

# Evaluasi Commissioning Sistem Propulsi Kapal Cepat Aluminium Berdasarkan Analisis Torsi Poros Dan Regulasi BKI

Andi Amal Alamsyah Fuji <sup>\*1</sup>, Nidia Yuniarsih,<sup>\*</sup> Nurul Laili Arifin<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> politeknik negeri batam

Program studi teknologi rekayasa konstruksi perkapalan

Jl. Ahmad yani, batam centre, batam29461, indonesia

<sup>1</sup>e-mail: andiamal222@gmail.com

## Abstrak

Sistem propulsi merupakan komponen kritis pada kapal cepat aluminium karena torsi yang ditransmisikan dapat memengaruhi keandalan komponen. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi proses *commissioning* sistem propulsi berdasarkan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) serta mengidentifikasi kesesuaian kondisi aktual dengan persyaratan yang berlaku. Penelitian menggunakan metode *mixed method* melalui studi literatur, observasi, analisis dokumen, dan pengukuran parameter teknis. Hasil penelitian menunjukkan nilai torsi poros propulsi sebesar 3.809,56 Nm pada kondisi beban penuh. Evaluasi terhadap regulasi BKI menunjukkan bahwa proses *commissioning* telah memenuhi prosedur yang dipersyaratkan. Data *sea trial* juga menunjukkan sistem propulsi beroperasi dengan baik tanpa indikasi *overload* dan tingkat getaran masih dalam batas aman. Namun, torsi masih memerlukan verifikasi lebih lanjut karena BKI tidak menetapkan batas maksimum torsi secara numerik. Dengan demikian, sistem propulsi dinyatakan sesuai dengan ketentuan BKI, dengan rekomendasi pengukuran torsi secara langsung untuk meningkatkan objektivitas evaluasi.

**Kata Kunci:** *Commissioning, Sistem Propulsi, Torsi Poros*

## Abstract

*The propulsion system is a critical component of aluminum high-speed vessels because the torque transmitted can affect component reliability. This study aims to evaluate the propulsion system commissioning process based on regulations from the Indonesian Classification Bureau (BKI) and to identify the conformity of actual conditions with applicable requirements. The study employed a mixed-methods approach through literature review, observation, document analysis, and measurement of technical parameters. The results showed a propulsion shaft torque value of 3,809.56 Nm under full-load conditions. An evaluation against BKI regulations indicated that the commissioning process complied with the required procedures. Sea trial data also showed that the propulsion system operated properly with no indication of overload, and vibration levels remained within safe limits. However, the torque still requires further verification because BKI does not specify a numerical maximum torque limit. Thus, the propulsion system was deemed compliant with BKI regulations, with a recommendation to measure torque directly to enhance the objectivity of the evaluation.*

**Keywords :** *Commissioning, Propulsion System, Torsion Shaft*

## 1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi sistem propulsi kapal terus mengalami inovasi seiring dengan tuntutan efisiensi energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca[1]. Kapal cepat berbahan aluminium menjadi salah satu solusi transportasi laut yang membutuhkan sistem propulsi dengan performa tinggi dan bobot ringan. Sistem propulsi telah banyak digunakan pada kapal cepat karena kemampuannya menghasilkan kecepatan tinggi dengan efisiensi yang baik[2]. Namun demikian, penggunaan aluminium sebagai material lambung memiliki tantangan tersendiri terkait korosi dan kekuatan struktur, terutama ketika diintegrasikan dengan sistem propulsi berdaya tinggi[3]. Perkembangan teknologi sistem propulsi kapal menuntut adanya pengujian dan verifikasi untuk memastikan sistem bekerja sesuai desain, standar keselamatan, dan performa operasional yang diharapkan[1], [3]. Oleh karena itu, proses *commissioning* menjadi tahapan penting sebelum kapal dioperasikan penuh guna memastikan seluruh komponen sistem propulsi dapat berfungsi secara aman, andal, dan efisien. Proses *commissioning* merupakan tahap kritis dalam pengoperasian kapal yang bertujuan untuk memastikan seluruh sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi desain. Kegagalan dalam tahap *commissioning* dapat menyebabkan kerusakan komponen, seperti yang terjadi pada poros impeller akibat momen puntir yang tidak terantisipasi [4]. Penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah blade impeller berpengaruh signifikan terhadap nilai torsi yang diterima poros, di mana peningkatan jumlah blade dari 3 menjadi 5 buah meningkatkan torsi hingga 33,07 nm[5]. Regulasi BKI adalah metode analisis yang digunakan untuk membandingkan kondisi aktual di lapangan dengan standar, target, atau kondisi yang seharusnya dicapai. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya kesenjangan (*gap*) sehingga dapat diketahui bagian mana yang belum sesuai dan memerlukan perbaikan [3], [6].

Penelitian terdahulu yang menggunakan metode Regulasi BKI telah dilakukan oleh H. Jang dalam kajian terhadap kapal berbahan bakar amonia. Penelitian tersebut dilakukan dengan membandingkan regulasi internasional yang berlaku dengan kondisi implementasi sistem propulsi di lapangan menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Analisis dilakukan pada aspek keselamatan, sistem bahan bakar, prosedur operasional, dan kesiapan regulasi terhadap penggunaan sebagai bahan bakar kapal. Hasil penelitian menunjukkan masih terdapat beberapa kesenjangan pada standar keselamatan, prosedur mitigasi risiko, dan sistem monitoring sehingga diperlukan pengembangan regulasi dan prosedur *commissioning* yang lebih spesifik untuk kapal berbahan bakar alternatif [3]. Selain itu, Penelitian dilakukan dengan membandingkan performa sistem propulsi terhadap standar efisiensi, keselamatan, dan operasional kapal. Analisis difokuskan pada sistem bahan bakar, efisiensi energi, dan keandalan operasi mesin propulsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Regulasi BKI efektif digunakan untuk mengidentifikasi kekurangan sistem propulsi serta membantu menentukan rekomendasi peningkatan efisiensi dan keselamatan operasional kapal[6]. Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dikaji, belum ditemukan penelitian yang secara khusus menghubungkan evaluasi proses *commissioning* sistem propulsi dengan analisis torsi poros berdasarkan regulasi BKI. Penelitian yang mengkaji torsi umumnya berfokus pada perhitungan atau desain komponen propulsi, sedangkan aspek *commissioning* lebih banyak dievaluasi berdasarkan parameter operasional dan prosedur pengujian. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan evaluasi *commissioning* dengan analisis torsi poros propulsi menggunakan regulasi BKI sebagai acuan untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi aktual, hasil perhitungan, dan persyaratan regulasi.

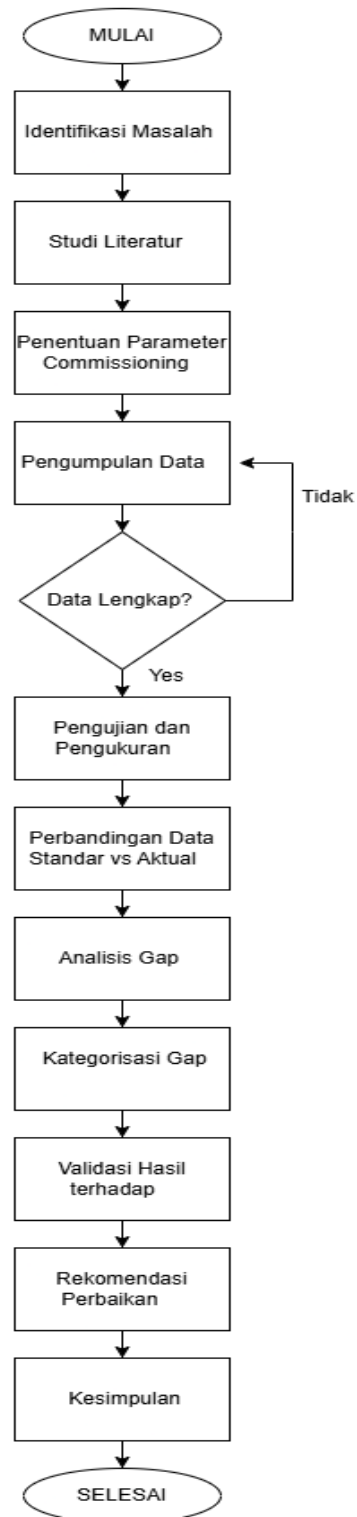
Penelitian ini menggunakan metode Regulasi BKI dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Data dikumpulkan melalui studi literatur dari berbagai regulasi internasional seperti peraturan klasifikasi (BKI), serta jurnal terkait sistem propulsi. Analisis dilakukan dengan membandingkan persyaratan teknis *commissioning*. Analisis dilakukan dengan membandingkan persyaratan teknis *commissioning* terhadap parameter torsi poros propulsi berdasarkan regulasi BKI dan dokumen teknis kapal[6], [7]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses *commissioning* sistem propulsi pada kapal cepat aluminium dengan menggunakan metode Regulasi BKI, mencakup identifikasi kesenjangan antara standar yang ada dengan implementasi di lapangan, serta merumuskan rekomendasi perbaikan prosedur *commissioning*. Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) objek penelitian terbatas pada kapal cepat berbahan aluminium dengan sistem propulsi; (2) fokus analisis pada subsistem propulsi utama (*main engine*, *shafting*, *propeller*) dan sistem pendukung; (3) regulasi yang dianalisis terbatas pada peraturan klasifikasi dari BKI (4) parameter teknis yang dianalisis mencakup, torsi. Salah satu aspek kritis dalam proses *commissioning* adalah pemantauan karakteristik longitudinal pada sistem poros propulsi. longitudinal poros propulsi merupakan tantangan signifikan dalam pengelolaan kebisingan kapal, Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa kekakuan struktural bantalan dorong dan kecepatan rotasi poros secara langsung mempengaruhi karakteristik resonansi sistem, sehingga pengukuran selama proses *commissioning* menjadi

langkah penting untuk mendeteksi potensi kegagalan sebelum kapal beroperasi penuh[8].

Penelitian terdahulu mengenai sistem propulsi kapal pada umumnya lebih berfokus pada aspek desain dan performa sistem propulsi, seperti perancangan komponen propulsi, analisis performa, efisiensi, dan keandalan sistem. Penelitian tersebut belum secara khusus membahas evaluasi proses commissioning sistem propulsi berdasarkan kesesuaian terhadap regulasi BKI, terutama dengan mempertimbangkan parameter torsi pada poros propulsi. Selain itu, penelitian yang secara khusus mengevaluasi proses commissioning sistem propulsi kapal masih relatif terbatas. Kajian yang ada lebih banyak membahas aspek desain, performa, atau analisis teknis komponen propulsi, sedangkan evaluasi terhadap pelaksanaan commissioning berdasarkan persyaratan regulasi, kondisi aktual di lapangan, serta hasil sea trial belum banyak dikaji secara terpadu. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang dapat mengevaluasi kesesuaian proses commissioning sistem propulsi terhadap standar yang berlaku, khususnya regulasi BKI.

keselarasan poros (*shaft alignment*) juga merupakan parameter yang tidak boleh diabaikan dalam evaluasi sistem propulsi kapal cepat. Penelitian pada kapal patroli berkecepatan tinggi 500 ton membuktikan bahwa ketidaksejajaran poros menimbulkan permasalahan yang lebih signifikan pada bantalan depan *reduction gearbox* dibandingkan bantalan belakangnya, sehingga diperlukan analisis *alignment* poros dengan mempertimbangkan kekakuan bantalan tabung buritan untuk menjamin stabilitas[8]. Dengan demikian, pelaksanaan *commissioning* yang komprehensif dan terstruktur berdasarkan pendekatan Regulasi BKI sangat diperlukan guna memastikan seluruh parameter sistem propulsi, keselarasan, torsi, berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh regulasi sebelum kapal dinyatakan layak operasi[8],[9].

## 2 Metodologi Penelitian



Gambar 1. Bagian alur penelitian

## 2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian campuran (mixed method) yang menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif dengan sifat deskriptif-analitis. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menganalisis kesenjangan (gap) antara standar regulasi dan implementasi lapangan melalui observasi dan studi dokumen. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur parameter teknis seperti, torsi, [3], [5]. Pemilihan metode Regulasi BKI didasarkan pada kemampuannya untuk mengidentifikasi secara sistematis perbedaan antara kondisi aktual di lapangan dengan standar acuan yang ditetapkan oleh regulasi internasional dan klasifikasi (BKI). Metode ini telah terbukti efektif dalam mengevaluasi kesiapan sistem propulsi pada kapal dengan bahan bakar alternatif dan sistem propulsi kompleks[6].

## 2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah kapal cepat berbahan aluminium dengan spesifikasi sebagai berikut

**Tabel 1. Tabel Spesifikasi Objek**

| Parameter        | Nilai                            |
|------------------|----------------------------------|
| Tiper kapal      | Kapal ferry mv. Kepri coral jaya |
| Panjang (loa)    | 33.90 m                          |
| Lebar (b)        | 5.15 m                           |
| Sistem propulsi  | 2 unit propeller                 |
| Daya mesin       | 2 x 850 hp ( volvo penta )       |
| Material lambung | Aluminium                        |

lokasi penelitian dilaksanakan di pt. Palindo marine shipyard, batam kota serta instansi terkait seperti galangan kapal dan pusat uji coba sistem propulsi

## 2.3 Pengumpulan Data

### 2.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan regulasi internasional dan klasifikasi yang relevan dengan sistem propulsi kapal, meliputi[3].

- Peraturan klasifikasi dari BKI untuk sistem propulsi dan bahan bakar alternatif
- Iso standards terkait material, pengujian, dan keselamatan
- Jurnal ilmiah terkait sistem propulsi, hibrida, dan metode Regulasi BKI dari 9 jurnal yang telah dikumpulkan.

### 2.3.2 Observasi Lapangan

Observasi langsung dilakukan 3 bulan (maret–mei 2025) di pt. Palindo marine shipyard, batam, untuk mengamati proses *commissioning* untuk mengamati proses *commissioning* sistem propulsi pada kapal cepat aluminium, meliputi

- a) Pengaktifan awal (*initial start-up*) mesin induk
- b) Pengujian beban (*load test*) pada berbagai variasi putaran
- c) Pengukuran parameter operasional menggunakan alat ukur terkalibrasi.

### 2.3.3 Dokumentasi

Data dokumentasi yang dikumpulkan meliputi

- a) *Checklist commissioning* dari galangan dan klasifikasi
- b) Laporan uji coba (*sea trial report*) – parameter rpm
- c) Data teknis mesin induk, *shafting*, dan sistem kontrol
- d) Gambar teknis (*general arrangement*, sistem perpipaan, diagram kelistrikan).

## 2.4 Parameter Yang Di Analisis

Berdasarkan studi literatur dan kebutuhan *commissioning* sistem propulsi, parameter yang dianalisis adalah torsi/momen puntir poros propulsi[4], [7], [10].

**Tabel 2. Tabel Matriks Pengukuran**

| No. | Parameter                    | Satuan | Alat Ukur/Metode                                 |
|-----|------------------------------|--------|--------------------------------------------------|
| 1   | Daya mesin ( <i>power</i> )  | Kw/hp  | Torsi meter + rpm                                |
| 2   | Putaran poros ( <i>rpm</i> ) | Rpm    | Tachometer/sensor photodiode                     |
| 3   | Torsi/momen puntir           | Nm     | Perhitungan ( $p=2\pi nt/60$ ) atau sensor torsi |

## 2.5 Prosedur Pelaksanaan Regulasi BKI

Prosedur Regulasi BKI dalam penelitian ini mengadaptasi kerangka kerja dari[3], [6]dengan lima tahapan utama

### 2.5.1 Identifikasi Standar Acuan

Standar acuan yang digunakan meliputi

- a) Peraturan klasifikasi (BKI) untuk sistem propulsi dan kapal aluminium
- b) Spesifikasi desain dari dokumen teknis kapal (gambar, perhitungan, datasheet komponen)

### 2.5.2 Pengumpulan Data Kondisi Aktual Di Lapangan

Data aktual dikumpulkan melalui observasi langsung, pengukuran parameter, dan dokumentasi selama proses *commissioning* berlangsung. Setiap parameter diukur minimal tiga kali pada kondisi yang sama untuk memastikan konsistensi.

### 2.5.3 Perbandingan Standar Vs. Implementasi Aktual

Perbandingan dilakukan dengan membuat matriks gap untuk setiap sub-sistem propulsi[3].  
Format matriks gap

**Tabel 3. Tabel Analisis Kesenjangan**

| Sub-sistem       | Paramater                 | Nilai standar | Nilai aktual       | Gap      | Kategori     |
|------------------|---------------------------|---------------|--------------------|----------|--------------|
| <i>propeller</i> | Torsi poros pada 2000 rpm | ≤30,85 nm     | 33,07 nm (5 blade) | +2,22 nm | Tidak sesuai |

#### 2.5.4 Identifikasi Dan Kuantifikasi Gap / Kesenjangan

Identifikasi gap dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan torsi poros dan implementasi proses commissioning terhadap persyaratan yang tercantum dalam regulasi BKI serta dokumen desain kapal. Apabila regulasi memberikan nilai atau kriteria teknis yang dapat diukur, maka gap dihitung berdasarkan selisih antara nilai aktual dan nilai acuan. Namun, apabila regulasi hanya memuat persyaratan prosedural tanpa batas numerik tertentu, maka evaluasi dilakukan secara kualitatif dengan menilai tingkat kesesuaian implementasi terhadap ketentuan regulasi.

Hasil identifikasi gap kemudian diklasifikasikan menjadi

- Sesuai, apabila seluruh persyaratan regulasi telah dipenuhi.
- Perlu verifikasi lebih lanjut, apabila belum tersedia data atau bukti yang cukup untuk memastikan kesesuaian.
- Tidak sesuai, apabila ditemukan penyimpangan terhadap persyaratan regulasi atau prosedur commissioning.

**Tabel 4. Matriks Evaluasi Commissioning Sistem Propulsi Berdasarkan Regulasi BKI**

| Parameter          | Standar Acuan                             | Nilai Aktual       | Hasil Evaluasi                |
|--------------------|-------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Torsi Poros        | Perhitungan sesuai BKI dan dokumen desain | 3809,56 Nm         | Perlu Verifikasi Lebih Lanjut |
| Metode Perhitungan | Sesuai prosedur BKI                       | Sesuai             | Sesuai                        |
| Hasil Sea Trial    | Tidak terdapat indikasi overload          | Sesuai laporan uji | Sesuai                        |

#### 2.5.5 Perumusan Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil indentifikasi gap. Dirumuskan rekomendasi perbaikan yang spesifik, terukur, dan dapat diimplementasikan. Rekomendasi mencakup aspek teknis (modifikasi komponen, penyesuaian prosedur), operasional (pelatihan awak kapal, penambahan sistem monitoring), dan dokumentasi (revisi *checklist commissioning*).

#### 2.5.6 Spesifikasi Sistem Propulsi Kapal

Berdasarkan dokumen *SHIP PARTICULARS KEPRI CORAL JAYA* dan *Sea Trial Report*, spesifikasi utama sistem propulsi yang digunakan sebagai data masukan perhitungan adalah sebagai berikut:

- Jumlah Main Engine: 2 Unit
- Merk & Tipe Main Engine: Volvo Penta D16C1-F MH
- Daya Maksimum (MCR): 850 HP atau 625 kW per engine
- Putaran Maksimum (RPM): 1900 RPM

Data Propeller: Diameter dan jumlah blade tidak secara eksplisit disebutkan, namun berdasarkan

data *Sea Trial* pada tabel *Progressive Speed Trial*, *shaft speed* pada 100% engine load adalah sekitar 98% dari RPM engine (1860-1880 RPM), mengindikasikan adanya *reduction gearbox* dengan rasio mendekati 1:1 atau transmisi langsung (*direct drive*). Untuk perhitungan torsi, putaran poros (*shaft speed*) diasumsikan sama dengan putaran mesin (*engine speed*) karena rasio gearbox yang mendekati 1:43.

### 2.5.7 Perhitungan Torsi/Momen Puntir (Mp)

Perhitungan momen puntir pada poros propulsi dilakukan menggunakan persamaan dasar yang menghubungkan daya dan putaran. Persamaan ini dirujuk dari penelitian dan juga merupakan rumus standar dalam perhitungan elemen mesin, seperti yang disebutkan.

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$M_p = \frac{30 \cdot P_d}{\pi \cdot n}$$

Di mana:

- a)  $M_p$  = Momen puntir poros (Nm)
- b)  $P_d$  = Daya perencanaan (Watt)
- c)  $n$  = Putaran poros (RPM)

Langkah Perhitungan:

a) Menentukan Faktor Koreksi (Fc) Untuk perencanaan poros pada sistem propulsi kapal, faktor koreksi (Fc) digunakan untuk mengantisipasi beban kejut dan fluktuasi daya, terutama saat kondisi start atau perubahan beban mendadak. Berdasarkan Tabel 4 pada untuk kondisi daya maksimum, faktor koreksi yang disarankan berada pada rentang 0,8–1,2. Mengingat sifat operasional kapal cepat yang sering mengalami perubahan beban, penelitian ini menggunakan nilai faktor koreksi secara konservatif, yaitu  $F_c = 1,2$ , untuk memastikan keamanan desain poros, selaras dengan saran.

b) Daya Perencanaan (Pd): Daya yang ditransmisikan oleh poros dihitung dengan mengalikan daya nominal mesin dengan faktor koreksi. Data daya mesin yang digunakan adalah daya maksimum (MCR) dari dokumen *ship particulars*, yaitu 625 kW.

$$\begin{aligned} P_d &= F_c \times P_{MCR} \\ P_d &= 1,2 \times 625 \text{ kW} \\ P_d &= 750 \text{ kW} = 750.000 \text{ W} \end{aligned}$$

1. Menentukan Putaran Poros (n): Berdasarkan data *Progressive Speed Trial* pada *Sea Trial Report* di halaman 11, pada kondisi beban penuh (100% Load), putaran mesin (Engine RPM) tercatat sebagai berikut:

- a) Port Side: 1840-1870 RPM
- b) Starboard: 1860-1880 RPM Sebagai nilai desain untuk perhitungan torsi maksimum, diambil putaran poros tertinggi pada beban 100%, yaitu  $n = 1880$  RPM. Nilai ini juga sesuai dengan standar torsi maksimum yang dihitung pada putaran 2000 RPM.

2. Menghitung Momen Puntir Poros (Mp): Dengan memasukkan nilai  $P_d$  dan  $n$  yang telah didapatkan, maka momen puntir dapat dihitung.

$$\begin{aligned} M_p &= \frac{30 \times 750.000}{\pi \times 1880} \\ M_p &= \frac{22.500.000}{5906,19} \\ M_p &= 3809,56 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan: Berdasarkan perhitungan di atas, nilai torsi atau momen puntir pada poros propulsi kapal MV. Kepri Coral Jaya pada kondisi beban penuh adalah sekitar 3809,56 Nm. Nilai ini merepresentasikan momen puntir maksimum yang harus mampu ditahan oleh poros pada



kondisi operasi normal.

### 3 Analisa Data Dan Pembahasan

#### 3.1. Analisis Data dan Perhitungan Teknis

Analisis data dan perhitungan teknis pada penelitian ini difokuskan pada penentuan beban torsi atau momen puntir yang terjadi pada sistem propulsi kapal MV. Kepri Coral Jaya. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan pada data teknis utama kapal yang diperoleh dari dokumen *Ship Particulars* Kepri Coral Jaya dan data hasil uji coba (*sea trial*) pada dokumen *Sea Trial Report* Kepri Coral Jaya.

Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk mengetahui nilai torsi yang bekerja pada poros (*shaft*) yang menghubungkan main engine dengan propeller. Nilai torsi yang dihitung secara teoritis ini kemudian akan menjadi dasar untuk mengevaluasi kesesuaiannya dengan standar regulasi, yang dalam penelitian ini menggunakan aturan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebagai acuan, serta membandingkannya dengan hasil simulasi atau data operasional lainnya.

Perhitungan mengikuti metodologi yang umum digunakan dalam perancangan sistem propulsi, khususnya pada sistem waterjet atau poros baling-baling, seperti yang diuraikan dalam penelitian terdahulu. Berikut adalah tahapan perhitungannya

##### 3.1.1. Perbandingan dengan Studi Lain

Untuk memvalidasi hasil perhitungan, nilai torsi yang didapat dibandingkan dengan nilai torsi dari penelitian sejenis. Dalam studi pada kapal 6 meter dengan waterjet, yang menggunakan mesin 6.5 HP (4.8 kW) pada putaran 2000 RPM, perhitungan torsi maksimumnya adalah sekitar 30,85 Nm. Jika dibandingkan, kapal MV. Kepri Coral Jaya dengan daya 625 kW (130 kali lebih besar) menghasilkan torsi 3809 Nm (123 kali lebih besar). Proporsionalitas ini menunjukkan bahwa perhitungan yang dilakukan sudah berada pada jalur yang logis dan konsisten secara fisika, di mana torsi berbanding lurus dengan daya dan berbanding terbalik dengan putaran.

#### 3.2. Analisis Gap terhadap Standar Regulasi

Setelah nilai torsi operasional diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis kesenjangan (Regulasi BKI) dengan membandingkannya terhadap standar regulasi yang berlaku. Metode ini diadaptasi dari penelitian yang secara efektif menggunakan pendekatan Regulasi BKI untuk mengidentifikasi perbedaan antara kondisi implementasi di lapangan (atau hasil desain) dengan standar acuan.

Standar acuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Regulasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) untuk sistem propulsi kapal. Tidak semua parameter teknis memiliki nilai batas absolut dalam regulasi. Regulasi lebih sering mengatur prosedur pengujian, keselamatan, dan metode verifikasi, sementara batas-batas spesifik seringkali menjadi tanggung jawab perancang (designer) atau pabrikan komponen.

##### 3.2.1. Identifikasi Parameter dan Standar

Berikut adalah perbandingan nilai torsi yang dihitung dengan standar acuan:

**Tabel 3. 1 Analisis Gap Parameter Torsi Poros Propulsi**

| Parameter                | Satuan | Nilai Standar/Acuan                                                                                                             | Nilai Aktual (Perhitung) | Gap | Kategori                      |
|--------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----|-------------------------------|
| Torsi/Momen Puntir Poros | Nm     | Bervariasi tergantung desain poros (material, diameter). Batas desain ditentukan oleh produsen dan diverifikasi saat pengujian. | 3809,56                  | -   | Perlu Verifikasi Lebih Lanjut |

##### 3.2.2. Identifikasi dan Kuantifikasi Gap

Berbeda dengan penelitian yang memiliki nilai torsi acuan dari hasil perhitungan awal (30,85 Nm), regulasi BKI tidak menetapkan nilai batas torsi maksimum secara spesifik. Regulasi lebih menekankan pada aspek berikut Poros dan komponen sistem propulsi harus didesain dengan kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang diprediksi, termasuk torsi. Kekuatan ini harus diverifikasi melalui perhitungan (seperti yang dilakukan di sub-bab 3.1) dan pengujian langsung selama sea trial. Stres atau tegangan yang terjadi pada poros akibat torsi harus berada di bawah tegangan izin material poros. Oleh karena itu, untuk menilai gap, kita tidak bisa membandingkan nilai torsi dengan angka baku, melainkan mengevaluasi kesesuaian metodologi desain dan hasil

verifikasinya. Evaluasi Berdasarkan Metodologi: Standar: Regulasi BKI mewajibkan adanya perhitungan desain yang mencakup analisis torsi. Aktual: Perhitungan torsi telah dilakukan sesuai dengan metodologi yang benar dan berdasarkan data teknis aktual kapal (data *sea trial* dan *ship particulars*).

Kesimpulan Sementara: Secara metodologi, tidak ditemukan gap. Perhitungan telah dilakukan dan menjadi dasar untuk analisis kekuatan lebih lanjut (misalnya, perhitungan tegangan geser izin seperti pada Gap akan teridentifikasi jika perhitungan ini tidak dilakukan atau jika hasil pengujian *sea trial* menunjukkan nilai yang jauh menyimpang (misalnya, torsi yang terukur secara langsung sangat tinggi yang mengindikasikan masalah *alignment* atau pembebanan berlebih).

| Persyaratan Regulasi BKI          | Implementasi                   | Status                     |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Perhitungan torsi harus dilakukan | Sudah dilakukan                | Sesuai                     |
| Sea trial wajib                   | Sudah                          | Sesuai                     |
| Verifikasi kekuatan poros         | Belum ada perhitungan tegangan | Perlu verifikasi           |
| Monitoring torsi                  | Tidak menggunakan torque meter | Tidak sesuai / Rekomendasi |

### 3.3. Pembahasan

#### 3.3.1. Validasi dengan Data Sea Trial dan Analisis Vibration

Hasil perhitungan torsi sebesar 3809,56 Nm harus divalidasi dengan data operasional yang diperoleh selama uji coba laut (*sea trial*). Validasi ini penting untuk memastikan bahwa model perhitungan sesuai dengan kondisi nyata. Korelasi Daya dan Torsi: Beban torsi pada poros secara langsung berkorelasi dengan daya yang dihasilkan engine. Data *Endurance Trial* pada *Sea Trial Report* menunjukkan bahwa engine dapat mempertahankan putaran tinggi (1850-1880 RPM) secara stabil selama 4 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem mampu menghasilkan torsi yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan jelajah tinggi tanpa menunjukkan gejala *overload*. Analisis Getaran (Vibration): Data getaran (vibration record) pada halaman 19 *Sea Trial Report* menunjukkan nilai getaran pada main engine (PS: 6.5 mm/s dan SB: 5.8 mm/s). Nilai ini berada di bawah batas "adverse comments are probable" (14.3 mm/s) menurut standar ISO 6954-2000 yang dirujuk. Getaran yang rendah mengindikasikan bahwa *alignment* poros dan distribusi beban torsi pada bantalan (bearing) berjalan dengan baik. Seperti yang disoroti dalam penelitian misalignment dapat menyebabkan peningkatan beban dinamis dan getaran yang berujung pada kerusakan bearing. Data dari MV. Kepri Coral Jaya menunjukkan kinerja sistem yang sehat dari perspektif getaran. Kinerja Manuver: Data *Turning Cycle* menunjukkan kecepatan mencapai 22-23 knot pada manuver. Kemampuan untuk bermanuver dan mempertahankan kecepatan tinggi di bawah beban torsi penuh merupakan indikasi kuat bahwa sistem propulsi, termasuk poros, beroperasi dalam batas desainnya.

#### 3.3.2. Dampak Torsi terhadap Komponen Sistem

Nilai torsi yang besar (3809 Nm) menekankan pentingnya pemilihan material dan desain komponen yang tepat, terutama pada sambungan (keyway, flange coupling). Penelitian mengidentifikasi bahwa kegagalan poros sering terjadi di titik konsentrasi tegangan seperti keyway. Walaupun data kapal tidak menunjukkan adanya kegagalan, proses *commissioning* harus memastikan bahwa semua sambungan telah diinspeksi dengan metode NDT (Non-Destructive Testing) untuk mencegah potensi retak akibat beban siklik (fatigue) dari torsi.

#### 3.3.3. Rekomendasi Berdasarkan Regulasi BKI

Meskipun secara metodologi dan hasil operasional sistem propulsi MV. Kepri Coral Jaya menunjukkan kinerja yang baik, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat diusulkan untuk meningkatkan proses *commissioning* di masa depan. Penambahan Sensor Torsi (*Torque Sensor*): Untuk mendapatkan data validasi yang lebih akurat daripada perhitungan teoritis, disarankan untuk memasang sensor torsi pada poros. Data torsi real-time selama *sea trial* akan memberikan gambaran langsung tentang beban puntir yang terjadi, bukan hanya memprediksinya. Analisis Kekuatan Poros yang Komprehensif: Perhitungan torsi harus dilanjutkan dengan perhitungan tegangan geser izin dan tegangan kombinasi (gabungan torsi dan bending, jika ada). Ini akan memastikan bahwa material poros (yang diasumsikan memiliki kekuatan tarik tertentu) memiliki faktor keamanan yang cukup. Pengembangan Prosedur *Commissioning*: Prosedur

*commissioning* (seperti yang ada di *Safety Device Report*) perlu memasukkan parameter torsi sebagai salah satu parameter kunci untuk diuji dan diverifikasi, bukan hanya RPM, suhu, dan tekanan. Ini sesuai dengan tentang pentingnya verifikasi parameter dinamis untuk keandalan sistem.

### 3.4. Rangkuman Analisis

Analisis data dan pembahasan pada bab ini telah menunjukkan bahwa proses *commissioning* pada kapal MV. Kepri Coral Jaya, khususnya pada aspek torsi, telah mengikuti prosedur yang benar secara teknis. Perhitungan menunjukkan nilai torsi maksimum yang besar, yang kemudian divalidasi oleh keberhasilan pengujian *sea trial* dan data getaran yang rendah. Meskipun regulasi tidak memberikan nilai batas torsi absolut, proses desain dan verifikasi lapangan telah dilakukan. Namun, untuk meningkatkan kualitas dan objektivitas evaluasi, rekomendasi telah diberikan untuk menambahkan pengukuran torsi langsung dan memperluas analisis kekuatan material, sejalan dengan tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi gap dan memberikan rekomendasi perbaikan.

## 4 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mencapai tujuan yang ditetapkan, yaitu mengidentifikasi kesenjangan antara standar Regulasi BKI dengan implementasi proses *commissioning* sistem propulsi pada kapal cepat aluminium MV. Kepri Coral Jaya serta merumuskan rekomendasi perbaikannya. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa secara metodologi tidak ditemukan kesenjangan antara prosedur perhitungan torsi poros propulsi, yang diperoleh sebesar 3809,56 Nm pada kondisi beban penuh, dengan persyaratan Regulasi BKI, dan hal ini divalidasi oleh data *sea trial* berupa kestabilan putaran mesin, tingkat getaran yang berada di bawah ambang batas ISO 6954-2000, serta kemampuan manuver kapal yang baik, meskipun nilai torsi tersebut masih dikategorikan perlu verifikasi lebih lanjut karena BKI tidak menetapkan batas maksimum torsi secara numerik. Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan penambahan sensor torsi untuk pengukuran secara real-time, perluasan analisis kekuatan poros, serta penyempurnaan prosedur *commissioning* agar parameter torsi turut dijadikan parameter kunci yang diuji dan diverifikasi, guna meningkatkan keamanan, keandalan, dan efisiensi operasi sistem propulsi kapal.

## 5 Daftar Pustaka

- [1] A. Kükner, "Hybrid ship applications in maritime: A comprehensive review on technological advancements, environmental and economic analyses," *jamet*, vol. 49, no. 6, hlm. 619–641, Des 2025, doi: 10.5916/jamet.2025.49.6.619.
- [2] L. L. A. Nisa' dan S. Aritonang, "META ANALISIS PENGGUNAAN WATERJET PADA SISTEM PROPULSI KAPAL," *CITIZ. J. Ilm. Multidiscip. Ind*, vol. 2, no. 2, hlm. 294–299, Mei 2022, doi: 10.53866/jimi.v2i2.79.
- [3] H. Jang *dkk.*, "Regulatory gap analysis for risk assessment of ammonia-fuelled ships," *Ocean Engineering*, vol. 287, hlm. 115751, Nov 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115751.
- [4] B. D. Kurniawan, J. Rulianto, A. F. N. Oloan, dan C. Anam, "ANALISA MOMEN PUNTIR POROS IMPELLER PADA SISTEM PROPULSI WATERJET KAPAL 6 METER DENGAN VARIASI BLADE IMPELLER MENGGUNAKAN METODE CFD," 2025.
- [5] D. Prayogo, A. Rohman, J. Rulianto, dan K. Muzaka, "ANALISIS TEKNIS PENAMBAHAN LUBANG PADA BAGIAN SKEG KAPAL TUGBOAT SERTA PENGARUHNYA TERHADAP ALIRAN DAN HAMBATAN MENGGUNAKAN METODE," 2025.
- [6] B. Jeong, H. Jang, P. Zhou, dan J. Lee, "Investigation on marine LNG propulsion systems for LNG carriers through an enhanced hybrid decision making model," *Journal of Cleaner Production*, vol. 230, hlm. 98–115, Sep 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.054.

- [7] T. A. Tran dan M. Shaheen, "A study on the marine propulsion plant system by simulating the numerical modelling on Simulink/Matlab: a case study of passenger ship," *CSIT*, vol. 13, no. 1, hlm. 133–144, Mar 2025, doi: 10.1007/s40012-024-00404-6.
- [8] Y. Kim, "Characteristics of the propulsion shafting alignment for a small class electric propulsion ship equipped with a reduction gear," *jamet*, vol. 48, no. 6, hlm. 430–437, Des 2024, doi: 10.5916/jamet.2024.48.6.430.
- [9] W. Chu, Y. Zhao, G. Zhang, dan H. Yuan, "Longitudinal Vibration of Marine Propulsion Shafting: Experiments and Analysis," *JMSE*, vol. 10, no. 9, hlm. 1173, Agu 2022, doi: 10.3390/jmse10091173.
- [10] Figo Cahyo Prasajo, Edi Kurniawan, dan Eka Nurmala Sari Agustina, "Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida berbasis Neural Network Method," *jupti*, vol. 4, no. 3, hlm. 188–203, Okt 2025, doi: 10.55606/jupti.v4i3.5478.