan setelah dilakukan perhitungan pemeriksaan pada komponen *motor gantry* dilakukan setiap 377 Jam atau sekitar 16 Hari dikarenakan alat berat GJC 2 beroperasi 24 Jam dalam 1 hari. Dengan perhitungan 377 Jam dibagi dengan 24 Jam kerja alat berat GJC 2 dan mendapatkan hasil sekitar 16 Hari untuk melakukan penjadwalan pemeriksaan pada komponen *motor gantry*.

2. *Drive*

a. Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (*t*)

- 1) Mementukan rata-rata hari kerja per bulan:

Berdasarkan data jam kerja alat berat, untuk menghitung rata-rata hari kerja per bulan dalam periode 12 bulan, dan jumlah total hari kerja 366 hari dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{\text{Jumlah total hari kerja}}{\text{Jumlah bulan}}$$

Sehingga:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{366 \text{ Hari}}{12 \text{ Bulan}} = 30,50 \text{ Hari per bulan}$$

- 2) Menentukan jam kerja dalam 1 hari:

Dari hasil observasi dan wawancara jam kerja alat berat GJC 2 dalam 1 hari yaitu 24 Jam.

- 3) Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (*t*):

Dari hasil perhitungan, diketahui yaitu rata-rata hari kerja per bulan adalah 30,50 hari per bulan, dan jam kerja dalam 1 hari adalah 24 Jam. Perhitungan jam kerja per bulan (*t*), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \text{Rata - rata hari kerja per bulan} \times \text{Jam kerja dalam 1 hari}$$

Sehingga:

$$t = 30,50 \text{ Hari} \times 24 \text{ Jam} = 732 \text{ Jam per bulan}$$

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Perhitungan rata-rata tersebut bertujuan supaya dapat mengetahui kapasitas kerja alat berat per bulan.

b. Menentukan jumlah kerusakan

- 1) Jumlah kerusakan selama 12 bulan:

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen *drive* terjadi kerusakan sebanyak 13 kali dalam 12 bulan.

c. Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

1) Menentukan MTTR:

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR didapatkan nilai MTTR *drive* yaitu 0,15 Jam. Hasil nilai MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu komponen setelah terjadinya kegagalan hingga dapat kembali digunakan.

2. Menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja:

Rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi perbaikan per jam kerja ($\frac{1}{\mu}$), menunjukkan seberapa sering perbaikan terjadi dalam satu jam kerja.

Untuk menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{MTTR}{Rata - rata \text{ jam kerja perbulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{0,15 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,0002 \text{ Jam}$$

Didapatkan 0,0002 yaitu hasil frekuensi perbaikan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa perbaikan akan dilakukan.

3. Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

Untuk mendapatkan nilai μ , dapat diambil kebalikan dari frekuensi perbaikan per jam kerja.

$$laju \text{ rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu}\right)}$$

Maka:

$$laju \text{ rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1 \text{ Jam}}{(0,0002) \text{ Jam}} = 5.000 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata perbaikan sebesar 5.000 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua perbaikan berturut-turut yaitu sekitar 5.000 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen *drive* dapat diperkirakan beroperasi sekitar 5.000 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

d. Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (i)

- 1) Menentukan waktu untuk 1 kali pemeriksaan:

Berdasarkan hasil wawancara kepada kepala mekanik, bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan komponen *drive* dalam satu kali pemeriksaan memerlukan waktu sekitar 0,50 Jam.

- 2) Menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja:

Rata-rata kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi pemeriksaan per jam kerja $\left(\frac{1}{i}\right)$, menunjukkan seberapa sering pemeriksaan terjadi dalam satu jam kerja.

Untuk menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{\text{Rata - rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{0,50 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,0007 \text{ Jam}$$

Diketahui 0,0007 yaitu hasil frekuensi pemeriksaan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa pemeriksaan akan dilakukan

- 3) Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (i)

Untuk mendapatkan nilai i , dapat diambil kebalikan dari frekuensi pemeriksaan per jam kerja.

$$\text{laju rata - rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{\left(\frac{1}{i}\right)}$$

Maka:

$$\text{Laju rata - rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{0,0007} = 1.429 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata pemeriksaan sebesar 1.429 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua pemeriksaan berturut-turut yaitu sekitar 1.429 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen *drive* dapat diperkirakan beroperasi sekitar 1.429 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

e. Menghitung rata-rata kerusakan per bulan (k)

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen *drive* terjadi kerusakan sebanyak 13 kali dalam 12 bulan. Untuk menghitung rata-rata kerusakan komponen *drive* per bulan (k), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(k) = \frac{\text{Jumlah kerusakan selama 12 bulan}}{\text{Jumlah periode}}$$

Maka:

$$(k) = \frac{13 \text{ kali}}{12 \text{ bulan}} = 1,08 \text{ kali kerusakan}$$

Diketahui rata-rata kerusakan komponen *drive* yaitu 1,08 kali kerusakan per bulan.

f. Menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n)

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui rata-rata kerusakan per bulan (k) yaitu 1.08 kali, laju rata-rata pemeriksaan (i) yaitu 1.429 Jam, dan laju rata-rata perbaikan (μ) yaitu 5.000 Jam. Dalam menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n) pada komponen *drive* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(n) = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

Maka:

$$(n) = \sqrt{\frac{1,08 \cdot 1.429}{5.000}} = 0,5555 \text{ kali pemeriksaan}$$

Diketahui pemeriksaan pada komponen *drive* perlu dilakukan sekitar 0,5555 kali per bulan.

g. Interval waktu pemeriksaan

Dari hasil perhitungan, diketahui rata-rata jam kerja per bulan (t) yaitu 732 jam, dan frekuensi pemeriksaan per bulan (n) yaitu 0,5555 kali. Untuk melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *drive* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{t}{n}$$

Maka:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{732 \text{ Jam}}{0,5555 \text{ kali}} = 1.318 \text{ Jam} = 55 \text{ hari}$$

Jadi diketahui interval waktu perawatan setelah dilakukan perhitungan pemeriksaan pada komponen *drive* dilakukan setiap 1.318 Jam atau sekitar 55 Hari dikarenakan alat berat GJC 2 beroperasi 24 Jam dalam 1 hari. Dengan perhitungan 1.318 Jam dibagi dengan 24 Jam kerja alat berat GJC 2 dan mendapatkan hasil sekitar 54,91 hari yang dibulatkan menjadi 55 Hari untuk melakukan penjadwalan pemeriksaan pada komponen *drive*.

3. PLC

a. Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (t)

1) Mementukan rata-rata hari kerja per bulan:

Berdasarkan data jam kerja alat berat, untuk menghitung rata-rata hari kerja per bulan dalam periode 12 bulan, dan jumlah total hari kerja 366 hari dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{\text{Jumlah total hari kerja}}{\text{Jumlah bulan}}$$

Sehingga:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{366 \text{ Hari}}{12 \text{ Bulan}} = 30,50 \text{ Hari per bulan}$$

2) Menentukan jam kerja dalam 1 hari:

Dari hasil observasi dan wawancara jam kerja alat berat GJC 2 dalam 1 hari yaitu 24 Jam.

3) Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (t):

Dari hasil perhitungan, diketahui yaitu rata-rata hari kerja per bulan adalah 30,50 hari per bulan, dan jam kerja dalam 1 hari adalah 24 Jam. Perhitungan jam kerja per bulan (t), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \text{Rata - rata hari kerja per bulan} \times \text{Jam kerja dalam 1 hari}$$

Sehingga:

$$t = 30,50 \text{ Hari} \times 24 \text{ Jam} = 732 \text{ Jam per bulan}$$

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Perhitungan rata-rata tersebut bertujuan supaya dapat mengetahui kapasitas kerja alat berat per bulan.

b. Menentukan jumlah kerusakan

- 1) Jumlah kerusakan selama 12 bulan:

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen PLC terjadi kerusakan sebanyak 6 kali dalam 12 bulan.

c. Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

- 1) Menentukan MTTR:

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR didapatkan nilai MTTR PLC yaitu 0,74 Jam. Hasil nilai MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu komponen setelah terjadinya kegagalan hingga dapat kembali digunakan.

- 2) Menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja:

Rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi perbaikan per jam kerja ($\frac{1}{\mu}$), menunjukkan seberapa sering perbaikan terjadi dalam satu jam kerja. Untuk menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{MTTR}{\text{Rata - rata jam kerja perbulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{0,74 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,001 \text{ Jam}$$

Didapatkan 0,001 Jam yaitu hasil frekuensi perbaikan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa perbaikan akan dilakukan.

- 3) Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

Untuk mendapatkan nilai μ , dapat diambil kebalikan dari frekuensi perbaikan per jam kerja.

$$\text{laju rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu}\right)}$$

Maka:

$$\text{laju rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{(0,001) \text{ Jam}} = 1.000 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata perbaikan sebesar 1.000 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua perbaikan berturut-turut yaitu sekitar 1.000 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen PLC dapat diperkirakan beroperasi sekitar 1.000 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

d. Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (*i*)

- 1) Menentukan waktu untuk 1 kali pemeriksaan:

Berdasarkan hasil wawancara kepada kepala mekanik, bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan komponen PLC dalam satu kali pemeriksaan memerlukan waktu sekitar 2 Jam.

- 2) Menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja:

Rata-rata kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi pemeriksaan per jam kerja $\left(\frac{1}{i}\right)$, menunjukkan seberapa sering pemeriksaan terjadi dalam satu jam kerja. Untuk menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{\text{Rata - rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{2 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,003 \text{ Jam}$$

Diketahui 0,003 Jam yaitu hasil frekuensi pemeriksaan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa pemeriksaan akan dilakukan.

- 3) Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (*i*)

Untuk mendapatkan nilai *i*, dapat diambil kebalikan dari frekuensi pemeriksaan per jam kerja.

$$\text{laju rata - rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{\left(\frac{1}{i}\right)}$$

Maka:

$$\text{Laju rata – rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{0,003} = 333,333 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata pemeriksaan sebesar 333,333 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua pemeriksaan berturut-turut yaitu sekitar 333,333 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen PLC dapat diperkirakan beroperasi sekitar 333,333 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

e. Menghitung rata-rata kerusakan per bulan (k)

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen PLC terjadi kerusakan sebanyak 6 kali dalam 12 bulan. Untuk menghitung rata-rata kerusakan komponen PLC per bulan (k), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(k) = \frac{\text{Jumlah kerusakan selama 12 bulan}}{\text{Jumlah periode}}$$

Maka:

$$(k) = \frac{6 \text{ kali}}{12 \text{ bulan}} = 0,50 \text{ kali kerusakan}$$

Diketahui rata-rata kerusakan komponen PLC yaitu 0,50 kali kerusakan per bulan.

f. Menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n)

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui rata-rata kerusakan per bulan (k) yaitu 0,50 kali, laju rata-rata pemeriksaan (i) yaitu 333,333 Jam, dan laju rata-rata perbaikan (μ) yaitu 1.000 Jam. Dalam menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n) pada komponen PLC dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(n) = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

Maka:

$$(n) = \sqrt{\frac{0,50 \cdot 333,333}{1.000}} = 0,4082 \text{ kali pemeriksaan}$$

Diketahui pemeriksaan pada komponen PLC perlu dilakukan sekitar 0,4082 kali pemeriksaan per bulan.

g. Interval waktu pemeriksaan

Dari hasil perhitungan, diketahui rata-rata jam kerja per bulan (t) yaitu 732 jam, dan frekuensi pemeriksaan per bulan (n) yaitu 0,4082 kali. Untuk melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *drive* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{t}{n}$$

Maka:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{732 \text{ Jam}}{0,4082 \text{ kali}} = 1.793 \text{ Jam} = 75 \text{ hari}$$

Jadi diketahui interval waktu perawatan setelah dilakukan perhitungan pemeriksaan pada komponen PLC dilakukan setiap 1.793 Jam atau sekitar 75 Hari dikarenakan alat berat GJC 2 beroperasi 24 Jam dalam 1 hari. Dengan perhitungan 1.793 Jam dibagi dengan 24 Jam kerja alat berat GJC 2 dan mendapatkan hasil sekitar 74,70 hari yang dibulatkan menjadi 75 Hari untuk melakukan penjadwalan pemeriksaan pada komponen PLC.

4. Wire Rope

a. Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (t)

- 1) Mementukan rata-rata hari kerja per bulan:

Berdasarkan data jam kerja alat berat, untuk menghitung rata-rata hari kerja per bulan dalam periode 12 bulan, dan jumlah total hari kerja 366 hari dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{\text{Jumlah total hari kerja}}{\text{Jumlah bulan}}$$

Sehingga:

$$\text{Rata - rata hari kerja per bulan} = \frac{366 \text{ Hari}}{12 \text{ Bulan}} = 30,50 \text{ Hari per bulan}$$

- 2) Menentukan jam kerja dalam 1 hari:

Dari hasil observasi dan wawancara jam kerja alat berat GJC 2 dalam 1 hari yaitu 24 Jam.

3) Menghitung rata-rata jam kerja per bulan (t):

Dari hasil perhitungan, diketahui yaitu rata-rata hari kerja per bulan adalah 30,50 hari per bulan, dan jam kerja dalam 1 hari adalah 24 Jam. Perhitungan jam kerja per bulan (t), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \text{Rata - rata hari kerja per bulan} \times \text{Jam kerja dalam 1 hari}$$

Sehingga:

$$t = 30,50 \text{ Hari} \times 24 \text{ Jam} = 732 \text{ Jam per bulan}$$

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Perhitungan rata-rata tersebut bertujuan supaya dapat mengetahui kapasitas kerja alat berat per bulan.

b. Menentukan jumlah kerusakan

1) Jumlah kerusakan selama 12 bulan:

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen *wire rope* terjadi kerusakan sebanyak 6 kali dalam 12 bulan.

c. Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

1) Menentukan MTTR:

Berdasarkan hasil perhitungan MTTR didapatkan nilai MTTR *drive* yaitu 1,82 Jam. Hasil nilai MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu komponen setelah terjadinya kegagalan hingga dapat kembali digunakan.

2) Menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja:

Rata-rata jam kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi perbaikan per jam kerja ($\frac{1}{\mu}$), menunjukkan seberapa sering perbaikan terjadi dalam satu jam kerja.

Untuk menghitung frekuensi perbaikan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{MTTR}{\text{Rata - rata jam kerja perbulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) = \frac{1,82 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,002 \text{ Jam}$$

Didapatkan 0,002 Jam yaitu hasil frekuensi perbaikan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa perbaikan akan dilakukan.

3) Menghitung laju rata-rata perbaikan (μ)

Untuk mendapatkan nilai μ , dapat diambil kebalikan dari frekuensi perbaikan per jam kerja.

$$\text{laju rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu}\right)}$$

Maka:

$$\text{laju rata - rata perbaikan } (\mu) = \frac{1}{(0,002) \text{ Jam}} = 500 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata perbaikan sebesar 500 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua perbaikan berturut-turut yaitu sekitar 500 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen *wire rope* dapat diperkirakan beroperasi sekitar 500 Jam sebelum memerlukan perbaikan kembali.

d. Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (i)

1) Menentukan waktu untuk 1 kali pemeriksaan:

Berdasarkan hasil wawancara kepada kepala mekanik, bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemeriksaan komponen *wire rope* dalam satu kali pemeriksaan memerlukan waktu sekitar 0,75 Jam.

2) Menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja:

Rata-rata kerja per bulan yaitu 732 Jam. Frekuensi pemeriksaan per jam kerja $\left(\frac{1}{i}\right)$, menunjukkan seberapa sering pemeriksaan terjadi dalam satu jam kerja.

Untuk menghitung frekuensi pemeriksaan per jam kerja, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{\text{Rata - rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{Rata - rata jam kerja per bulan}}$$

Maka:

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{0,75 \text{ Jam}}{732 \text{ Jam}} = 0,001 \text{ Jam}$$

Diketahui 0,001 Jam yaitu hasil frekuensi pemeriksaan per jam kerja yang dapat kemungkinan bahwa pemeriksaan akan dilakukan.

3) Menghitung laju rata-rata pemeriksaan (i)

Untuk mendapatkan nilai i , dapat diambil kebalikan dari frekuensi pemeriksaan per jam kerja.

$$\text{laju rata-rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{\left(\frac{1}{i}\right)}$$

Maka:

$$\text{Laju rata-rata pemeriksaan } (i) = \frac{1}{0,001 \text{ Jam}} = 1.000 \text{ Jam}$$

Diketahui laju rata-rata pemeriksaan sebesar 1.000 Jam, hal ini menentukan bahwa rata-rata waktu antara dua pemeriksaan berturut-turut yaitu sekitar 1.000 Jam. Sehingga setelah satu perbaikan selesai pada komponen *wire rope* dapat diperkirakan beroperasi sekitar 1.000 Jam sebelum memerlukan perbaikan Kembali.

e. Menghitung rata-rata kerusakan per bulan (k)

Data histori alat berat GJC 2 pada komponen *wire rope* terjadi kerusakan sebanyak 16 kali dalam 12 bulan. Untuk menghitung rata-rata kerusakan komponen *wire rope* per bulan (k), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(k) = \frac{\text{Jumlah kerusakan selama 12 bulan}}{\text{Jumlah periode}}$$

Maka:

$$(k) = \frac{6 \text{ kali}}{12 \text{ bulan}} = 0,50 \text{ kali kerusakan}$$

Diketahui rata-rata kerusakan komponen *wire rope* yaitu 0,50 kerusakan per bulan.

f. Menghitung frekuensi pemeriksaan per bulan (n)

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui rata-rata kerusakan per bulan (k) yaitu 0,50 kali, laju rata-rata pemeriksaan (i) yaitu 1.000 Jam, dan laju rata-rata perbaikan (μ) yaitu 500 Jam. Dalam menghitung frekuensi pemeriksaan per

bulan (n) pada komponen *wire rope* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(n) = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}}$$

Maka:

$$(n) = \sqrt{\frac{0,50 \cdot 1.000}{500}} = 1 \text{ kali pemeriksaan}$$

Diketahui pemeriksaan pada komponen *wire rope* perlu dilakukan sekitar 1 kali per bulan.

g. Interval waktu pemeriksaan

Dari hasil perhitungan, diketahui rata-rata jam kerja per bulan (t) yaitu 732 jam, dan frekuensi pemeriksaan per bulan (n) yaitu 2 kali. Untuk melakukan perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *wire rope* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{t}{n}$$

Maka:

$$\text{Interval waktu pemeriksaan} = \frac{732 \text{ Jam}}{1 \text{ kali}} = 732 \text{ Jam} = 31 \text{ hari}$$

Jadi diketahui interval waktu perawatan setelah dilakukan perhitungan pemeriksaan pada komponen *wire rope* dilakukan setiap 732 Jam atau sekitar 31 Hari dikarenakan alat berat GJC 2 beroperasi 24 Jam dalam 1 hari. Dengan perhitungan 732 Jam dibagi dengan 24 Jam kerja alat berat GJC 2 dan mendapatkan hasil sekitar 30,5 hari yang dibulatkan menjadi 31 Hari untuk melakukan penjadwalan pemeriksaan pada komponen *wire rope*.

Berikut adalah rekapitulasi dari hasil perhitungan interval waktu perawatan optimal pada komponen kritis.

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Interval Waktu Perawatan

Perhitungan	Komponen			
	<i>Motor Gantry</i>	<i>Drive</i>	<i>PLC</i>	<i>Wire Rope</i>
Rata-rata jam kerja per bulan (t)	732 Jam	732 Jam	732 Jam	732 Jam
Jumlah kerusakan	9 kali per 12 bulan	13 kali per 12 bulan	6 kali per 12 bulan	6 kali per 12 bulan

Part	Function	Failue Mode	Critically Analysis							Pemilihan Tindakan
			1	2	3	4	5	6	7	
PLC	Menerima dan memproses data dari berbagai sensor yang terpasang pada <i>crane</i>	Kerusakan fisik pada komponen PLC, seperti CPU, modul I/O, atau koneksi listrik	Y	N	Y	N	Y	Y	N	CD/FF
Wire Rope	Untuk mengangkat dan menurunkan beban	Mengalami patah atau putus akibat kelebihan beban	Y	N	Y	N	N	-	N	TD
		Mengalami kelelahan material seiring waktu								

Dari data Tabel 4.18 mengenai pemilihan tindakan perawatan pada masing-masing komponen kritis alat berat GJC 2 dapat disimpulkan sebagai berikut.

a. Motor Gantry

1. Apakah komponen *motor gantry* memiliki hubungan dengan kerusakan dan reliabilitas usia?

“Yes”

komponen *motor gantry* memiliki hubungan antara kerusakan dan reliabilitas usia, karena komponen *motor gantry* merupakan sumber tenaga utama yang menggerakkan fungsi perpindahan alat berat GJC 2. Kerusakan pada komponen *motor gantry* dapat mengurangi reliabilitasnya dan dapat memperpendek umur operasional alat berat GJC 2.

2. Apakah TD (*Time Directed*) dapat dilakukan?

“Yes”

Komponen *motor gantry* dapat dilakukan sebagai dari program pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan dan memperpanjang umur alat berat GJC 2. Perawatan TD pada komponen *motor gantry* meliputi pemeriksaan rutin, pembersihan, pelumasan pada bagian yang berputar seperti pada bagian bearing.

3. Apakah CD (*Condition Directed*) dapat dilakukan?

“Yes”

Komponen *motor gantry* dilakukan tindakan perawatan berdasarkan kondisi aktual bukan berdasarkan waktu tertentu. Pada komponen *motor gantry* tindakan CD dapat dilakukan berupa pemeriksaan rutin seperti pengukuran ketebalan tali kawat, pemeriksaan kondisi pelumasan.

4. Apakah masuk dalam kategori D (*Hidden Failure*)?

“Yes”

Komponen *motor gantry* termasuk kedalam *Hidden Failure* karena alat berat GJC 2 memiliki 16 *motor gantry* sehingga apabila satu komponen *motor gantry* mengalami kerusakan sangat sulit terdeteksi apabila tidak dilakukan inspeksi rutin.

5. Apakah FF (*Finding Failure*) dapat dilakukan?

“Yes”

FF pada Komponen *motor gantry* dapat dilakukan secara efektif karena kerusakan pada komponen *motor gantry* tidak dapat terdeteksi sehingga perlu dilakukan perawatan secara rutin.

6. Apakah ada tindakan lain yang dipilih efektif?

“No”

Pemilihan tindakan lain yang lebih efektif tidak ada karena komponen *motor gantry* sangat sulit dideteksi sehingga sangat diperlukan inspeksi secara rutin untuk mengetahui kerusakan pada komponen tersebut.

7. Dapatkah desain dari modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?

“No”

Modifikasi desain tidak dapat digunakan karena komponen *motor gantry* sudah terstandarisasi dan sesuai dengan penggunaan pada jenis *crane* tersebut. Apabila melakukan modifikasi pada komponen *motor gantry* sangat sulit dan memerlukan pengujian tambahan yang signifikan.

8. Pemilihan tindakan?

“CD/FF”

Pemilihan tindakan CD dan FF pada komponen *motor gantry* berdasarkan dari karakteristik kegagalan yang sulit diprediksi secara waktu dan terdapat potensi kegagalan yang tersembunyi. Pemilihan tindakan CD memungkinkan perawatan berdasarkan kondisi nyata untuk mendeteksi kerusakan lebih cepat. Sedangkan pemilihan tindakan FF untuk memastikan komponen *motor gantry* terdeteksi kerusakan tersembunyi yang tidak tampak untuk mencegah

kerusakan besar dan mengakibatkan *downtime* yang tidak direncanakan pada alat berat GJC 2.

b. *Drive*

1. Apakah komponen *drive* memiliki hubungan dengan kerusakan dan reliabilitas usia?

“Yes”

komponen *drive* memiliki hubungan antara kerusakan dan reliabilitas usia, karena komponen *drive* digunakan untuk mengontrol pergerakan alat berat GJC 2. Kerusakan pada komponen *drive* dapat mengurangi reliabilitasnya dan dapat memperpendek umur operasional alat berat GJC 2. Sehingga diperlukan perawatan berkala supaya dapat memperpanjang usia komponen *drive*.

2. Apakah TD (*Time Directed*) dapat dilakukan?

“No”

TD tidak dapat dilakukan pada komponen *drive* karena komponen ini memerlukan pemeliharaan yang lebih spesifik dan terfokus pada kondisi dilapangannya. Selain itu, risiko kerusakan yang lebih tinggi dan kompleksitas sistem membuat TD kurang efektif.

3. Apakah CD (*Condition Directed*) dapat dilakukan?

“Yes”

CD dapat dilakukan pada komponen *drive* karena pemeliharaan ini dapat meningkatkan efisiensi, keandalan dan umur komponen dengan memanfaatkan pemantauan secara *real-time* dan analisis data untuk melakukan perbaikan yang tepat waktu berdasarkan kondisi lapangan.

4. Apakah masuk dalam kategori D (*Hidden Failure*)?

“No”

Komponen *drive* tidak termasuk kedalam *Hidden Failure* karena kerusakan pada komponen ini biasanya menunjukkan gejala yang dapat diamati dan dirasakan, seperti suara saat pemindahan beban menjadi kasar, GJC 2 tidak dapat digunakan sesuai perintah. Sehingga dapat dideteksi selama inspeksi rutin. Selain itu pemeliharaan yang teratur membantu mengidentifikasi potensi masalah sebelum berkembang menjadi kerusakan yang serius.

5. Apakah FF (*Finding Failure*) dapat dilakukan?

“No”

Komponen *drive* pada alat berat GJC 2 tidak dapat dilakukan FF karena kerusakan pada komponen ini dapat dideteksi apabila terjadi kerusakan.

6. Apakah ada tindakan lain yang dipilih efektif?

“No”

Tidak ada tindakan lain yang dipilih efektif pada komponen *drive* karena sistem *drive* sangat kompleks sehingga memerlukan pendekatan khusus, serta standar industri yang telah ditetapkan, dan pemantauan sebagai strategi terbaik untuk mengoptimalkan keandalan dan mencegah kerusakan.

7. Dapatkah desain dari modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?

“No”

Desain modifikasi tidak dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya karena sistem dari komponen *drive* terdiri dari banyak komponen yang saling terintegrasi. Sehingga melakukan modifikasi pada desain komponen *drive* memungkinkan menimbulkan risiko kegagalan baru yang sebelumnya tidak ada.

8. Pemilihan tindakan?

“CD”

Pemilihan tindakan pada komponen *drive* memilih CD karena komponen *drive* memiliki karakteristik yang ideal untuk memantau kondisinya, memiliki banyak parameter operasional kritis yang dapat diukur seperti suhu, arus, tegangan, dan kualitas daya. Sehingga dapat memberikan indikasi lebih awal tentang potensi kegagalan total.

c. PLC

1. Apakah komponen PLC memiliki hubungan dengan kerusakan dan reliabilitas usia?

“Yes”

komponen PLC memiliki hubungan antara kerusakan dan reliabilitas usia, karena komponen PLC merupakan komponen penting untuk mengatur

kelistrikan dan sensor dari keseluruhan komponen yang terdapat pada GJC 2. Seiring dengan bertambahnya usia pemakaian, komponen PLC rentan mengalami degradasi akibat dari faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan dan faktor lain yang dapat menurunkan keandalan fungsinya. Sehingga diperlukan perawatan berkala supaya dapat memperpanjang usia komponen PLC.

2. Apakah TD (*Time Directed*) dapat dilakukan?

“No”

TD tidak dapat dilakukan pada komponen PLC karena komponen ini memerlukan pemeliharaan yang lebih spesifik dan terfokus pada kondisi dilapangnya. Selain itu, risiko kerusakan yang lebih tinggi dan kompleksitas sistem membuat TD kurang efektif.

3. Apakah CD (*Condition Directed*) dapat dilakukan?

“Yes”

CD dapat dilakukan pada komponen PLC karena pemeliharaan ini dapat meningkatkan efisiensi, keandalan dan umur komponen dengan memanfaatkan pemantauan secara langsung dan analisis data untuk melakukan perbaikan yang tepat waktu berdasarkan kondisi lapangan

4. Apakah masuk dalam kategori D (*Hidden Failure*)?

“No”

Komponen PLC tidak termasuk kedalam *Hidden Failure* karena kerusakan pada komponen ini biasanya menunjukkan gejala yang dapat diamati dan dirasakan, seperti hilangnya sistem kendali, dapat mengakibatkan *downtime*, dan tidak dapat memproses *input* dari *limit switch* pada alat berat GJC 2. Sehingga kegagalan tersebut dapat dideteksi selama inspeksi rutin. Selain itu pemeliharaan yang teratur membantu mengidentifikasi potensi masalah sebelum berkembang menjadi kerusakan yang serius.

5. Apakah FF (*Finding Failure*) dapat dilakukan?

“Yes”

Meskipun komponen internal PLC tidak dapat terlihat namun setiap terjadi kegagalan pada komponen internal PLC akan memunculkan tanda berupa

lampu LED yang akan menyala untuk menunjukkan adanya kegagalan pada komponen PLC.

6. Apakah ada tindakan lain yang dipilih efektif?

“Yes”

Terdapat beberapa Tindakan lain yang dipilih efektif pada komponen PLC seperti membersihkan debu, kotoran dan lainnya dari dalam panel listrik dan modul PLC secara teratur, serta melakukan pemeriksaan secara berkala terhadap semua sambungan kabel (daya, I/O, komunikasi) untuk memastikan tidak ada yang longgar sehingga tidak akan menimbulkan korosi. Karena koneksi yang buruk sering menjadi penyebab terjadinya kegagalan total.

7. Dapatkah desain dari modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?

“No”

Desain modifikasi tidak dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya pada komponen PLC karena Batasan alami pada bahan yang digunakan, kerumitan interaksi pada komponen dalam sistem yang lebih besar, ketidakpastian lingkungan operasional yang sering mengalami perubahan, serta kemungkinan kesalahan dari operator dalam berbagai tahapan mulai dari perencanaan sampai pengoperasian yang semuanya dapat berkontribusi terhadap munculnya berbagai macam mode kegagalan.

8. Pemilihan tindakan?

“CD/FF”

Pemilihan tindakan CD pada komponen PLC karena komponen tersebut tidak menunjukkan keausan fisik yang dapat diprediksi secara langsung, namun kondisi opsional seperti suhu, atau kestabilan daya dapat dipantau melalui gejala internal untuk mendeteksi kegagalan. Sehingga dapat mengoptimalkan umur komponen dan dapat mencegah *downtime* yang tidak direncanakan.

d. Wire Rope

1. Apakah komponen *wire rope* memiliki hubungan dengan kerusakan dan reliabilitas usia?

“Yes”

Komponen *wire rope* sangat berkaitan dengan kerusakan dan reliabilitas usia alat berat GJC 2 karena komponen *wire rope* sebagai penahan dan penggerak beban dan mengalami tekanan mekanis sangat ekstrem. Seiring berjalannya waktu performa dari komponen *wire rope* akan mengalami penurunan dan akan mengalami keausan sehingga memiliki hubungan dengan kerusakan dan reliabilitas usia.

2. Apakah TD (*Time Directed*) dapat dilakukan?

“Yes”

Pada komponen *wire rope* TD dapat dilakukan karena komponen tersebut akan mengalami kelelahan material dan memiliki batas usia aman pemakaian yang telah ditetapkan oleh standar keselamatan. Pergantian komponen *wire rope* yang terjadwal berdasarkan waktu operasi merupakan penerapan yang penting untuk memastikan keamanan, meskipun kondisi fisik terlihat baik.

3. Apakah CD (*Condition Directed*) dapat dilakukan?

“Yes”

Komponen *wire rope* dapat dilakukan CD karena kerusakan fisiknya dapat dilihat seperti kawat sudah mulai rapuh, diameter *wire rope* mulai berubah, dan munculnya karat.

4. Apakah masuk dalam kategori D (*Hidden Failure*)?

“No”

Komponen *wire rope* tidak termasuk kedalam *Hidden Failure* karena tanda-tanda kerusakan pada komponen ini dapat terlihat secara langsung seperti kawat berkarat, kawat mulai rapuh dll.

5. Apakah FF (*Finding Failure*) dapat dilakukan?

“Yes”

Pada komponen *wire rope* dapat dilakukan FF karena pada sekumpulan kawat tidak hanya terlihat dari sisi luar saja, namun dari bagian dalam *wire rope* juga terdapat kawat sehingga diperlukan pencarian kegagalan, seperti putusnya kawat dalam dan korosi di dalam *wire rope*.

6. Apakah ada tindakan lain yang dipilih efektif?

“No”

Tidak ada tindakan lain yang dipilih karena tindakan-tindakan lain yang ada seperti peningkatan kualitas material, meskipun penting untuk keandalan secara keseluruhan, bukan strategi pemeliharaan yang secara langsung mengatasi atau memprediksi kondisi komponen yang sudah terpasang dan beroperasi.

7. Dapatkah desain dari modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?

“No”

Desain modifikasi tidak dapat menghilangkan mode kegagalan karena penggunaan *wire rope* sudah dilakukan standarisasi sesuai dengan kapasitas angkut dari setiap *wire rope*, sehingga apabila dilakukan modifikasi pada komponen tersebut kemungkinan akan mengurangi kekuatan angkat dari komponen *wire rope* tersebut.

8. Pemilihan tindakan?

“TD”

Pemilihan tindakan yang paling tepat adalah TD karena komponen *wire rope* memiliki batas umur aman yang sudah terstandarisasi industri dan regulasi keselamatan seperti OSHA, EN, ISO dan rekomendasi dari pabrik pembuat komponen *wire rope*. Batasan umur aman diperlukan karena pemahaman akan kelelahan material yang selalu tidak kasat mata dan sebagai upaya untuk pencegahan kegagalan. Menerapkan TD untuk komponen *wire rope* memungkinkan perencanaan penggantian yang lebih baik.

4.1.12 Perhitungan Biaya Perawatan

Perhitungan seluruh biaya perawatan digunakan untuk membantu perusahaan mengendalikan pengeluaran dan merencanakan anggaran yang lebih akurat untuk pemeliharaan. Perhitungan biaya dapat mencakup berbagai aspek yang perlu diperhatikan supaya alat berat dapat berjalan dengan optimal. Berikut adalah perhitungan biaya sebelum menggunakan RCM dengan rumus yang tercantum pada (2.30) dan setelah menggunakan metode RCM dengan rumus yang tercantum pada (2.31):

- a. Perhitungan biaya sebelum menggunakan RCM

1. *Motor Gantry*

$$Cf = 9 \times \text{Rp. } 434.000.000$$

$$Cf = \text{Rp. } 3.906.000.000$$

2. *Drive*

$$Cf = 13 \times \text{Rp. } 70.000.000$$

$$Cf = \text{Rp. } 910.000.000$$

3. *PLC*

$$Cf = 6 \times \text{Rp. } 81.212.500$$

$$Cf = \text{Rp. } 487.275.000$$

4. *Wire Rope*

$$Cf = 6 \times \text{Rp. } 438.392.000$$

$$Cf = \text{Rp. } 2.630.352.000$$

b. Perhitungan biaya setelah menggunakan RCM

1. *Motor Gantry*

$$Cp = 23 \times \text{Rp. } 434.000.000$$

$$Cp = \text{Rp. } 9.982.000.000$$

2. *Drive*

$$Cp = 7 \times \text{Rp. } 70.000.000$$

$$Cp = \text{Rp. } 490.000.000$$

3. *PLC*

$$Cp = 5 \times \text{Rp. } 81.212.500$$

$$Cp = \text{Rp. } 406.060.000$$

4. *Wire Rope*

$$Cp = 12 \times \text{Rp. } 438.392.000$$

$$Cp = \text{Rp. } 5.260.704.000$$

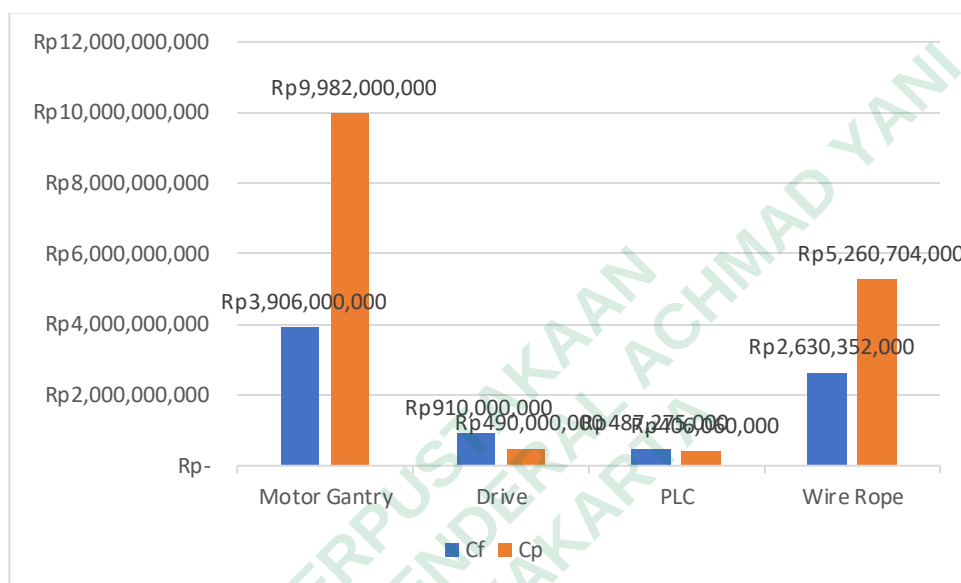
Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan biaya sebelum dan setelah menggunakan metode RCM.

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Perhitungan Biaya

No	Komponen	Cf	Cp	Cost Up	Cost Down
1	<i>Motor Gantry</i>	Rp. 3.906.000.000	Rp. 9.982.000.000	Rp. 6.076.000.000	-
2	<i>Drive</i>	Rp. 910.000.000	Rp. 490.000.000	-	Rp. 420.000.000
3	<i>PLC</i>	Rp. 487.275.000	Rp. 406.060.000	-	Rp. 81.215.000
4	<i>Wire Rope</i>	Rp. 2.630.352.000	Rp. 5.260.704.000	Rp. 2.630.352.000	-

Pada perhitungan biaya *maintenance*, biaya tenaga kerja tidak termasuk ke dalam perhitungan karena gaji mekanik rutin per bulan. Mekanik yang terdapat pada PT Pelabuhan Tanjung Priok cabang Panjang terdapat 4 orang dengan gaji yang diperoleh perorang dalam satu bulan sebesar Rp. 6.000.000.

Grafik dibawah ini menunjukkan perbedaan biaya perawatan sebelum dan setelah menggunakan metode RCM.



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Biaya Perawatan

4.2 Pembahasan

4.2.1 Functional Block Diagram (FBD)

FBD digunakan untuk menggambarkan hubungan fungsi antarkomponen penting dalam sistem alat berat GJC 2. Komponen utama seperti *drive* berperan sebagai pengatur keseluruhan perintah gerak alat berat GJC 2. Perintah *drive* kemudian akan diproses oleh PLC yang mengkoordinasikan aktivitas sensor. Sinyal yang disebarkan oleh PLC nantinya akan mengaktifkan berbagai komponen lain seperti *motor gantry*, *roda gantry* dan *boom system*. *motor gantry* dan *roda gantry* bekerja sama dalam pergerakan alat berat GJC 2 diatas rel. Kedua komponen tersebut terpasang di *bogie gantry* yang menjadi struktur utama dari dari alat berat GJC 2.

Pada proses pengangkatan beban pada alat berat GJC 2 melibatkan sistem *hoist* yang terdiri dari dua *gearbox*. Pada *gearbox hoist* 1 digunakan sebagai sistem

utama dan *Gearbox 2* digunakan sebagai cadangan apabila pada *gearbox 1* mengalami kekurangan torsi angkatnya. Komponen *wire rope* merupakan komponen utama dalam mengangkat beban, sedangkan *block swivel* berfungsi untuk mengurangi gesekan langsung pada *wire rope* supaya tidak cepat mengalami keausan. Komponen *break hoist* membantu menghentikan atau mengontrol pergerakan beban untuk menjaga keamanan operasional.

Dalam hal pergerakan rotasi, alat berat GJC 2 menggunakan *open gear slewing* yang digunakan bagain atas alat berat GJC 2 berputar ke berbagai arah, dan terdapat komponen *gearbox slewing* untuk mendukung kestabilan saat melakukan rotasi yang dikendalikan oleh *break slewing* untuk mengatur serta menghentikan gerakan sesuai kebutuhan. Pada sisi lain terdapat komponen *counter weight system* yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan alat berat GJC 2 pada saat mengangkat beban berat.

4.2.2 Menentukan Komponen Kritis dengan FMEA

Metode FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan (*Failure Mode*), Penyebabnya, dampaknya, dan tindakan pengendalian yang sudah diterapkan oleh PT Pelabuhan Tanjung Priok Cabang Panjang. Setiap komponen dilakukan analisis berdasarkan tiga parameter yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Masing-masing parameter dilakukan penilaian oleh tiga responden yang telah berpengalaman pada bidang teknik.

Setelah hasil nilai S, O, D didapatkan dari masing-masing responden, dilakukan perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN dilakukan perhitungan dengan mengalikan nilai rata-rata *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Dari hasil perkalian tersebut didapatkan nilai sebesar 19,09. Sehingga komponen yang memiliki nilai RPN diatas 19,09 dianggap sebagai komponen dengan risiko tinggi dan perlu menjadi prioritas dalam tindakan pemeliharaan atau perbaikan.

Dari hasil perhitungan terdapat empat komponen yang teridentifikasi sebagai komponen paling kritis yaitu komponen *motor gantry* dengan nilai RPN 36, komponen *drive* dengan nilai RPN 30, komponen PLC dengan nilai RPN 30, dan komponen *wire rope* dengan nilai RPN 60.

Untuk komponen lain seperti *open gear slewing*, *bogie gantry* dan *swivel block* menunjukkan nilai RPN yang rendah, yang artinya risiko kegagalan pada saat ini masih dalam batas aman dan dalam pemeliharaan atau perbaikan sudah sesuai.

Dengan melakukan identifikasi nilai RPN, dapat menentukan skala prioritas dalam melakukan perawatan dan pergantian komponen. Tahapan FMEA sangat penting dilakukan untuk mencegah kerusakan besar pada setiap komponen, menghindari *downtime* alat berat GJC 2, dan dapat menjaga keselamatan operator saat bekerja.

4.2.3 Perhitungan TTF dan TTR

Setelah komponen kritis pada alat berat GJC 2 teridentifikasi menggunakan FMEA, selanjutnya melakukan perhitungan TTF dan TTR. TTF menggambarkan waktu operasional antara satu kegagalan dengan kegagalan berikutnya, sedangkan TTR menunjukkan durasi waktu perbaikan yang diperlukan sampai alat berat dapat kembali berfungsi. TTF dan TTR perlu digunakan untuk mengukur keandalan dan efisiensi perawatan terhadap komponen kritis.

Komponen *motor gantry* berdasarkan dari data histori, TTF pada komponen *motor gantry* bervariasi, mulai dari 42 Jam hingga lebih dari 1700 Jam. Hal ini menunjukkan dari masa pakai komponen sangat bergantung pada kondisi kerja dan intensitas operasional alat berat GJC 2. Ketika komponen *motor gantry* rusak, maka alat berat GJC 2 tidak dapat dilakukan pemindahan. Waktu perbaikan atau TTR pada komponen *motor gantry* relatif singkat, berkisar antara 0,17 sampai 1 Jam. Hal ini mengidentifikasi bahwa perbaikan yang dilakukan tidak terlalu sulit. Namun, tingginya tingkat frekuensi kerusakan perlu dilakukan pemantauan secara berkala.

Komponen *drive* berdasarkan dari data histori, TTF pada komponen *drive* berkisar dari 125 Jam sampai lebih dari 1.000 Jam. Jarak waktu yang cukup luas menandakan bahwa terdapat potensi variasi kondisi penggunaan atau Kualitas perawatan yang belum merata. Sedangkan TTR memiliki waktu yang sangat singkat dalam melakukan perbaikan. Namun meskipun TTR pada komponen *drive* memiliki waktu yang sangat singkat, tingginya frekuensi kerusakan menunjukkan

bahwa komponen *drive* perlu diperhatikan dalam sistem kontrol dan koneksi elektrikalnya.

Komponen PLC berdasarkan dari data histori, TTF pada komponen PLC menunjukkan performa yang cukup tinggi, dan waktu antar kerusakan mencapai 2.351 Jam, menandakan bahwa komponen ini cukup andal jika dilakukan perawatan dengan baik dan tidak terkena gangguan eksternal seperti lonjakan arus. Namun, TTR pada komponen PLC lebih Panjang dibandingkan dengan komponen lain dengan waktu perbaikan mencapai 1 hingga 1,33 Jam. Durasi ini menunjukkan bahwa kerusakan pada komponen PLC biasanya lebih kompleks, dapat menyangkut modul CPU, I/O, atau sambungan kelistrikan yang perlu dilakukan penanganan dengan teliti karena komponen PLC sangat vital.

Komponen *wire rope* berdasarkan dari data histori, TTF pada komponen *wire rope* menunjukkan bahwa komponen ini memiliki masa pakai yang bervariasi, mulai dari 14 Jam sampai lebih dari 1.500 Jam. Hal ini dipengaruhi oleh berat dari beban yang diangkat, kondisi pelumasan, serta keausan pada material akibat dari gesekan. Sedangkan TTR pada komponen *wire rope* menjadi yang paling lama dibandingkan dengan komponen lain mencapai 7 Jam. Karena proses pemasangan pada komponen ini membutuhkan ketelitian dan koordinasi yang tepat supaya pemasangan aman dan presisi. Efek dari kerusakan komponen ini sangat berbahaya sehingga perawatan secara intensif perlu diterapkan termasuk inspeksi harian, pelumasan, dan melakukan pergantian sebelum melewati batas aman pakai *wire rope*.

4.2.4 Uji *Goodness of Fit* TTF dan TTR

Uji *Goodness of Fit* menggunakan *software* EasyFit 5.5 Profesional untuk mengetahui jenis distribusi statistic yang paling benar. Hasil uji menunjukkan bahwa setiap komponen memiliki pola distribusi yang berbeda-beda. Seperti komponen *motor gantry* memiliki pola distribusi Lognormal untuk TTR dan Normal untuk TTF, komponen *drive* menunjukkan pola distribusi *Weibull* untuk TTR dan Lognormal untuk TTF, komponen PLC menunjukkan pola distribusi Normal untuk TTR dan Normal untuk TTF, sedangkan komponen *wire rope* menunjukkan pola distribusi *Weibull* untuk TTR dan Normal untuk TTF. Perbedaan

pola distribusi menunjukkan bahwa kerusakan dan perbaikan pada setiap komponen memiliki karakteristik yang berbeda. Sehingga dalam penerapan analisis keandalan atau penjadwalan pemeliharaan perlu mempertimbangkan jenis distribusi yang tepat supaya hasil prediksi lebih akurat dan efisien.

4.2.5 Perhitungan MTTF dan MTTR

Perhitungan MTTF memberikan gambaran tentang berapa lama suatu komponen dapat beroperasi sebelum mengalami kegagalan. Komponen PLC memiliki nilai MTTF tertinggi yaitu 1226,9 Jam atau sekitar 51 Hari. Hal ini menunjukkan bahwa komponen PLC paling andal dibandingkan dengan komponen lain. Komponen PLC merupakan pusat kendali sistem otomasi, dan keandalannya sangat krusial untuk kelangsungan operasional. Sementara komponen *motor gantry* memiliki MTTF sebesar 775,57 Jam atau 32 Hari, dan *wire rope* memiliki MTTF sebesar 764,27 Jam atau 31 Hari, kedua komponen tersebut menunjukkan performa yang cukup baik namun masih dibawah PLC. Sedangkan komponen *drive* memiliki MTTF paling rendah yaitu 511,54 Jam atau sekitar 21 Hari, yang artinya lebih sering mengalami kegagalan.

Perhitungan MTTR menunjukkan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen yang rusak. Hasil menunjukkan bahwa komponen *Drive* memiliki MTTR paling singkat yaitu hanya sekitar 0,15 Jam atau 9 menit. Hal ini menandakan bahwa meskipun komponen ini sering mengalami kerusakan, waktu perbaikannya sangat cepat. Selanjutnya komponen PLC memiliki MTTR 0,74 Jam, dan *wire rope* sebesar 1,82 Jam, hal ini masih tergolong cepat dan efisien pada proses perbaikan. Komponen *motor gantry* memiliki MTTR tertinggi yaitu 4 Jam yang menunjukkan bahwa perbaikan pada komponen ini membutuhkan waktu lebih lama.

4.2.6 Interval Waktu Perawatan

Perhitungan interval waktu perawatan pada setiap komponen kritis bertujuan untuk menentukan jadwal pemeriksaan yang optimal sehingga kerusakan mendadak dapat dicegah. Dengan mengetahui kapan suatu komponen cenderung mengalami kerusakan berdasarkan histori dan data statistic seperti MTTR dan

MTTF, sehingga perusahaan dapat melakukan perencanaan perawatan lebih teratur dan efisien.

Komponen *motor gantry* memperoleh interval pemeriksaan optimal setiap 377 Jam atau 16 Hari. Hal ini didasarkan pada laju rata-rata perbaikan sebesar 200 Jam dan laju pemeriksaan 1.000 Jam dengan rata-rata 0,75 kerusakan per bulan. Frekuensi pemeriksaan yang direkomendasikan sekitar 1,936 kali per bulan. Interval ini relatif pendek karena komponen ini memiliki tingkat kerusakan yang lebih tinggi yaitu 9 kali dalam setahun, sehingga membutuhkan pemantauan lebih sering supaya tidak mengganggu operasional bongkar muat barang.

Komponen *drive* menunjukkan karakteristik berbeda dengan interval waktu yang jauh lebih Panjang yaitu 1.318 Jam atau 55 Hari. Hal ini menggambarkan performa komponen tersebut cukup stabil, dengan laju perbaikan yang sangat besar yaitu 5.000 Jam dan laju pemeriksaan 1.429 Jam. Meskipun kerusakannya lebih sering terjadi yaitu sebanyak 13 kali dalam setahun, waktu perbaikannya sangat cepat memungkinkan toleransi jadwal pemeriksaan lebih jarang dilakukan dibandingkan komponen *motor gantry*.

Komponen PLC memiliki interval pemeriksaan terpanjang yaitu 1.793 Jam atau 75 Hari. Dengan rata-rata kerusakan hanya 0,5 kali per bulan, laju perbaikan 1.000 Jam dan laju pemeriksaan 333,333 Jam. Hasil ini menunjukkan bahwa komponen PLC merupakan salah satu komponen yang paling andal dan stabil, sehingga tidak memerlukan perawatan rutin yang sering dilakukan. Namun tetap perlu dilakukan pemantauan terjadwal supaya potensi kerusakan dapat diminimasi.

Komponen *wire rope* direkomendasikan untuk dilakukan pemeriksaan setiap 732 Jam atau sekitar 31 Hari. Dengan laju perbaikan sebesar 500 Jam dan laju pemeriksaan 1.000 Jam, serta tingkat kerusakan 0,5 kali per bulan. Maka perlu dilakukan penjadwalan per bulan pada komponen *wire rope*. Komponen *wire rope* termasuk kedalam komponen mekanis yang mengalami tekanan tinggi selama proses operasional, sehingga perlu dilakukan pemeriksaan berkala untuk menjaga strukturalnya.

4.2.7 Pilihn Tindakan Perawatan Pada Komponen Kritis

Tujuan pemilihan tindakan perawatan yaitu untuk meningkatkan produktivitas pemeliharaan, memperpanjang usia pakai komponen, serta meminimalkan downtime yang secara mendadak. Proses pemilihan tindakan dilakukan melalui diskusi Bersama Jr. *Assisten Officer Teknik*.

Komponen *motor gantry* dipilih untuk dilakukan tindakan *Condition Directed* (CD) dan *Finding Failure* (FF). hal ini disebabkan karakteristik kegagalan pada komponen *motor gantry* tersembunyi (*Hidden Failure*), karena alat berat GJC 2 memiliki lebih dari satu *motor gantry* yang bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu, kerusakan yang terjadi pada salah satu komponen tidak selalu terdeteksi secara langsung tanpa dilakukan inspeksi rutin. Tindakan CD memungkinkan pemantauan kondisi aktual komponen seperti pelumasan, dan ketebalan bagian mekanik, sedangkan FF diperlukan untuk mendeteksi kegagalan yang tidak dapat terlihat oleh kasat mata.

Komponen *drive* pemilihan tindakan difokuskan pada CD. Karakteristik kerusakan komponen ini biasanya dapat diidentifikasi melalui perubahan performa seperti bersuara kasar atau tidak sesuai gerakannya. Oleh karena itu, perawatan berbasis kondisi lebih efektif dibandingkan pendekatan berbasis waktu (TD). Sistem *drive* sangat kompleks dan memerlukan pemantauan parameter operasional seperti arus listrik, tegangan, dan suhu.

Komponen PLC hasil analisis menunjukkan bahwa yang paling sesuai yaitu kombinasi CD dan FF. Meskipun kerusakan fisik pada PLC sering tidak terlihat secara langsung, gejala internal seperti indikator LED dapat menunjukkan adanya malfungsi. Oleh karena itu, strategi pemeliharaan perlu melakukan pemantauan kondisi operasional serta mencari kegagalan sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar. Tindakan ini dinilai relevan karena komponen PLC merupakan inti dari sistem kontrol dan pengelola sinyal pada alat berat GJC 2, yang memiliki peran sangat vital dalam keseluruhan sistem.

Komponen *wire rope* pemilihan tindakan yang paling tepat yaitu *Time Directed* (TD). Komponen *wire rope* memiliki batas usia pakai yang jelas dan telah distandarisasi dalam berbagai regulasi keselamatan industri, seperti OSHA dan ISO.

Kerusakan pada komponen *wire rope* dapat dideteksi melalui inspeksi rutin, misalnya muncul karat, keausan, atau kawat yang putus.

4.2.8 Perhitungan Biaya Perawatan

Biaya perawatan sebelum menggunakan metode RCM (Cp) meruakan total biaya yang dikeluarkan akibat terjadinya kerusakan komponen selama periode Agustus 2023 – Juli 2024. Setiap kerusakan dihitung berdasarkan frekuensi kerusakan dikalikan dengan harga per unit komponen. Adapun komponen *motor gantry* dengan total biaya perawatan sebesar Rp. 3.906.000.000, komponen *drive* dengan total biaya perawatan sebesar Rp. 910.000.000, komponen PLC dengan total biaya perawatan sebesar Rp. 487.275.000, dan komponen *wire rope* dengan total biaya perawatan sebesar Rp. 2.630.352.000. Sedangkan setelah menerapkan metode RCM (Cf) perhitungan biaya dihitung dari jumlah interval waktu dalam satu tahun dikalikan dengan harga per unit komponen. Adapun komponen *motor gantry* mendapatkan total biaya sebesar Rp. 9.982.000.000, komponen *drive* mendapatkan total biaya sebesar Rp. 490.000.000, komponen PLC mendapatkan total biaya sebesar Rp. 406.060.000, dan komponen *wire rope* mendapatkan total biaya sebesar Rp. 5.260.704.000.

Hasil dari perhitungan biaya menggunakan metode RCM mengalami peningkatan sebanyak Rp. 8.205.137.000 atau sekitar 103,42%, yang artinya mengalami peningkatan lebih dari dua kali lipat dari biaya awal. Namun, penerapan metode RCM pada alat berat GJC 2 dapat menghindari *downtime* secara mendadak yang akan mengakibatkan terhentinya kegiatan bongkar muat barang, dan dapat menghindari keterlambatan barang sampai kepada *customer*. Karena apabila pihak *customer* terlambat untuk penurunan barang dari kapal, akan mendapatkan denda untuk biaya sewa kapal. Akan tetapi, denda tersebut yang akan membayar yaitu pihak jasa bongkar muat dikarenakan terkendala pada alat berat yang digunakan untuk membongkar muat barang.