

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Identifikasi Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dari PT. X. Batam, Indonesia didapatkan dengan dua cara yaitu pengamatan di lapangan dan pengambilan, informasi berupa *technical data*, dan dokumentasi lain yang berkaitan dengan *bow thruster* tersebut. Data-data tersebut dapat dijabarkan seperti berikut ini.

1. Pengamatan Lapangan  
Pengamatan dilaksanakan untuk mengetahui metode perawatan *bow thruster* di PT. X. Bagaimana PT. X. dapat memperbaiki komponen tersebut dengan metode perawatannya.



Gambar 4. 1 *Bow Thruster* dalam perbaikan  
(Sumber : Penulis 2026)

2. *Technical Data*
  - a. *Manual Book Rolls-Royce TT2000 DPN CP*, untuk mengetahui spesifikasi komponen yang terpasang pada *bow thruster* tersebut.
  - b. Data Operasional, untuk mengetahui Riwayat operasional *bow thruster*.
  - c. Data Kerusakan dan Perbaikan, untuk mengetahui seberapa sering *bow thruster* mengalami *downtime*.

### 4.2 Objek Penelitian

Tahap pertama pada penelitian untuk menghitung keandalan adalah dengan memilih objek yang akan dianalisa. Penelitian ini meneliti *Bow Thruster* yang digunakan pada kapal AHTS. Setelah bertanya kepada mentor ketika pengambilan data serta mempelajari data-data yang didapatkan dari PT. X. Batam, Indonesia. Dipilihlah *bow thruster* tersebut untuk diteliti. Spesifikasi dari *bow thruster* dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

### 4.3 Definisi Sistem

Definisi sistem meliputi pembagian grup fungsional, sistem, subsistem, dan komponen. Pembagian tiap komponen dilakukan dengan menggunakan pedekan *top to down* sampai tingkat rincian tercapai untuk mengidentifikasi batas-batas tiap komponen. Daftar

asset dari penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Lampiran 2** dan hirarki fungsi ditunjukkan pada **Lampiran 3**.

#### 4.4 Rekap Data Jam Operasional dan Kegagalan *Bow Thruster*

Rekapitulasi data jam operasional dan kejadian kegagalan sistem *bow thruster* disusun untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pola penggunaan *thruster* serta kecenderungan gangguan yang terjadi selama periode pengamatan. Data yang digunakan pada subbab ini berasal dari pencatatan log operasional dan histori kejadian kerusakan *bow thruster* dalam rentang waktu September 2015 hingga September 2016.

Jam operasional *bow thruster* dihitung berdasarkan data *running hours* yang tercatat pada sistem selama periode penelitian, yang dikumpulkan secara berkala sesuai interval pencatatan *logbook*. Selanjutnya, data tersebut dikorelasikan dengan catatan kejadian kegagalan yang terjadi pada sistem *bow thruster* dalam periode yang sama. Rekapitulasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara intensitas penggunaan dengan frekuensi gangguan, serta mendukung analisis terhadap komponen atau sub-sistem yang dominan mengalami kegagalan.

Berdasarkan hasil rekap data, kejadian kegagalan *bow thruster* selama periode pengamatan menunjukkan variasi jenis gangguan yang berbeda sesuai dengan kategori kerusakannya. Gangguan tersebut meliputi kerusakan pada sub-sistem mekanik, hidraulik, dan elektrik, dengan komponen terdampak menyesuaikan karakteristik masing-masing sub-sistem. Setiap kejadian didokumentasikan berdasarkan waktu kejadian, jenis kegagalan, komponen yang terlibat, serta dampaknya terhadap performa *thrust lateral* dan kemampuan manuver kapal. Rekap lengkap data jam operasional dan daftar kejadian kegagalan *bow thruster* selama periode September 2015 hingga September 2016 disajikan secara rinci pada **Lampiran 4**.

#### 4.5 Identifikasi Komponen Utama dan Kegagalan Sistem *Bow Thruster*

Komponen kritis pada sistem *bow thruster* AHTS ditentukan berdasarkan struktur sistem pada *manual book Tunnel Thruster TT2000 DPN CP* serta pembagian sub-sistem, yaitu *mechanical parts*, *hydraulic parts*, dan *electric parts*. Komponen yang dikategorikan kritis merupakan komponen yang berperan langsung dalam pembentukan *thrust*, transmisi daya, *Controllable Pitch Propeller (CPP)*, serta komponen pendukung yang apabila mengalami kegagalan dapat menyebabkan *bow thruster* kehilangan fungsi manuver secara signifikan. Berdasarkan hasil identifikasi, komponen kritis utama meliputi *thruster motor* dan sistem starter, *hydraulic pump* unit dan *pitch control system*, propeller CPP, *shaft* dan *bearing*, *shaft seal* beserta *seal tank*, serta *toothed coupling* pada *drive system*.

##### 4.5.1 Komponen Utama *Bow Thruster*

Komponen-komponen tersebut selanjutnya menjadi fokus analisis lanjutan menggunakan MTBF untuk menentukan tingkat keandalan, serta Risk Matrix untuk menentukan prioritas risiko kegagalan dan rekomendasi pemeliharaan berbasis risiko. Pengelompokan komponen utama pada sistem *bow thruster* dijelaskan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Komponen Utama *Bow Thruster*  
(Sumber: Penulis,2026)

No	Sub-Sistem	Komponen	Fungsi Utama	Alasan Dinyatakan Kritis
1	<i>Electric</i>	<i>Thruster motor</i>	Menghasilkan daya putar untuk	Kegagalan motor menyebabkan <i>bow</i>

		<i>(Electric AC motor 883 kW)</i>	menggerakkan bow thruster	thruster tidak dapat beroperasi (loss of thrust) sehingga berdampak langsung pada kemampuan manuver kapal.
2	<i>Electric</i>	<i>Motor starter system (Star-Delta / starter cabinet)</i>	Menjalankan proses start motor serta melindungi sistem saat starting	Jika starter gagal, motor tidak dapat start sehingga bow thruster tidak available saat dibutuhkan untuk manuver.
3	<i>Electric</i>	<i>Remote control system + power supply (220 VAC + 24 VDC backup)</i>	Memberikan perintah kontrol thruster dari operator dan memastikan sistem kontrol tetap aktif	Gangguan kontrol/supply mengakibatkan thruster tidak merespon perintah, sehingga meningkatkan risiko kehilangan kendali manuver.
4	<i>Hydraulic</i>	<i>System pump unit (oil pump)</i>	Menyediakan tekanan dan aliran oli untuk sistem pitch control, 5lubrication, dan cooling	Pompa adalah sumber tekanan utama; kegagalan pompa menyebabkan sistem pitch dan pelumasan terganggu sehingga thruster dapat shutdown.
5	<i>Hydraulic</i>	<i>Pitch control unit (hydraulic control)</i>	Mengatur perubahan sudut pitch propeller (CPP) untuk menghasilkan thrust kiri/kanan	Pitch control adalah inti operasi CPP; kegagalannya menyebabkan thruster tidak bisa menghasilkan thrust sesuai kebutuhan operasi.
6	<i>Hydraulic</i>	<i>Pitch feedback mechanism/sensor</i>	Memberikan sinyal umpan balik posisi pitch untuk menjaga kestabilan dan akurasi kontrol	Feedback yang salah dapat menimbulkan thrust tidak stabil, error pada kontrol, atau kegagalan sistem proteksi.
7	<i>Hydraulic</i>	<i>Control valve / relief valve</i>	Mengatur tekanan dan aliran fluida hidrolik sesuai kebutuhan sistem	Valve yang macet atau tidak bekerja dapat menyebabkan tekanan tidak normal sehingga pitch gagal bergerak dan thruster tidak bekerja optimal.

8	<i>Hydraulic</i>	<i>Gravity tank (oil tank)</i>	Menyediakan cadangan dan stabilisasi suplai oli untuk sistem thruster	Sistem sangat bergantung pada kualitas dan volume oli; gangguan level/kontaminasi memicu kegagalan pelumasan yang merusak komponen mekanik.
9	<i>Hydraulic</i>	<i>Seal tank</i>	Menyediakan oli dan tekanan untuk menjaga sealing pada shaft seal	Jika seal tank bermasalah, seal tidak efektif sehingga terjadi kebocoran oli/masuk air yang dapat memicu kerusakan bearing dan shaft.
10	<i>Mechanical</i>	<i>Propeller CPP (hub + blades)</i>	Menghasilkan gaya dorong lateral (thrust) untuk manuver kapal	Propeller adalah output utama bow thruster; kerusakan blade/hub menyebabkan thrust turun, getaran tinggi, dan potensi kerusakan lanjutan.
11	<i>Mechanical</i>	<i>Propeller shaft</i>	Menyalurkan daya putar dari motor/drive ke propeller	Shaft yang bermasalah (misalignment/wear) memicu vibrasi tinggi, menurunkan efisiensi 12thrust, dan meningkatkan risiko kegagalan berantai.
12	<i>Mechanical</i>	<i>Bearings</i>	Menopang poros agar berputar stabil dan mengurangi gesekan	Bearing sangat sensitif terhadap pelumasan dan beban; kegagalan bearing dapat menyebabkan thruster stop serta downtime tinggi.
13	<i>Mechanical</i>	<i>Shaft seal</i>	Mencegah masuknya air dan keluarnya oli pada bagian poros	Seal failure menyebabkan kebocoran oli atau masuk air, yang mempercepat kerusakan komponen internal (bearing/shaft).
14	<i>Mechanical</i>	<i>Drive transmission / toothed coupling</i>	Menghubungkan transmisi daya dari sistem penggerak ke unit thruster	Coupling merupakan komponen penghubung utama; kegagalan coupling menyebabkan torsi tidak tersalur sehingga thruster kehilangan fungsi.

### 4.5.2 Kegagalan *Bow Thruster*

Daftar kegagalan fungsional untuk setiap fungsi yang diidentifikasi untuk setiap kelompok fungsional, sub-sistem, dan komponen. Setiap kegagalan dalam kurun waktu yang diteliti dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

## 4.6 *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) merupakan metode analisis keandalan yang digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial pada suatu sistem, menganalisis penyebab serta dampak kegagalan tersebut, dan mengevaluasi tingkat risikonya terhadap kinerja dan keselamatan sistem. Dalam penelitian ini, FMEA digunakan untuk menganalisis sistem bow thruster kapal AHTS sebagai sistem propulsi bantu yang berperan penting dalam mendukung kemampuan manuver kapal pada kondisi operasi pelabuhan dan offshore. Penerapan FMEA pada penelitian ini mengacu pada *ABS Guidance Notes on Failure Mode and Effects Analysis for Classification (2015)*, yang menekankan identifikasi kegagalan secara sistematis dan penilaian risiko berbasis fungsi sistem.

### 4.6.1 Identifikasi Kegagalan

Identifikasi mode kegagalan dilakukan untuk menentukan seluruh kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi pada setiap komponen dan sub-sistem bow thruster. Mode kegagalan didefinisikan sebagai cara atau bentuk terjadinya kegagalan fungsi suatu komponen selama operasi normal. Satu mode kegagalan dapat memiliki lebih dari satu penyebab, sehingga seluruh potensi penyebab kegagalan perlu diidentifikasi secara independen.

Dalam penelitian ini, identifikasi mode kegagalan dilakukan berdasarkan data historis kegagalan yang tercatat pada *logbook* operasional *bow thruster*, manual teknis peralatan, serta pengalaman operasional kapal. Mode kegagalan yang diidentifikasi mencakup kegagalan pada sistem elektrik, hidraulik, dan mekanik, seperti kegagalan motor thruster, penurunan tekanan sistem hidraulik, kebocoran seal, hingga peningkatan getaran pada bearing. Setiap mode kegagalan dianalisis dengan mempertimbangkan pengaruhnya terhadap kinerja, keselamatan, dan kontinuitas operasi sistem bow thruster.

### 4.6.2 Efek Kegagalan

Efek kegagalan menggambarkan konsekuensi yang ditimbulkan apabila suatu mode kegagalan terjadi. Dalam FMEA, efek kegagalan dianalisis pada dua tingkat, yaitu *local effect* dan *system effect*. *Local effect* menunjukkan dampak langsung kegagalan terhadap komponen atau sub-sistem tempat kegagalan terjadi, sedangkan *system effect* menggambarkan dampak kegagalan terhadap keseluruhan fungsi sistem bow thruster.

Pada sistem bow thruster, efek kegagalan dapat berupa penurunan performa thrust, keterlambatan respon pitch propeller, hingga kehilangan total kemampuan manuver lateral kapal. Efek kegagalan ini menjadi dasar dalam menentukan tingkat keparahan (*severity*) karena berkaitan langsung dengan risiko keselamatan kapal, khususnya pada saat manuver di perairan terbatas atau saat mendukung operasi lepas pantai.

### 4.6.3 Deteksi Kegagalan

Deteksi kegagalan merupakan kemampuan sistem atau operator untuk mengetahui terjadinya kegagalan sebelum kegagalan tersebut berkembang menjadi kondisi yang lebih serius. Informasi deteksi kegagalan dicantumkan dalam kolom deteksi pada lembar kerja FMEA.

Metode deteksi kegagalan pada bow thruster meliputi alarm temperatur motor, indikator tekanan hidraulik, sistem monitoring getaran, serta inspeksi visual dan audit kondisi pelumasan. Apabila suatu kegagalan dapat terdeteksi secara langsung melalui instrumen atau alarm, maka kegagalan tersebut dikategorikan mudah terdeteksi. Sebaliknya, apabila kegagalan tidak dapat terdeteksi secara langsung dan hanya diketahui setelah menimbulkan dampak operasional, maka kegagalan tersebut dikategorikan sulit terdeteksi. Informasi deteksi ini digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan tingkat risiko kegagalan.

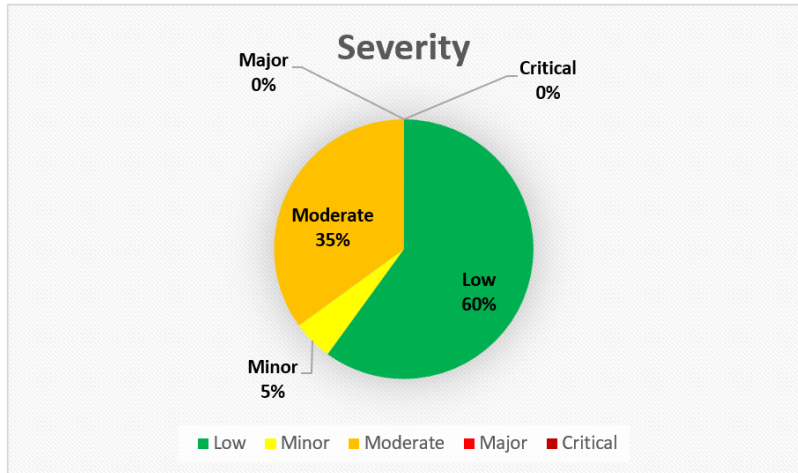
### 4.6.4 Evaluasi Risiko Menggunakan *Risk Matrix*

Evaluasi risiko dalam FMEA dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan terjadinya kegagalan (*likelihood*). Tingkat keparahan menunjukkan seberapa besar dampak kegagalan terhadap keselamatan dan operasional kapal, sedangkan kemungkinan kegagalan menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan berdasarkan data historis dan kondisi operasi aktual. Tingkat keparahan (*severity*) menurut (ABS Guidance of Risk Assessment, 2020) terdapat lima kategori untuk menentukan tingkatan keparahan dari suatu *asset*, seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 *Severity*  
(Sumber: ABS Guidance of Risk Assessment, 2020)

Category	Consequence Severity				
	Low	Minor	Moderate	Major	Critical
Asset	No shutdown, costs less than \$10,000 to repair	No shutdown, costs less than \$100,000 to repair	Operation shutdown, loss of day rate for 1-7 days and/or repair cost of up to \$1,000,000	Operation shutdown, loss of day rate for 7 – 28 days and/or repair cost of up to \$10,000,000	Operation shutdown, loss of day rate for more than 28 days and/or repair more than \$10,000,000

Hasil yang didapatkan dari analisis tingkat keparahan (*severity*) terhadap tiga sub-sistem *bow thruster* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Terdapat 60% tingkat keparahan *low*, 5% tingkat keparahan *minor*, 35% tingkat keparahan *moderate*, dan 0% untuk tingkat keparahan *major* dan *critical*.



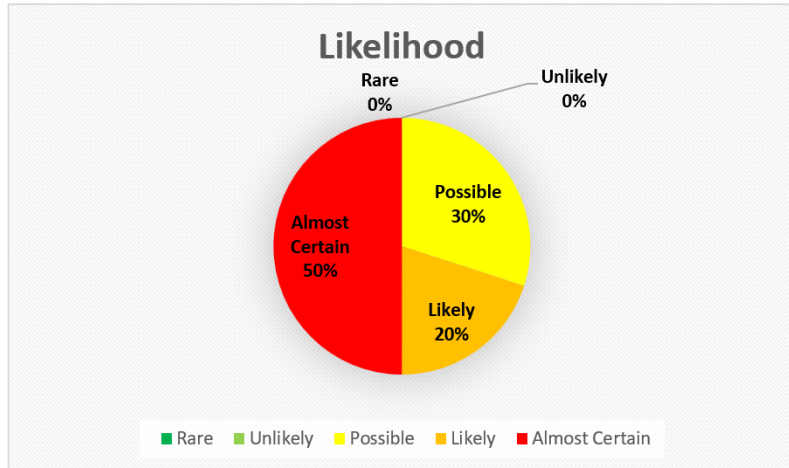
Gambar 4. 2 Persentase *Severity*  
(Sumber: Penulis,2026)

Untuk kemungkinan terjadinya kegagalan (*Likelihood*), terdapat lima kategori untuk mendeskripsikan dan mendefinisikan kemungkinan terjadinya kegagalan, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**. Rentang waktu kejadian berdasarkan angka kejadian per tahun berdasarkan (*ABS Guidance of Risk Assessment, 2020*)

Tabel 4. 3 Kriteria Kemungkinan Terjadi Kegagalan

Likelihood Description	Description
Almost Certain	Occurs 1 or more times a year
Likely	Occurs once every 1-10 years
Possible	Occurs once every 10-100 years
Unlikely	Occurs once every 100-1000 years
Rare	Occurs once every 1000-10000 years

Hasil yang didapatkan dari analisis kemungkinan terjadinya kegagalan (*likelihood*) terhadap tiga sub-sistem *bow thruster* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**. Terdapat 0% tingkat keparahan *rare* dan *unlikely*, 30% tingkat keparahan *possible*, 20% tingkat keparahan *likely*, dan 50% untuk tingkat keparahan *almost certain*.



Gambar 4. 3 Persentase *Likelihood* (sumber: Penulis,2026)

*Risk Matrix* juga harus dibuat sesuai (*ABS Guidance of Risk Assessment, 2020*) seperti contoh format yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**. *Risk Matrix* ini dapat dibuat dengan menjelaskan sub-sistem, kegunaan, mode kegagalan, *local effect*, *system effect*, *severity*, *likelihood*, *risk level*, dan rekomendasi pencegahan. Untuk memperoleh nilai kekritisitas pada setiap komponen dapat dilakukan dengan cara membandingkan nilai *severity* dengan *likelihood* yang sudah didapatkan sebelumnya.

Untuk hasil dari tabel *Risk Matrix* yang berisi komponen-komponen pada sistem *bow thruster* dapat dilihat pada **Lampiran 5**.

Tabel 4. 4 *Risk Matrix*

	Low (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Critical (5)
Almost Certain (E) Occurs 1 or more times a year	High	High	Extreme	Extreme	Extreme
Likely (D) Occurs once every 1-10 years	Moderate	High	High	Extreme	Extreme
Possible (C) Occurs once every 10-100 years	Low	Moderate	High	Extreme	Extreme
Unlikely (B) Occurs once every 100-1000 years	Low	Low	Moderate	High	Extreme
Rare (A) Occurs once every 1000-10000 years	Low	Low	Moderate	High	High

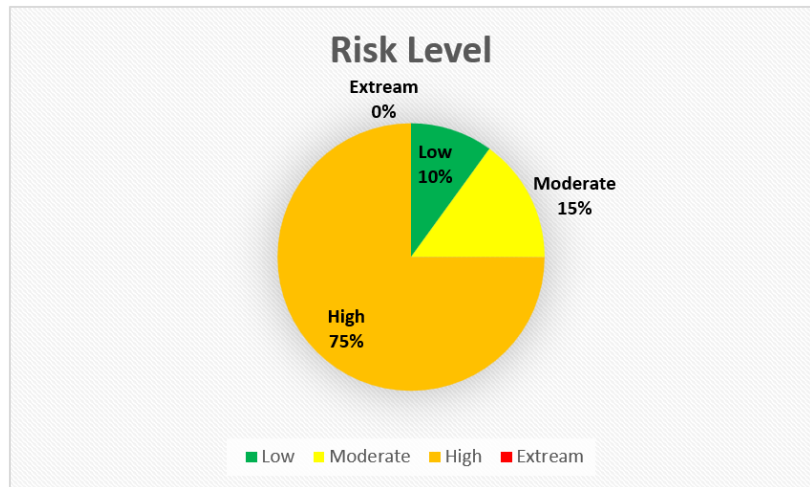
Pada **Tabel 4.5**, item no. 1 termasuk kedalam *risk matrix* dengan tingkat keparahan (*severity*) yang tergolong rendah karena tidak terjadinya *shutdown* pada system tersebut. Dan penilaian frekuensi kemungkinan terjadinya kegagalan (*likelihood*) berdasarkan kegagalan fungsional tersebut masuk kedalam tingkat *almost certain* karena dalam satu tahun terjadi dua kali kegagalan yang sama yakni *overheating*. Hal tersebut menyebabkan penilaian terhadap resiko pada kegagalan fungsional masuk ke dalam kategori resiko tinggi (*high*)

Tabel 4. 5 Analisis FMEA Menggunakan Risk Matrix

No. Item	Operational Mode	Subsystem / Item	Function	Failure Mode	Local Effect	System Effect	Severity	Likelihood	Risk Level	Existing Safeguards / Controls	Recommended Action
1	Maneuvering	Electric Thruster Motor	Convert electrical power into mechanical torque	Overheating	Temperature rise, reduced output	Loss of maneuver ability	Low	Almost Certain	High	Temperature alarm	Improve cooling & load monitoring

Hasil analisis FMEA menggunakan *risk matrix* dari setiap kegagalan item lainnya selama satu tahun ditampilkan pada **Lampiran 6**.

Berikut ini hasil rekapitulasi dari analisis tingkat keparahan pada *bow thruster* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. Terdiri dari 10% tingkat resiko *low*, 15% tingkat resiko *moderate*, 75% tingkat resiko *high*, dan 0% pada tingkat resiko *extream*.



Gambar 4. 4 Risk Level  
(Sumber: Penulis, 2026)

#### 4.6.5 Interpretasi Risk Level

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Risk Matrix*, tingkat risiko kegagalan pada sistem *bow thruster* diklasifikasikan menjadi empat kategori, yaitu *low*, *moderate*, *high*, dan *extreme*. Setiap tingkat risiko memiliki implikasi yang berbeda terhadap tindakan pemeliharaan yang harus dilakukan untuk menjaga keandalan sistem. Adapun interpretasi dari masing-masing tingkat risiko adalah sebagai berikut:

1. *Low Risk*

Kategori *low risk* menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kegagalan relatif kecil dan dampak yang ditimbulkan terhadap sistem tidak terlalu signifikan terhadap operasional kapal. Komponen yang berada pada kategori ini masih dalam kondisi operasional yang baik sehingga tidak memerlukan tindakan perbaikan secara langsung. Penanganan yang dilakukan umumnya berupa pemantauan rutin atau *condition monitoring*, seperti inspeksi berkala, pengecekan kondisi

komponen, serta pemantauan parameter operasi untuk memastikan sistem tetap bekerja secara optimal.

2. *Moderate Risk*

Kategori *moderate risk* menunjukkan bahwa komponen memiliki potensi kegagalan yang dapat mempengaruhi performa sistem apabila tidak dilakukan penanganan yang tepat. Pada tingkat risiko ini diperlukan peningkatan perhatian dalam kegiatan pemeliharaan, seperti peningkatan frekuensi inspeksi, perawatan preventif, serta pengecekan kondisi komponen secara lebih detail. Tindakan ini bertujuan untuk mendeteksi kerusakan sejak dini sehingga kegagalan yang lebih serius dapat dihindari.

3. *High Risk*

Kategori *high risk* menunjukkan bahwa komponen memiliki kemungkinan kegagalan yang cukup besar dengan dampak yang signifikan terhadap sistem *bow thruster*. Apabila komponen pada kategori ini mengalami kegagalan, maka dapat menyebabkan gangguan terhadap kemampuan manuver kapal. Oleh karena itu, komponen dengan tingkat risiko tinggi memerlukan prioritas dalam kegiatan pemeliharaan, seperti perbaikan segera, penggantian komponen sebelum terjadi kegagalan total (*preventive maintenance*), atau penerapan strategi *risk-based maintenance* untuk mengurangi potensi kerusakan yang lebih besar.

4. *Extream Risk*

Kategori *extreme risk* merupakan tingkat risiko paling kritis yang menunjukkan bahwa kegagalan komponen dapat menyebabkan gangguan serius terhadap sistem bahkan berpotensi membahayakan keselamatan operasi kapal. Pada kondisi ini, tindakan yang harus dilakukan adalah penghentian operasi sistem sementara serta penggantian atau perbaikan komponen secara segera sebelum sistem kembali dioperasikan. Risiko pada kategori ini umumnya tidak dapat diterima sehingga harus segera ditangani untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih besar.

#### 4.7 Perhitungan Nilai Keandalan Menggunakan MTBF

Berdasarkan data logbook operasional *bow thruster* selama periode pengamatan, diperoleh total running hours sistem sebesar  $\pm 2.360$  jam dengan jumlah kejadian kegagalan sebanyak 20 kejadian. Nilai tersebut diperoleh dari akumulasi durasi operasi *bow thruster* yang tercatat pada logbook penggunaan harian.

Perhitungan MTBF sistem secara keseluruhan dilakukan menggunakan persamaan:

$$MTBF = \frac{\text{Total Running Hours}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{2360 \text{ Jam}}{20 \text{ Kegagalan}} = 118 \text{ jam} \quad (2)$$

Dengan demikian, nilai MTBF sistem *bow thruster* secara keseluruhan adalah 118 jam, yang berarti rata-rata sistem mengalami satu kegagalan setiap 118 jam operasi.

#### 4.7.1 Perhitungan Nilai MTBF per sub-sistem

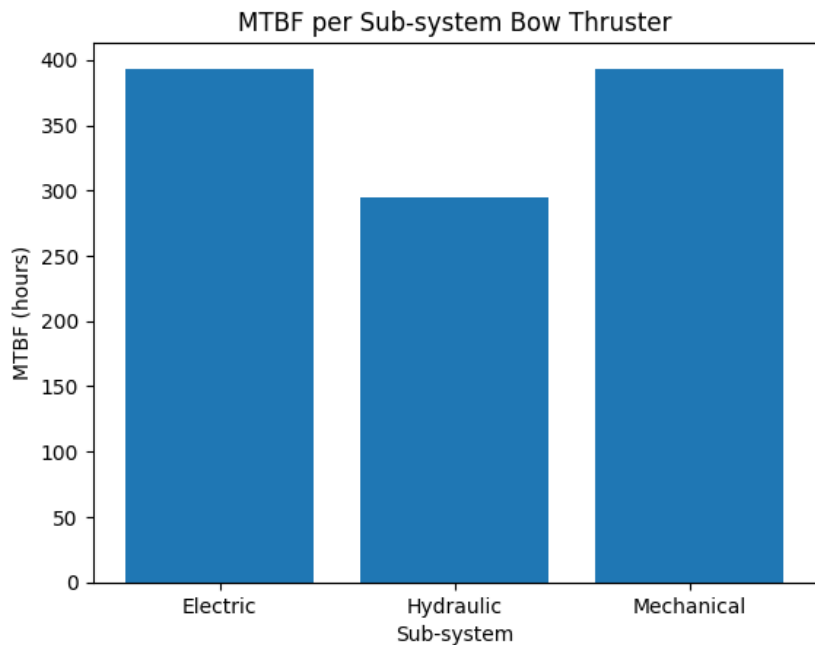
Untuk mendapatkan gambaran yang lebih detail mengenai kontribusi kegagalan terhadap penurunan keandalan sistem, perhitungan MTBF dilakukan berdasarkan pembagian sub-sistem bow thruster, yaitu sistem elektrik, hidrolik, dan mekanik.

Pada **Tabel 4.6.** menunjukkan sub-sistem *hydraulic* memiliki jumlah kegagalan sebanyak 8 kali dalam periode penelitian dengan nilai MTBF sebesar 295 jam, dari hasil tersebut menunjukkan bahwa sub-sistem *hydraulic* memiliki nilai MTBF paling rendah dari ketiga sub-sistem yang diteliti yang berarti sub-sistem *hydraulic* memiliki frekuensi kegagalan paling tinggi dibanding sub-sistem lainnya.

Tabel 4. 6 Nilai MTBF per Sub-Sistem

Sub-sistem	Jumlah Kegagalan	MTBF (jam)
<i>Electric</i>	6	393 jam
<i>Hydraulic</i>	8	295 jam
<i>Mechanical</i>	6	393 jam

**Gambar 4.5.** menunjukkan grafik hasil perhitngan MTBF ketiga sub-sistem yang diteliti.

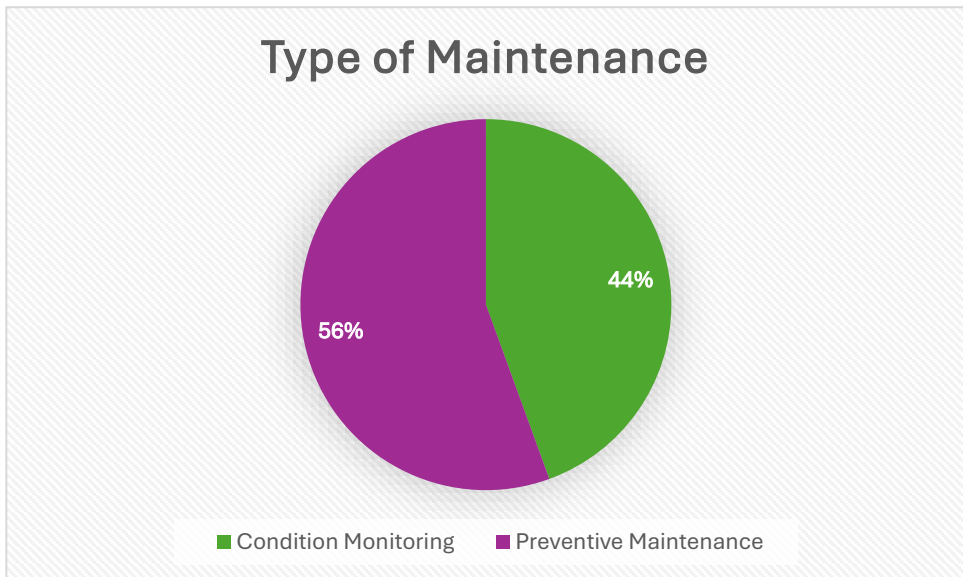


Gambar 4. 5 Grafik Nilai MTBF

#### 4.8 Rekomendasi *Maintenance Bow Thruster*

Penentuan jenis task maintenance dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik mode kegagalan yang diperoleh dari analisis FMEA. Komponen yang memiliki gejala

degradasi bertahap dan dapat dideteksi melalui parameter operasional seperti temperatur, getaran, atau tekanan dikategorikan ke dalam *Condition Monitoring* (CM). Sebaliknya, komponen yang memiliki pola kegagalan akibat keausan atau degradasi umur pakai, seperti seal, filter, dan pelumas, diklasifikasikan sebagai *Preventive Maintenance* (PM). Pendekatan ini selaras dengan prinsip *reliability centered maintenance* yang mengkombinasikan deteksi dini kegagalan dan pencegahan berbasis umur komponen. **Gambar 4.6** menunjukkan hasil persentase tipe *maintenance* dari kedua kategori tersebut. Terdapat 44% untuk *Condition Monitoring* (CM) dan 56% untuk *Preventive Maintenance* (PM).



Gambar 4. 6 *Type of Maintenance*

Rangkuman dari rekomendasi pemeliharaan *bow thruster* dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

#### 4.9 Troubleshooting Diagram Bow Thruster

*Troubleshooting* diagram yang disusun pada penelitian ini merupakan panduan sistematis untuk menentukan langkah penanganan ketika terjadi kegagalan manuver pada sistem *bow thruster*. Diagram ini dirancang berdasarkan hasil analisis FMEA, nilai MTBF, serta pemetaan risiko yang telah dilakukan pada subbab sebelumnya. Dengan demikian, alur keputusan yang ditampilkan pada diagram tidak bersifat intuitif semata, tetapi disusun berdasarkan pola kegagalan dominan dan komponen kritis yang telah teridentifikasi.

Diagram *troubleshooting* ini membagi potensi kegagalan menjadi tiga kategori utama, yaitu kegagalan sistem hidraulik, kegagalan sistem elektrik, dan kegagalan sistem mekanik. Struktur diagram disusun berdasarkan urutan probabilitas dan tingkat risiko kegagalan yang telah dianalisis sebelumnya. Sub-sistem hidraulik ditempatkan pada tahap awal pemeriksaan karena memiliki nilai MTBF paling rendah dan tingkat risiko tertinggi. Pendekatan ini bertujuan untuk mempercepat proses identifikasi akar penyebab kegagalan dan meminimalkan downtime operasional kapal.

Dengan demikian, *troubleshooting* diagram yang disusun dalam penelitian ini berfungsi sebagai implementasi praktis dari hasil analisis keandalan. Diagram tersebut membantu operator dan teknisi dalam menentukan pilihan tindakan secara sistematis ketika terjadi kegagalan, sehingga proses perbaikan menjadi lebih terarah, efisien, dan berbasis data. Integrasi antara FMEA, MTBF, *Risk Matrix*, dan *troubleshooting* diagram menunjukkan

bahwa penelitian ini tidak hanya berhenti pada analisis teoretis, tetapi juga menghasilkan panduan teknis aplikatif untuk mendukung keandalan sistem *bow thruster*. *Troubleshooting diagram bow thruster* dapat dilihat pada **Lampiran 8**.

#### **4.10 Luaran Penelitian**

Penelitian mengenai analisis keandalan dan prediksi kegagalan sistem *bow thruster* pada kapal AHTS tidak hanya menghasilkan analisis teknis mengenai tingkat keandalan sistem, tetapi juga menghasilkan beberapa luaran penelitian yang memiliki nilai akademik dan praktis. Luaran tersebut meliputi publikasi ilmiah, penyusunan modul perhitungan keandalan sistem, serta pendaftaran Hak Kekayaan Intelektual (HAKI) terhadap modul yang dihasilkan. Luaran penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang rekayasa perkapalan serta menjadi referensi dalam penerapan metode analisis keandalan pada sistem propulsi kapal.

##### **4.10.1 Paper Publikasi pada Jurnal Nasional Terakreditasi Sinta**

Salah satu luaran dari penelitian ini adalah penyusunan artikel ilmiah yang dirancang untuk dipublikasikan pada jurnal nasional terakreditasi SINTA. Artikel ilmiah tersebut disusun berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis keandalan dan prediksi kegagalan sistem *bow thruster* menggunakan metode *Mean Time Between Failures (MTBF)* dan *Risk Matrix*. Penyusunan artikel ini bertujuan untuk menyebarluaskan hasil penelitian kepada komunitas akademik dan praktisi di bidang teknik perkapalan serta memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan metode analisis keandalan pada sistem propulsi kapal.

Publikasi ilmiah merupakan salah satu bentuk diseminasi hasil penelitian yang penting dalam dunia akademik, karena memungkinkan hasil penelitian untuk diuji, dikembangkan, serta dimanfaatkan oleh peneliti lain. Melalui publikasi pada jurnal nasional terakreditasi, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan analisis keandalan sistem kapal maupun pengembangan strategi pemeliharaan berbasis risiko pada sistem propulsi kapal. Artikel ilmiah yang dihasilkan dari penelitian ini disajikan secara lengkap pada **Lampiran 9**.

##### **4.10.2 Modul Perhitungan Keandalan dan Prediksi Kegagalan *Bow Thruster* Pada Kapal *Anchor Handling Tug Supply***

Luaran penelitian berikutnya adalah penyusunan Modul Perhitungan Keandalan dan Prediksi Kegagalan *Bow Thruster* Pada Kapal *Anchor Handling Tug Supply*. Modul ini disusun sebagai panduan praktis yang menjelaskan langkah-langkah perhitungan keandalan sistem berdasarkan data jam operasi dan jumlah kejadian kegagalan yang tercatat pada sistem *bow thruster*. Modul tersebut memuat penjelasan konsep dasar keandalan sistem, metode perhitungan MTBF dan *Risk Matrix*, contoh perhitungan, serta interpretasi hasil analisis keandalan.

Penyusunan modul ini bertujuan untuk mempermudah proses pemahaman dan penerapan metode MTBF dan *Risk Matrix* dalam analisis keandalan sistem teknik, khususnya pada sistem propulsi bantu kapal. Dengan adanya modul ini, pengguna dapat melakukan perhitungan keandalan secara sistematis berdasarkan data operasional yang tersedia. Modul ini juga dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran maupun referensi teknis bagi mahasiswa, peneliti, maupun praktisi yang ingin

menerapkan metode MTBF atau *Risk Matrix* dalam analisis keandalan sistem kapal. Modul perhitungan tersebut disajikan pada **Lampiran 10**.

#### **4.10.3 HKI Modul Perhitungan Keandalan dan Prediksi Kegagalan *Bow Thruster* Pada Kapal *Anchor Handling Tug Supply***

Sebagai bentuk perlindungan terhadap hasil karya intelektual yang dihasilkan dalam penelitian ini, Modul Perhitungan Keandalan dan Prediksi Kegagalan *Bow Thruster* Pada Kapal *Anchor Handling Tug Supply* diajukan untuk memperoleh perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI). Pendaftaran HKI bertujuan untuk memberikan pengakuan resmi terhadap inovasi yang dihasilkan serta melindungi hak kepemilikan intelektual atas modul yang telah disusun.

Pendaftaran HKI juga menunjukkan bahwa luaran penelitian tidak hanya memiliki nilai akademik, tetapi juga memiliki potensi pemanfaatan secara praktis dalam bidang pendidikan maupun industri maritim. Dengan adanya perlindungan HKI, modul tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai media pembelajaran maupun alat bantu analisis keandalan sistem pada berbagai aplikasi teknik. Bukti pengajuan dan dokumen terkait pendaftaran HKI modul tersebut disajikan pada **Lampiran 11**.