

Analisis Torsi pada Poros Kapal Baruna Jaya I Menggunakan *Shaft Power Measurement*

Kusnindar Priohutomo^{1,a)}, Chandra Permana²

^{1,2}Balai Teknologi Hidrodinamika-BPPT,
Jl. Hidrodinamika, Kompleks ITS, Surabaya, Indonesia

^{a)} kusnindar.priohutomo@gmail.com (corresponding author)

Abstrak

Pengukuran performa poros (torsi) kapal merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghitung atau mengetahui performa dari mesin kapal. Pengukuran performa ini dilakukan pada saat mesin dan poros kapal belum dipasang atau dalam keadaan kapal baru. Untuk pengukuran performa (torsi) poros kapal pada saat kapal sudah berlayar lama tidak bisa dilakukan dengan menggunakan metode seperti pada saat mesin dan poros dalam keadaan baru. Terdapat beberapa kesulitan yang menyebabkan metode ini sulit untuk dilakukan terutama untuk mengukur torsi yang bekerja pada poros kapal. Hal ini disebabkan oleh minimnya ruang untuk melakukan pengukuran pada poros kapal. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah melakukan pengukuran performa poros (torsi) kapal adalah menggunakan peralatan yang bernama *Shaft Power Measurement*. Dengan peralatan ini maka dapat diketahui torsi, kecepatan dan daya yang bekerja pada poros (*shaft horse power*/SHP) untuk nantinya diturunkan menjadi daya yang bekerja pada mesin kapal (*effective horse power*/EHP). Hasil yang didapatkan dari pengukuran torsi pada poros kapal adalah untuk mesin 1 dengan *gearbox* 1 mempunyai daya efektif (EHP) sebesar 822.56 HP dan untuk mesin 2 dengan *gearbox* 2 mempunyai daya efektif (EHP) sebesar 659.61 HP.

Kata kunci: daya efektif, daya poros, kapal Baruna Jaya, *shaft power measurement*

Abstract

Measurement of torque on the ship's shaft during sailing is an important thing needed to determine the performance of the ship. But there are difficult in the process of measuring torque on the ship's shaft, because there is limited space to make torque measurements and the measurement methods used. The method commonly used in ship torque measurements is when the ship's engine is in new condition or before the engine is installed on the ship, but if the engine has been installed on the ship it will be difficult if the engine is released to be brought to the factory and measured. At this time there is a new method in measuring torque on the ship's shaft, namely by direct measurement on the ship's shaft on sailing conditions using Shaft Power Measurement (SPM) equipment. The results of this paper is from engine 1 with gearbox 1, effective horsepower (EHP) is 822.56 HP and from engine 2 with gearbox 2, effective horse power (EHP) is 695.61 HP.

Keywords: Baruna Jaya ship, effective horsepower, shaft horsepower, shaft power measurement

I. PENDAHULUAN

Pengukuran torsi pada poros kapal secara periodik diperlukan untuk mengetahui performa kapal secara periodik. Dimana performa kapal ini dipengaruhi salah satunya adalah dengan performa poros (*shaft*) kapal. Oleh karena itu penting untuk mengetahui performa dari poros kapal. Poros kapal adalah bagian yang menghubungkan mesin (*engine*) kapal dengan baling-baling (*propeller*) kapal [1] [2]. Permasalahan utama didalam pengukuran performa poros kapal adalah cara atau metode pengukuran yang akan digunakan didalam menganalisis performa poros kapal. Pengukuran performa poros kapal dilakukan pada saat mesin kapal dan poros kapal dalam kondisi baru atau sebelum mesin dipasang pada kapal. Parameter yang dilakukan didalam pengukuran performa kapal antara lain pengukuran performa poros (torsi) kapal. Pengukuran torsi dilakukan untuk mendapatkan

nilai *shaft horse power* (SHP) sehingga dari nilai SHP dapat diturunkan menjadi nilai *brake horse power* (BHP) dari mesin kapal. Permasalahan muncul disaat kapal dan mesin kapal tidak berada pada kondisi baru, untuk melakukan pengukuran performa poros kapal banyak kendala yang ditemui antara lain keterbatasan ruang untuk melakukan pengukuran performa poros kapal dan juga peralatan yang akan digunakan didalam pengukuran performa poros kapal.

Pada saat ini terdapat metode baru dalam pengukuran performa poros (torsi) kapal yaitu dengan pengukuran langsung pada poros kapal pada kondisi berlayar dengan menggunakan peralatan seperti menggunakan *Fiber Bragg Grating (FBG) Sensor* [3]. FBG sensor adalah sensor yang berbasis strain sensor yang direkankan atau ditempelkan ke permukaan poros suatu benda yang berputar. Saat poros (*shaft*) berada dibawah tekanan

karena berputar maka akan menghasilkan torsi yang akan meng-induksi FBG sensor dan *Bragg wavelength*. Dengan rekatnya FBG sensor ke permukaan poros, maka hasil dari *Bragg wavelength* dapat mengakuisisi data perubahan torsi pada poros. Sudah banyak *paper* yang membahas tentang pengukuran torsi pada poros kapal antara lain *paper* yang menghasilkan kesimpulan bahwa untuk menganalisis torsi engine bisa dilakukan tanpa menggunakan torsimeter [4]. Untuk mendapatkan *torsi engine* harus melakukan beberapa pengukurannya antara lain pengukuran komponen engine seperti *fuel pump* dari penggunaan bahan bakar. Karena dari kedua komponen ini nantinya didapatkan data efisiensi engine selama pengukuran berlangsung. Metode ini membutuhkan pengukuran tekanan atmosfer agar lebih akurat pembacaannya. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan metode ini hasil yang terukur lebih presisi dibandingkan menggunakan metode lain yang juga tidak menggunakan torsimeter untuk mengukur torsi *engine* pada kapal.

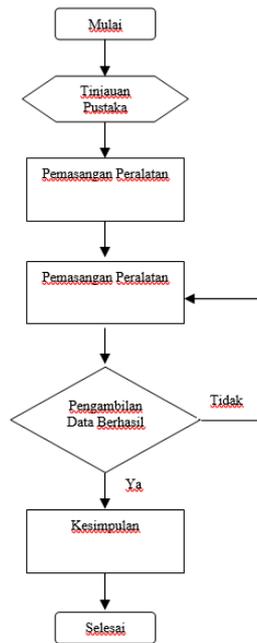
Pada *paper* lain disajikan tentang observasi torsi pada shaft menggunakan *control of dry clutch engagement* untuk kendaraan [5]. Dimana bagian krusial yang memerlukan perhatian adalah *engaging time and controlling the clutch normal force* dalam hubungannya dengan *shift quality*. Konsep yang dibahas pada *paper* ini adalah observasi *drive shaft torque*, dimana observasi ini dilakukan pada kondisi nyata. Dari observasi ini akan dimasukkan ke control input sebagai *feedforward*, signal osilasi dari observasi setelah clutch engagement mungkin mempengaruhi performa dari torsion control. Observasi shaft torsi dilakukan pada *clutch stick* dan *clutch slip*. Kesimpulan dari *paper* ini adalah observasi berdasarkan torsion *control strategy* dapat meningkatkan performa dari *speed controller*. Ada juga *paper* yang membahas tentang pengukuran *shaft* torsi pada fasilitas turbin yang ada di Oxford Turbine Research Facility (OTRF) [6]. Fasilitas ini nantinya akan dilakukan *upgrade* untuk mendapatkan efisiensi turbin yang lebih baik, tetapi sebelum dilakukan *upgrade* maka dilakukan terlebih dahulu pengukuran torsi pada *shaft* turbin untuk mendapatkan data efisiensi turbin sebelum dilakukan *upgrade*. Pada *paper* ini juga dijelaskan pengembangan sistem pengukuran. Sistem pengukuran tersebut telah dikalibrasi, termasuk efek dari suhu untuk mendapatkan standart primer. Kesimpulan dari *paper* ini desain sistem pengukuran *shaft* torsi berbasis *train gauge* dapat menghasilkan data yang nantinya menjadi bagian dari pengukuran efisiensi sistem dari Oxford Turbine Research Facility (OTRF). Hasil kalibrasi *strain gauge* sistem didapatkan angka $\pm 0.13\%$ and $\pm 0.183\%$ to 95% *confidence*.

Paper lain meneliti tentang metode dan instrumentasi untuk pengukuran torsi dan kecepatan untuk *marine diesel engine* [7]. Pengukuran torsi dan kecepatan menjadi tantangan bagi banyak industri terutama industri maritim, penerbangan dan otomotif. Pengukuran ini penting untuk penelitian lebih lanjut terkait pengembangan mesin *diesel* modern. Nilai pengukuran yang dihasilkan dari pengujian ini digunakan sebagai

input data untuk menghitung kebutuhan *power* untuk sebuah kapal. Pengukuran yang berlangsung selama kapal berlayar memastikan keamanan selama pengoperasional semua peralatan permesinan yang ada dikapal, mengurangi resiko pekerjaan perbaikan yang tidak terencana, meningkatkan performa mesin dengan menurunkan konsumsi bahan bakar, mengurangi CO₂ dan emisi NO_x. *Paper* lain meneliti tentang pengukuran shaft *power* pada marine propulsion system dimana pengukuran dilakukan pada kondisi kapal berlayar [8]. Peralatan yang digunakan untuk pengukuran *shaft power measurement* pada *paper* ini adalah berdasarkan *magnetic resonances*. Dimana peralatan memiliki kemampuan mengirimkan 70 mA pada range 5 sampai 20 mm. Pada *paper* ini ditunjukkan bahwa pengukuran *shaft power* menggunakan teknik *magnetic resonance* memberikan hasil yang lebih baik dikarenakan untuk pengukuran *dynamic circumstance* memerlukan kestabilan tinggi. Pada tipe *battery powered shaft power measurement* memiliki keterbatasan tidak dapat memonitor pergerakan dinamis dari shaft, sehingga informasi yang terbaca pada alat ukur menjadi kurang akurat. Sedangkan pada tipe *magnetic resonance* dapat memonitor pergerakan dinamis dari shaft dikarenakan pada tipe ini *electromagnetic wave frequency* dari transmitter secara konsisten mengirimkan *resonance frequency*. Berdasarkan *paper* tersebut bahwa penting untuk melakukan pengukuran performa poros (torsi) agar dapat mengetahui performa atau kemampuan dari mesin yang sedang beroperasi. Pada *paper* ini pembahasan difokuskan pada pemasangan dan pengukuran *power shaft*/poros kapal Baruna Jaya menggunakan peralatan *Shaft Power Measurement*. Hasil dari pengukuran akan didapatkan torsi, daya dan kecepatan pada poros. Torsi pada poros disebut *Shaft Horse Power/SHP*, dengan menggunakan pendekatan perhitungan maka dapat dihitung daya efektif pada mesin kapal (*Effective Horse Power/EHP*). Dengan mengetahui nilai EHP mesin kapal Baruna Jaya saat ini maka dapat menjadi dasar keputusan apakah kapal Baruna Jaya perlu dilakukan proses *power ulang (repowering)*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan *Shaft Power Measurement* yang digunakan pada pengukuran performa poros (torsi) kapal Baruna Jaya adalah milik Balai Teknologi Hidrodinamika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dengan tipe *Shaft Power Measurement merk Datum tipe 430*. Diagram alir (*flowchart*) metodologi penelitian ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

A. Spesifikasi Peralatan Shaft Power Measurement Series 430

Peralatan ini digunakan untuk mengukur torsi, kecepatan dan power dari sebuah *shaft*. Pengukuran menggunakan peralatan ini bisa memonitor dan mengambil data secara langsung dan akurat. Peralatan shaft power measurement series 430 terdiri dari berbagai peralatan pendukung antara lain. Dimana spesifikasi peralatan sesuai dengan pedoman adalah sebagai berikut [9].

a. Compact Transmitter

Peralatan *compact transmitter* terdiri dari dua bagian yang terpisah yang digabungkan sehingga menjepit poros (*shaft*). Bagian pertama terdiri dari reflektor (mata kucing) sebagai penanda sensor kecepatan pada peralatan. Bagian kedua terdiri dari *port* yang digunakan sebagai *connector* ke *strain gage* yang ditempelkan pada poros. Untuk gambar *compact transmitter* ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Compact transmitter

b. Receiver Module

Peralatan ini digunakan untuk merekam/mengambil data kecepatan, torsi dan power dari pemegang shaft yang berputar. Peralatan ini dipasang dengan jarak sekitar 1 sampai 1.5 meter dari poros/pemegang poros yang berputar. Data dari *compact transmitter* dikirimkan ke *receiver module* sebagai pengolah data sebelum dikirimkan ke *instrument interface*. Gambar *receiver module* ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Receiver module

c. Instrument interface

Peralatan ini digunakan untuk menghubungkan (*interface*) sinyal dari *receiver module* ke *instrument interface*, dimana data yang ditangkap atau *recorded* dari *receiver module* diolah terlebih dahulu pada peralatan *instrument interface* sehingga menampilkan data kecepatan, torsi dan power secara *real time*. Peralatan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

DUI Torque Display Specifications:

- *Normal specification range*: +10 sampai +60 °C
- *Operating range*: -10 sampai +70 °C
- *Storage range*: -35 sampai +75 °C
- *Environmental protection*: IP 54
- *Electromagnetic compatibility*: EN61326-1:2006

DUI Torque Display Outputs:

- *Output power* untuk *datum static* dan *rotary torque sensor* dan *torque transducer*
- Ethernet untuk data keluar
- Mini USB type B untuk data keluar dan interface konfigurasi
- USB type A untuk penyimpanan *memory card*
- Serial SCADA *output* - RS485/RS232
- *Power supply* 15-24 Vdc

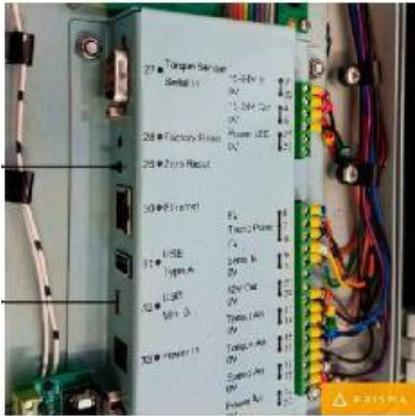
Gambar *instrument interface* ditampilkan pada gambar 4.

d. Graphical User Interface (GUI) Datum

Datum data logging dan konfigurasi GUI merupakan penghubung dari *Datum Universal Interface* (DUI) dengan komputer/PC. Dimana GUI digunakan untuk merekam data *real time* dari GUI ke komputer/PC. GUI Datum kompatibel dengan semua versi Windows dan dapat membaca torsi, power dan kecepatan pada PC sesuai dengan data *real time* pada GUI dan dapat di

simpan kedalam versi Microsoft Excel. Fitur didalam UI antara lain:

- *Calibrated display of torque (Nm/ lb/ft)*
- *Display of speed (rpm)*
- *Display of power (kW /HP)*
- *Peak torque, speed and power*



Gambar 4. Instrument interface

B. Pemasangan Peralatan Shaft Torque Measurement Series 430

Pemasangan peralatan *shaft power measurement* di kapal Baruna Jaya dilakukan pada ruang mesin (*engine room*), dimana urutan pemasangan peralatan adalah sebagai berikut

I. Pemasangan Strain Gage

Pemasangan *strain gage* diletakkan pada poros utama kapal Baruna Jaya, karena pada poros utama tersebut yang akan dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data primer kemampuan mesin (*engine*) kapal. Sebelum dilakukan pemasangan *strain gage* terlebih dahulu dilakukan pembersihan pada poros kapal Baruna Jaya menggunakan kertas gosok dengan berbagai tingkat kekasaran mulai dari nomor 100, 500 dan 1000. Pembersihan ini diperlukan agar *strain gage* menempel dengan baik pada permukaan poros kapal. Setelah dilakukan pembersihan maka mulai dilakukan perekatan *strain gage* ke permukaan poros dengan menggunakan perekat khusus untuk *strain gage* dari Kyowa CC-33A. Gambar pemasangan *strain gage* ditampilkan pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Pembersihan poros kapal



Gambar 6. Pemasangan strain gage

II. Pemasangan Compact Transmitter

Pemasangan *compact transmitter* dilakukan setelah memastikan pemasangan *strain gage* sudah menempel dengan erat pada permukaan poros kapal. Pemasangan *compact transmitter* dieratkan menggunakan kabel ties ukuran 4.5 x 200mm yang dipasang secara menyambung. Pemasangan kedua bagian *compact transmitter* ini harus dipastikan pada posisi 180°, agar data yang dihasilkan akurat. Setelah dipastikan pemasangan *compact transmitter* sudah terikat dengan erat pada poros dan pada kedua bagian maka selanjutnya kabel dari strain gage dipasang pada port di bagian *compact transmitter*. Gambar pemasangan *compact transmitter* ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 7. Pemasangan compact transmitter

III. Pemasangan Instrument Interface

Pemasangan instrument interface ini diletakkan pada lantai main deck diatas engine deck dengan kabel sepanjang 5 meter dari Shaft Speed Sensor Datum. Kabel dari shaft speed sensor dipasang pada port 1 sedangkan dari kabel port 2 dihubungkan dengan port USB pada komputer/PC. Setelah koneksi kabel terhubung dengan benar maka data pengukuran real-time dapat tertampil pada software Datum di komputer/PC. Gambar pemasangan *GUI* ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Pemasangan graphic user interface

C. Pengambilan atau Pengukuran Data Performa Poros Kapal

Kapal Baruna Jaya memiliki 2 mesin yang masing-masing mesin terhubung ke 1 gearbox. Output putaran dari kedua gearbox menghasilkan putran poros propeller. Pengukuran dilakukan pada poros propeller dikarenakan keterbatasan tempat pemasangan strain gage di sekitar poros mesin. Adapun skema pengambilan data dibagi menjadi dua kategori yaitu:

- a. Pengukuran poros propeller menggunakan mesin 1 dan gearbox 1.
- b. Pengukuran poros propeller menggunakan mesin 2 dan gearbox 2.



Gambar 9. Poros propeller kapal Baruna Jaya

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan SHP

Shaft horsepower (SHP) adalah power yang terukur pada sebuah poros, dalam hal ini poros propeller kapal. Perhitungan Shaft Horse Power (SHP) mesin menggunakan rumus [10]:

$$SHP = \frac{DHP}{0.98} \dots\dots\dots(1)$$

B. Perhitungan DHP

Delivery horsepower (DHP) adalah besarnya daya yang dihasilkan dari pengurangan EHP dengan Pc (koefisien propulsi), dimana Pc dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Pc = \eta_{rr} * \eta_0 * \eta_H \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \eta_{rr} &= 1.05 \\ \eta_0 &= 50\% \\ \eta_H &= 1.1127 \end{aligned}$$

C. Perhitungan EHP

Effective horsepower (EHP) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (hull), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain. Daya efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal, dengan mengetahui nilai DHP maka dapat dicari nilai dari EHP dengan menggunakan rumus:

$$DHP = \frac{EHP}{Pc} \dots\dots\dots(3)$$

D. Pengukuran Mesin 1 dan Gearbox 1

Pengukuran ini dilakukan menggunakan kondisi dimana poros propeller kapal berputar dengan menggunakan putaran mesin induk 1 yang terhubung ke gearbox 1 untuk kemudian memutar poros propeller. Hasil dari pengukuran poros propeller menggambarkan nilai dari Shaft horsepower (SHP) kapal Baruna Jaya menggunakan mesin 1 dan gearbox 1 yang ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran mesin 1

Data Ke	Torsi (Nm)	Putaran Poros (rpm)	Daya Poros (watt)
1	1211.69	49	1243.5002
2	1211.69	49	1243.5002
3	807.79	49	828.9966
4	807.79	49	828.9966
5	807.79	49	828.9966
6	403.9	49	414.5034
7	403.9	49	414.5034
8	403.9	49	414.5034
9	403.9	49	414.5034
10	403.9	49	414.5034
11	9289.65	171	33270.0696
12	10501.34	171	37609.6314
13	9289.65	171	33270.0696
14	10501.34	171	37609.6314
15	9289.65	171	33270.0696
16	10501.34	171	37609.6314
17	9289.65	171	33270.0696
18	10501.34	171	37609.6314
19	9693.54	171	34716.5662
20	9693.54	171	34716.5662
21	18983.19	249	98998.0838
22	21406.57	249	111636.106
23	21406.57	249	111636.106
24	18983.19	249	98998.0838

25	21406.57	249	111636.106
26	20194.88	249	105317.0948
27	19790.98	249	103210.7404
28	20598.78	249	107423.4492
29	21406.57	249	111636.106
30	21406.57	249	111636.106
31	8481.85	163	28955.858
32	8885.75	163	30334.7166
33	7674.05	163	26198.141
34	9289.65	162	31519.0132
35	7674.05	162	26037.4162
36	8885.75	162	30148.614
37	8077.95	162	27407.8154
38	9289.65	163	31713.575
39	8481.85	163	28955.858
40	9289.65	163	31713.575

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= 107212.8 \text{ watt} \\ \text{DHP} &= 107212.8 * 0.98 \\ &= 105068.5 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus nomer 3 maka dapat dihitung daya efektif dari mesin 1 sebesar:

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= \frac{\text{EHP}}{P_c} \dots\dots\dots(5) \\ \text{DHP} &= 105068.5 \\ P_c &= 0.584 \\ \text{EHP} &= 105068.5 * 0.584 \\ &= 61339.01 \text{ watt} \\ &= 822.56 \text{ HP} \end{aligned}$$

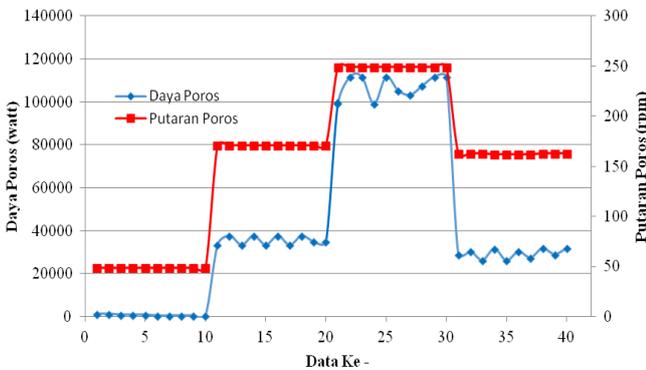
Untuk lebih memperjelas tabel 1 maka dibuatkan grafik hubungan torsi dengan putaran poros serta grafik hubungan daya dengan putaran poros untuk mesin 1 gearbox 1 ditampilkan pada gambar 10 dan gambar 11.

E. Pengukuran Mesin 2 dan Gearbox 2

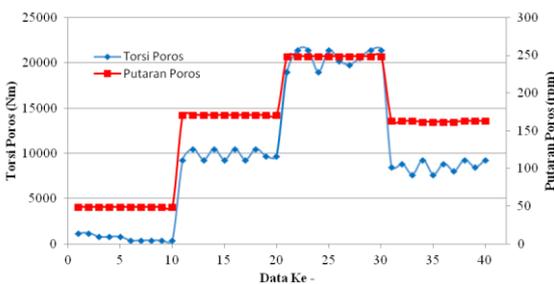
Pengukuran ini dilakukan menggunakan kondisi dimana poros *propeller* kapal berputar dengan menggunakan putaran mesin induk 2 yang terhubung ke gearbox 2 untuk kemudian memutar poros *propeller*. Hasil dari pengukuran poros propeller menggambarkan nilai dari *shaft horsepower* (SHP) kapal Baruna Jaya menggunakan mesin 2 dan *gearbox* 2 yang ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran mesin 2

Data Ke	Torsi (Nm)	Putaran Poros (rpm)	Daya Poros (watt)
1	807.79	67	1133.526
2	1211.69	67	1700.2962
3	1211.69	67	1700.2962
4	1211.69	67	1700.2962
5	807.79	67	1133.526
6	807.79	67	1133.526
7	403.9	67	566.77
8	403.9	67	566.77
9	403.9	67	566.77
10	403.9	67	27179.425
11	12116.93	169	42888.1734
12	8885.75	169	31451.3318
13	12116.93	169	42888.1734
14	10097.44	168	35528.6586
15	12116.93	168	42634.3972
16	9693.54	168	34107.5038
17	12116.93	168	42634.3972
18	9693.54	168	34107.5038
19	12116.93	168	42634.3972
20	9693.54	168	34107.5038
21	18983.19	230	91444.0132
22	18175.39	230	87552.756
23	19790.98	230	95335.2222
24	18579.29	230	89498.3846



Gambar 10. Daya poros vs putaran poros mesin 1 gearbox 1



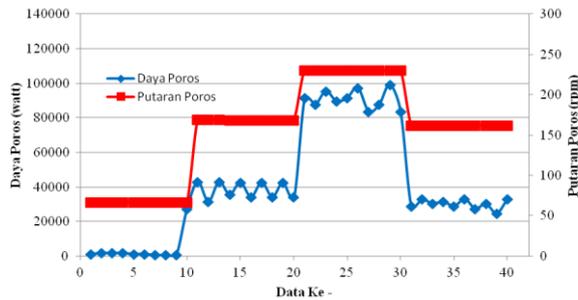
Gambar 11. Torsi poros vs putaran poros mesin 1 gearbox 1

Dari grafik 1 maka dicari nilai DHP kapal pada rata-rata putaran poros sebesar 249 RPM dan rata-rata daya poros sebesar 107212.8 watt. Dengan menggunakan rumus 1, maka perhitungan DHP hasil perhitungan sebesar:

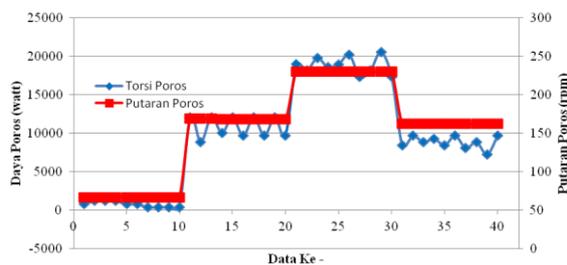
$$\text{SHP} = \frac{\text{DHP}}{0.98} \dots\dots\dots(4)$$

25	18983.19	230	91444.0132
26	20194.88	230	97280.8506
27	17367.6	230	83661.547
28	18175.39	230	87552.756
29	20598.78	230	99226.4792
30	17367.6	230	83661.547
31	8481.85	162	28778.2148
32	9693.54	162	32889.3786
33	8885.75	162	30148.614
34	9289.65	162	31519.0132
35	8481.85	162	28778.2148
36	9693.54	162	32889.3786
37	8077.95	162	27407.8154
38	8885.75	162	30148.614
39	7270.16	162	24667.051
40	9693.54	162	32889.3786

Untuk lebih memperjelas tabel 2 maka dibuatkan grafik hubungan torsi dengan putaran poros serta grafik hubungan daya dengan putaran poros untuk mesin 2 gearbox 2 ditampilkan pada gambar 12 dan gambar 13.



Gambar 12. Daya poros vs putaran poros mesin 2 gearbox 2



Gambar 13. Torsi poros vs putaran poros mesin 2 gearbox 2

Dari grafik 3 maka dicari nilai DHP kapal pada rata-rata putaran poros sebesar 230 RPM dan rata-rata daya poros sebesar 90665.7 watt. Dengan menggunakan rumus 1, maka perhitungan DHP hasil perhitungan sebesar:

$$SHP = \frac{DHP}{0.98} \dots\dots\dots(6)$$

$$\begin{aligned} SHP &= 90665.7 \text{ watt} \\ DHP &= 90665.7 * 0.98 \\ &= 88852.4 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus nomer 3 maka dapat dihitung daya efektif dari mesin 1 sebesar:

$$DHP = \frac{EHP}{Pc} \dots\dots\dots(7)$$

$$\begin{aligned} DHP &= 88852.4 \\ Pc &= 0.584 \\ EHP &= 88852.4 * 0.584 \\ &= 51872.06 \text{ watt} \\ &= 695.61 \text{ HP} \end{aligned}$$

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dihasilkan dari pengambilan atau pengukuran menggunakan *Shaft Power Measurement* pada poros kapal Baruna Jaya maka dapat diambil kesimpulan yaitu rata-rata *effective horsepower (EHP)* mesin 1 gearbox 1 sebesar 822.56 HP dengan rata-rata torsi sebesar 20558.38 Nm pada rata-rata putaran poros 249 rpm. Sedangkan rata-rata *effective horsepower (EHP)* pada mesin 2 gearbox 2 sebesar 695.61 HP dengan rata-rata torsi sebesar 18821.6 Nm pada rata-rata putaran poros 230 rpm. Dari hasil ini pendekatan perhitungan *effective horsepower (EHP)* mesin induk kapal Baruna Jaya, nantinya akan dijadikan dasar pengambilan keutusan apakah kapal Baruna Jaya perlu dilakukan proses *repowering* atau tidak dengan membandingkan hasilnya dengan hasil pada saat mesin baru dipasang pada kapal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tidak lupa disampaikan kepada Balai Teknologi Hidrodinamika yang telah mengizinkan penggunaan peralatan *Shaft Power Measurement* di kapal Baruna Jaya dan Balai Teknologi Survei Kelautan selaku pemilik kapal Baruna Jaya yang telah mengizinkan data hasil pengukuran poros kapal digunakan untuk kepentingan publikasi ilmiah.

REFERENSI

- [1] Blatt, *Principles of Physics*. Binacipta, Bandung, 1986.
- [2] X. G. Tian and X. M. Tao, Torsion measurement using fiber bragg grating sensors, *Exp. Mech.*, vol. 41, no. 3, 2001, pp. 248–253.
- [3] V. M. Glumov, S. D. Zemlyakov, V. Y. Rutkovskii, and V. M. Sukhanov, Application of the principle of design of adaptive systems with a reference model to problems of monitoring of a current state of transmission shafts, *Autom. Remote Control*, vol. 64, no. 5, 2003, pp. 791–805.
- [4] L. Chybowski, Assessment of marine engines torque load, *J. POLISH CIMAC*, 2005, pp. 1–10.
- [5] D. H. Duffner, Torsion fatigue failure of bus drive shafts, *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 6, no. 6, 2006, pp. 75–82.
- [6] P. F. Beard and T. Povey, Direct shaft torque measurements in a transient turbine facility, *Meas. Sci. Technol.*, vol. 22, no. 3, 2011.
- [7] L. Qin, X. Zhou, Y. Gao, P. Cao, J. Quan, and Z. Li, Shaft power measurement for marine propulsion system based on magnetic resonances, *IEICE Electron. Express*, vol. 9, no. 15, 2012, pp. 1260–1265.

- [8] Datum Electronics, Series 430 shaft power measurement Kit, 2013.
- [9] Z. L. S. Brookes, Pharmacological modulation of cardiac function and blood vessel calibre, *Anaesth. Intensive Care Med.*, vol. 14, no. 1, 2013, pp. 27–31.
- [10] I. Bakalov and N. Academy, Methods and instruments for measuring torque and speed of, vol. 1, 2014, pp. 77–79.
- [11] G. Vizentin, G. Vukelić, and M. Srok, Common failures of ship propulsion shafts, *Pomorstvo*, vol. 31, no. 2, 2017, pp. 85–90.