

## DESAIN KONFIGURASI SISTEM PROPULSI *HYBRID* TERHADAP PENGURANGAN KONSUMSI BBM KAPAL PENANGKAP IKAN 30 GT

*Configuration Design of a Hybrid Propulsion System to Reduce Fuel Oil Consumption  
of a 30 GT Fishing Vessel*

Oleh:

Andi Haris Muhammad<sup>1\*</sup>, Baharuddin<sup>2</sup>, Hasnawiya Hasan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar. andi\_haris@ft.unhas.ac.id

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, baharmarine@yahoo.com

<sup>3</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, hasnarazak15@gmail.com

\* Korespondensi: andi\_haris@ft.unhas.ac.id

Diterima: 23 Februari 2018; Disetujui: 18 Maret 2019

### ABSTRACT

*This study aims to reduce fuel oil consumption of a 30 GT fishing vessel through configuration design of diesel and electric motor hybrids propulsion system. The configuration design of hybrids propulsion system systematically include; i) loading assumption; ii) prediction of speed-thrust; iii) prediction of fuel oil consumption. Design of hybrids propulsion system was analyzed by using the concept of time domain simulation of vessel movement. The result indicated that the hybrids propulsion system implemented to fishing vessel was very effective to reduce fuel consumption compared with conventional propulsion system, especially in variation of loading and speed condition.*

**Keywords:** fishing vessel, hybrids propulsion system and fuel oil

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak kapal penangkap ikan 30 GT melalui desain konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik. Secara sistematis perancangan sistem propulsi *hybrid* meliputi; i) asumsi pembebanan operasi; ii) prediksi *speed-thrust*; iii) prediksi konsumsi bahan bakar. Desain sistem propulsi *hybrid* dianalisis dengan menggunakan konsep *time domain simulation* pergerakan kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem propulsi *hybrid* pada kapal penangkap ikan sangat efektif dalam mengurangi konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan sistem propulsi konvensional, terkhusus pada kondisi pemuatan dan kecepatan yang bervariasi.

**Kata kunci:** Bahan bakar, kapal penangkap ikan, sistem propulsi *hybrid*

### PENDAHULUAN

Lebih dari 80% pengangkutan barang dan penumpang melalui transportasi laut. Sektor transportasi ini bertanggung jawab lebih dari 30% emisi CO<sub>2</sub> dan sekitar 3 - 4% emisi CO<sub>2</sub> ini telah berdampak terhadap manusia (Bennabi et

al. 2017). Pengurangan tingkat emisi gas buang (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>) sektor transportasi laut sebagaimana ketentuan IMO (*International Maritime Organization*) terus digalakan melalui pengembangan sistem propulsi *hybrid* dengan sumber energi yang diperlukan. Pengembangan konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik, khu-

susnya pengembangan dimensi dan berat peralatan kelistrikan (baterai, sel bahan bakar dan kapasitor) terus dioptimalisasi. Teknologi ini selain dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, dapat pula diyakini mengurangi polusi udara dan emisi gas buang (Sciberras dan Grech 2012).

Pereira (2007) menyebutkan sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik telah berkembang sejak abat ke-20 dan teknologi ini telah digunakan untuk pertama kalinya pada sebuah kapal perang Amerika. Sejumlah keunggulan sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik dibanding sistem propulsi konvensional diantaranya adalah sistem propulsi ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar (Sofras dan Prousalidis 2014), biaya perawatan sistem yang murah (Geertsma *et al.* 2017). Secara teknis sistem propulsi ini memiliki torsi yang besar, khususnya saat kapal berkecepatan rendah (Arpiainen *et al.* 1993), memiliki kemampuan *steering* dan *maneuvering* yang baik dengan penggunaan propulsi Azipod (Pereira 2007 dan Muhammad *et al.* 2015) serta memiliki tingkat getaran dan kebisingan yang rendah (Yang *et al.* 2016). Namun sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik memiliki biaya investasi yang cukup tinggi dikarenakan adanya penambahan sejumlah komponen kelistrikan seperti diesel generator, *transformer*, dan motor listrik. Sistem ini pula memiliki berat dua kali dari berat sistem propulsi konvensional (Sofras dan Prousalidis 2014).

Xiao *et al.* (2016) menyebutkan bahwa sistem propulsi *hybrid* memiliki sifat kerja dinamis berbeda antara satu kapal dengan tipe kapal lainnya. Hal ini dikarenakan fungsi dan kondisi operasi kapal yang berpengaruh pada kinerja kapal. Selain dengan strategi pengendalian yang canggih dan pemilihan konfigurasi sistem yang baik, sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang hingga 15-35% (Geertsma *et al.* 2017).

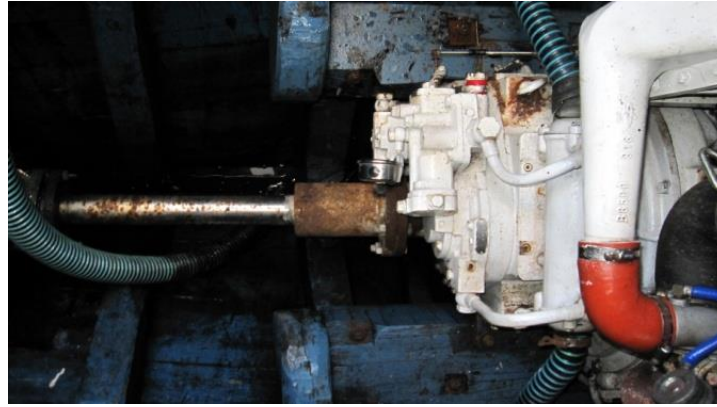
Sistem operasi kapal penangkap ikan berbeda dibandingkan dengan kapal niaga pada umumnya dikarenakan fungsi kapal yaitu mengejar gerombolan ikan, mengoperasikan alat tangkap dan menampung ikan, dan selama pengoperasian kapal mengalami perubahan kecepatan dan bobot muatan. Muhammad *et al.* (2017) menyebutkan terdapat perbedaan hingga 40% penggunaan daya motor saat pengoperasian kapal penangkap ikan 30 GT antara muatan kosong dan penuh pada kecepatan konstan. Kondisi pemuatan kapal yaitu berupa hasil tangkapan senantiasa berfluktuasi dikarenakan perubahan musim tahunan yang berdampak pada tingginya biaya operasional kapal, khususnya konsumsi bahan bakar minyak yang digunakan (Muhammad *et al.* 2018). Sejalan dengan upaya pemerintah yaitu pengurangan konsumsi bahan bakar minyak dan tingkat emisi gas buang, pengembangan sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi biaya konsumsi bahan bakar kapal penangkap ikan 30 GT melalui perancangan konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik sesuai bobot muatan dan kecepatan kapal.

## METODE

Penelitian dilaksanakan selama 10 Bulan (Februari - November 2017) yang berpusat di Laboratorium Riset Propulsi Kapal Universitas Hasanuddin. Kapal penangkap ikan yang digunakan dalam penelitian ini adalah KM INKA MINA 759 yang beroperasi di perairan Selat Makassar. KM INKA MINA 759 berkapasitas 30 GT tipe *purse-seiner* dilengkapi dengan motor propulsi 127 kW sebagaimana Gambar 1 dan 2. Tabel 1 dan 2 menampilkan ukuran utama dan parameter sistem propulsi.



Gambar 1 Kapal penangkap ikan KM INKA MINA 759



Gambar 2 Motor propulsi KM INKA MINA 759

Tabel 1 Dimensi utama kapal penangkap ikan

Uraian	Dimensi
Panjang keseluruhan, $Loa$ (m)	26,30
Panjang antar garis tegak, $L$ (m)	25,40
Lebar, $B$ (m)	4,50
Tinggi, $H$ (m)	1,65
Sarat kosong, $T_1$ (m)	1,20
Sarat penuh, $T_2$ (m)	0,90
Kecepatan jelajah, $Vs$ (m/s)	5,53
Displasmen pada muatan penuh, $\Delta_1$ (ton)	65,71
Displasmen pada muatan kosong, $\Delta_2$ (ton)	46,67

Tabel 2 Parameter sistem propulsi kapal penangkap ikan

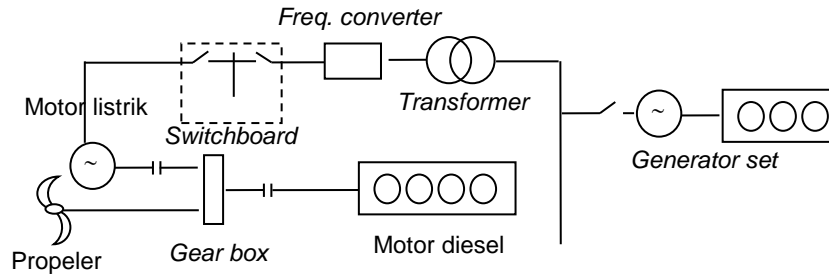
Uraian	Dimensi
Daya motor, $P_B$ (kW)	127
Putaran motor, $n$ (rps)	1500/60
Gear box ratio	2,55 : 1
Diameter propeler, $D_P$ (m)	0,8
Jumlah daun, $Z$	3
Rasio luas daun, $A_E/A_O$	0,4
$P/D$	0,8

Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi data ukuran utama, berat muatan (kondisi kosong dan penuh) serta parameter sistem propulsi kapal sesuai data kapal yang diteliti yaitu KM INKA MINA 759. Hasil pengolahan data berupa prediksi *speed-thrust* dan konsumsi bahan bakar sesuai bobot muatan dan kecepatan jelajah kapal. Selanjutnya dengan tujuan mengurangi biaya konsumsi bahan bakar kapal penangkap ikan, konsep desain konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik dikembangkan.

Konsep desain konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik dioperasikan pada 2 (dua) kondisi muatan kapal penangkap ikan 30 GT sebagaimana penelitian Muhammad *et al.* (2017), yaitu: i) Saat kapal menuju pelabuhan dari *fishing ground* dengan muatan penuh ( $\Delta_1=65,71$  ton), kapasitas daya motor 100% ( $P_B=127$  kW) dan kapal beroperasi pada kecepatan dinas sebesar 5,53 m/s; ii) Saat kapal beroperasi dengan muatan kosong ( $\Delta_2=46,67$  ton), diasumsikan kapal meninggalkan pela-

bahan atau menuju *fishing ground* dengan kapasitas daya motor 60% ( $P_B=76$  kW) pada kecepatan 5,39 m/s.

Gambar 3 menampilkan konsep desain konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik. Konfigurasi daya motor masing-masing sebesar 60% daya propulsi bersumber dari motor diesel (MD) dan 40% lainnya dari motor listrik (ML) yang bekerja secara beraturan sesuai daya yang diperlukan. Pembagian daya ini sesuai dengan kebutuhan daya motor sesuai bobot muatan dan kecepatan operasi kapal penangkap ikan 30 GT (Muhammad *et al.* 2017). Secara prinsip, sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik, propeler sebagai alat penggerak kapal dapat digerakan langsung oleh motor diesel seperti layaknya sistem propulsi konvensional, khususnya saat kapal beroperasi dengan muatan kosong atau kecepatan rendah. Pada saat muatan penuh, sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik dapat bekerja secara serentak untuk memutar propeler melalui kendali *fleksible*.



Gambar 3 Desain konfigurasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik

Tabel 3 Skenario simulasi desain konfigurasi sistem propulsi

Skenario	Konfigurasi sistem	$P_{BMD}$ (kW)	$P_{BMD}$ (kW)	$P_{BML}$ (kW)	Muatan $\Delta_1$ (ton)	Muatan $\Delta_2$ (ton)
A	Konv. (diesel 100%)	127	-	-	65,71	-
B	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 40%)	-	76	51	65,71	-
C	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 0%)	-	76	-	65,71	-
D	Konv. (diesel 100%)	127	-	-	-	46,67
E	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 40%)	-	76	51	-	46,67
F	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 0%)	-	76	-	-	46,67

Konfigurasi sistem propulsi didesain dalam 2 (dua) jenis konfigurasi yaitu: i) sistem propulsi konvensional (konv.) dengan daya motor diesel 100% dan; ii) sistem propulsi *hybrid* dengan kombinasi daya antara motor diesel 60% dan motor listrik 40%. Selanjutnya sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik selain dapat dioperasikan dengan menggunakan daya 100% (kombinasi daya 60% motor diesel dan 40 motor listrik) tetapi juga dapat dioperasikan dengan daya 60% yang hanya bersumber dari motor diesel sesuai kecepatan kapal. Selanjutnya analisis dari masing-masing konfigurasi disimulasi berdasarkan daya motor dan bobot muatan kapal pada enam (6) skenario sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Analisis *speed-thrust* dan konsumsi bahan bakar sesuai bobot muatan dan kecepatan kapal diprediksi melalui simulasi numerik. Gabungan persamaan matematika yang meliputi persamaan tahanan lambung, gaya dorong, torsi propeler dan torsi motor penggerak kapal didasarkan pada konsep yang dikembangkan Ogawa dan Kansai (1997). Prediksi tahanan dan daya motor menggunakan Metode Holtrop (Holtrop and Mennen 1982 dan Holtrop 1984). Prediksi gaya dorong propulsi diorientasikan pada propeler tipe *Wageningen B-series*. Kesesuaian antara tahanan lambung, gaya dorong, torsi propeler dan torsi motor penggerak dianalisis dengan metode *hull-propeller-engine matching* yang dikembangkan Muhammad *et al.* (2001). Kehilangan daya yang timbul ( $P_{losses}$ ) pada sejumlah komponen kelistrikan yang dikarenakan sistem kerja propulsi diperhitungkan sebagaimana yang dikembangkan Adnanes (2003).

Melalui konsep *time domain simulation*, kecepatan kapal ( $V_s$ ) dan putaran propeler ( $n$ ) sebagai fungsi diferensial terhadap gerak kapal dan momen torsi propeler ( $Q_P$ ) disimulasi dengan persamaan 1 dan 2 sebagaimana yang dikembangkan Figari dan Altosole (2007).

$$m \frac{dV_s}{dt} = T_P - R_T \dots\dots\dots (1)$$

$$2\pi J_P \frac{dn(t)}{dt} = Q_{MD} + Q_{ME} - Q_P \dots\dots\dots (2)$$

dimana momen torsi dan gaya dorong propeler ( $T_P$ ) diprediksi berdasarkan persamaan 3 dan 4:

$$T_P = (1-t)K_{T(j)}\rho n^2 D^4 \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_P = (1-t)K_{Q(j)}\rho n^2 D^5 \dots\dots\dots (4)$$

dan koefisien gaya dorong ( $K_T$ ) dan koefisien momen torsi ( $K_Q$ ) diprediksi berdasarkan persamaan 5 dan 6:

$$K_T = \sum_{n=1}^{47} C_n(j)^{S_n} (P/D)^m (A_E/A_O)^{U_n} (z)^{V_n} \dots\dots (5)$$

$$K_Q = \sum_{n=1}^{39} C_n(j)^{S_n} (P/D)^m (A_E/A_O)^{U_n} (z)^{V_n} \dots\dots (6)$$

Torsi motor ( $Q_M$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya motor ( $P_B$ ) terhadap putaran ( $n$ ), umumnya torsi motor dinyatakan bersifat konstan. Penambahan daya motor dapat diakibatkan karena penambahan putaran sebagaimana persamaan 7:

$$P_B = Q_M 2\pi n / 60 \dots\dots\dots (7)$$

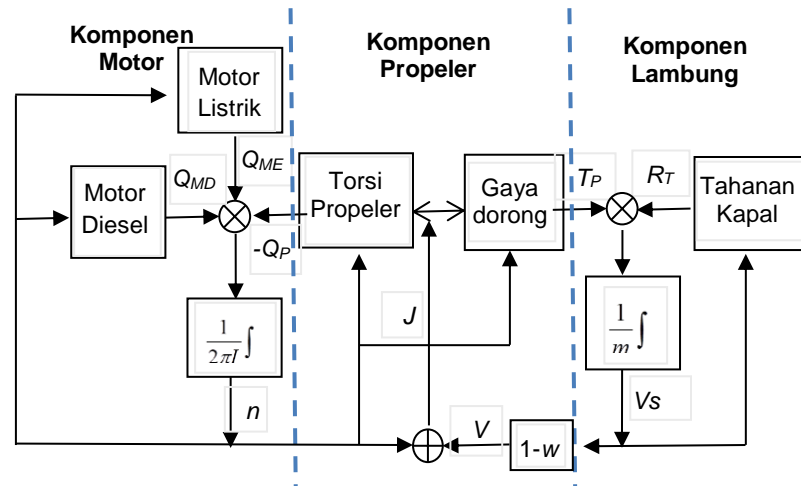
Konsumsi bahan bakar spesifik ( $sfc \approx 220-160\text{g/kWh}$ ) didefinisikan sebagai seberapa besar penggunaan konsumsi bahan bakar per unit waktu ( $mf$ ) sesuai daya motor yang digunakan sebagaimana persamaan 8, lebih jauh konsumsi bahan bakar per-mil-jam ( $fc_m$ ) pengoperasian sebagaimana persamaan 9:

$$sfc = \frac{mf}{P_B} \dots\dots\dots(8)$$

$$fc_m = \frac{mf}{V_s} \dots\dots\dots(9)$$

Selanjutnya berdasarkan persamaan matematika (1-9), parameter desain kapal dan sistem propulsi (Tabel 1 dan Tabel 2), program simulasi sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik de-

ngan kendali *fleksible* dikembangkan melalui program MATLAB Simulink. Skematik program simulasi sistem propulsi *hybrid* ditampilkan pada Gambar 4. Program yang dikembangkan terdiri dari tiga komponen utama: i) lambung sebagai sumber besaran tahanan kapal ( $R_T$ ) sesuai kecepatan kapal ( $V_s$ ); ii) propeler sebagai sumber besaran gaya dorong ( $T_P$ ) dan torsi propeler ( $Q_P$ ) sesuai kecepatan kapal dan putaran propeler ( $n$ ) selanjutnya; iii) motor penggerak yang terdiri dari motor diesel ( $Q_{MD}$ ) dan motor listrik ( $Q_{ME}$ ), nilai total kedua torsi ini sangat bergantung pada besaran torsi yang diperlukan propeler untuk menggerakkan kapal. Melalui konsep *time domain simulation*, kecepatan kapal ( $V_s$ ) dan putaran poros atau propeler ( $n$ ) sebagai inputan pergerakan kapal sebagaimana persamaan 1 dan 2.



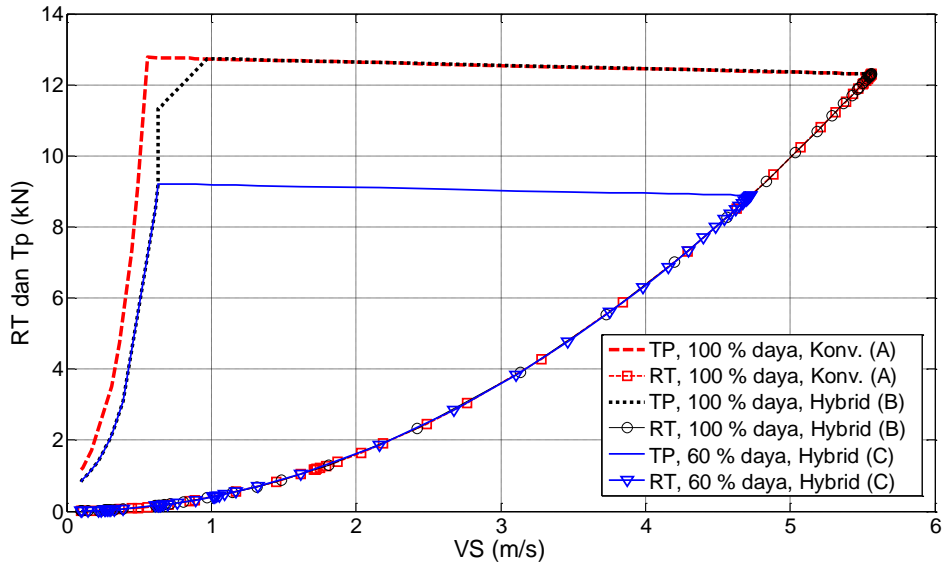
Gambar 4 Skematik program simulasi sistem propulsi hybrid diesel-listrik

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

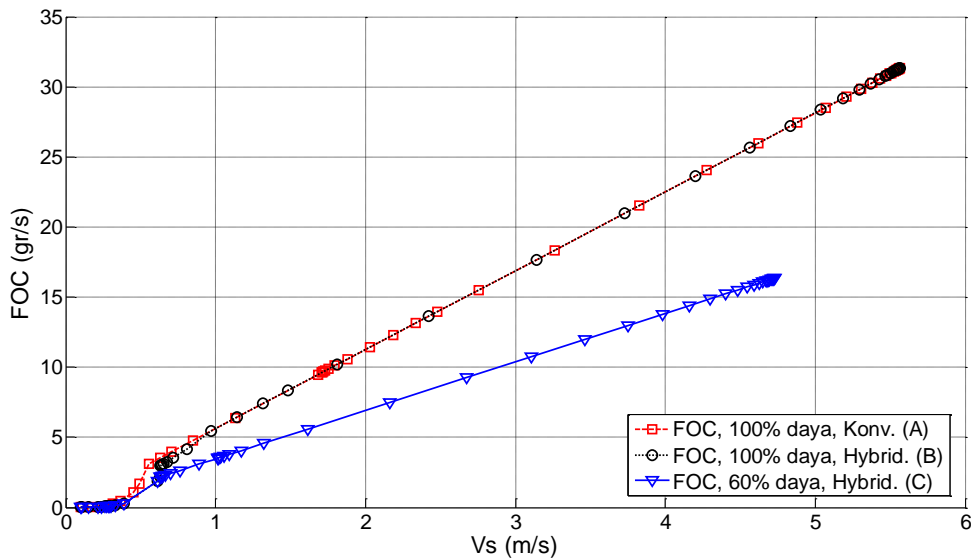
Gambar 5 menampilkan hasil simulasi numerik *speed-thrust*, hubungan antara kecepatan ( $V_s$ ) dengan tahanan kapal ( $R_T$ ) dan Gaya dorong ( $T_P$ ) sistem propulsi kapal penangkap ikan 30 GT pada muatan penuh ( $\Delta_t=65,71$  ton) antara penggunaan sistem propulsi konvensional dengan daya motor diesel 100% (skenario A) dan sistem propulsi *hybrid* dengan daya 100% kombinasi antara motor diesel 60% dan motor listrik 40% (skenario B). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem propulsi konvensional (skenario A) memerlukan gaya dorong lebih besar dibanding sistem propulsi *hybrid* (skenario B), khususnya pada kecepatan di bawah 0,975 m/s. Selanjutnya pada gaya dorong maksimal atau pada penggunaan daya motor 100% ( $P_B=127$  kW) kedua konfigurasi sistem propulsi dapat mencapai kecepatan dinas yaitu 5,53 m/s. Gambar 5 menampilkan

pula hasil simulasi *speed-thrust* sistem propulsi *hybrid* dengan daya motor diesel sebesar 60% ( $P_B=76$  kW) yang bersumber dari motor diesel (skenario C). Pada daya tersebut kapal dapat beroperasi pada kecepatan maksimal 4,72 m/s atau memiliki gaya dorong lebih rendah dibanding skenario A pada kecepatan yang sama.

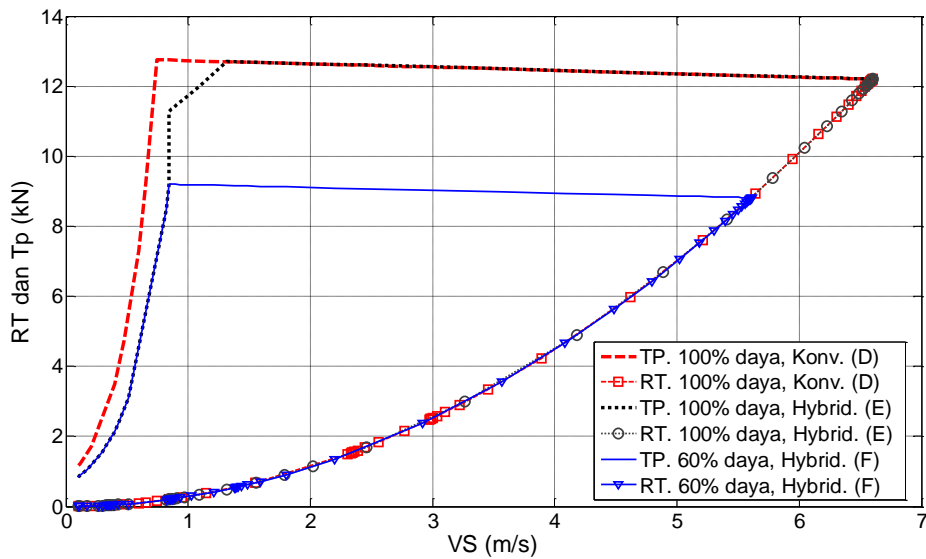
Gambar 6 menampilkan prediksi konsumsi bahan bakar (FOC) motor induk antara penggunaan sistem propulsi konvensional (skenario A) dan *hybrid* (skenario B) dengan masing-masing penggunaan daya motor sebesar 60%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem propulsi konvensional (skenario A) memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi dibanding dengan penggunaan sistem propulsi *hybrid* (skenario B), khususnya pada kecepatan dibawah 0,97 m/s. Titik temu konsumsi bahan bakar antara kedua sistem terjadi pada kecepatan 0,97 m/s, yaitu sebesar 5,46 gr/s.



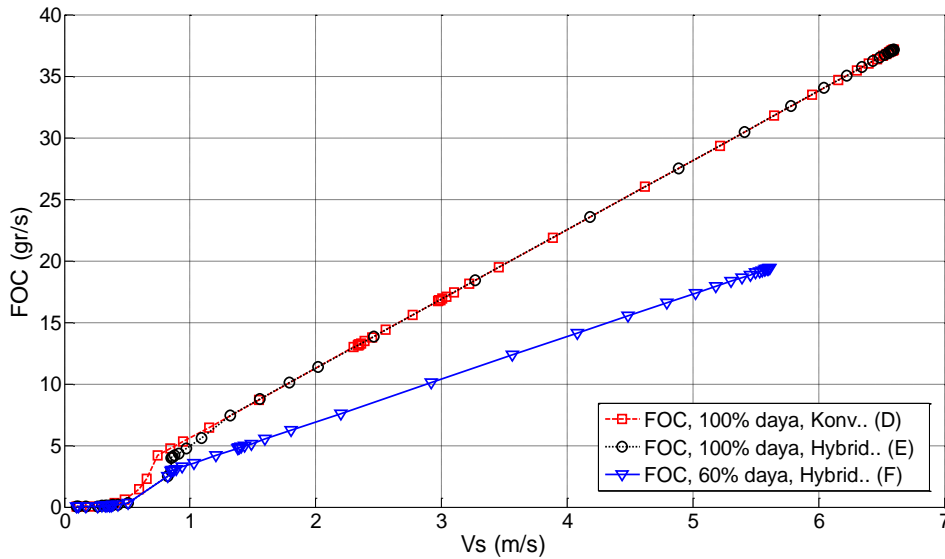
Gambar 5 Speed-thrust sistem propulsi kapal pada muatan penuh



Gambar 6 Konsumsi bahan bakar (FOC) design sistem propulsi kapal pada muatan penuh



Gambar 7 Speed-thrust sistem propulsi kapal pada muatan kosong



Gambar 8 Konsumsi bahan bakar (FOC) design sistem propulsi *hybrid* pada muatan kosong

Tabel 4 Rekapitulasi hasil simulasi konsumsi bahan bakar

Skenario	Konfigurasi system	$P_B$ (kW)	Muatan (ton)	Speed (m/s)	FOC (gr/s)
A	Konv. (diesel 100%)	127	65,71	5,56	31,32
B	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 40%)	127	65,71	5,56	31,33
C	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 0%)	76	65,71	4,73	16,35
D	Konv. (diesel 100%)	127	46,67	6,60	37,16
E	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 40%)	127	46,67	6,60	37,16
F	<i>Hybrid</i> (diesel 60% + listrik 0%)	76	46,67	5,61	19,39

Selanjutnya pada rentang kecepatan kapal 0,97 m/s sampai dengan 5,56 m/s, kedua konfigurasi sistem baik sistem propulsi konvensional (skenario A) maupun *hybrid* (skenario B) memiliki kesamaan konsumsi bahan bakar yaitu 5,46 gr/s di kecepatan 0,97 m/s dan 31,33 gr/s di kecepatan 5,56 m/s.

Gambar 6 menampilkan pula hasil simulasi konsumsi bahan bakar sistem propulsi *hybrid* dengan daya motor diesel sebesar 60% (skenario C). Hasil simulasi menunjukkan bahwa puncak konsumsi bahan bakar terbesar terjadi pada kecepatan maksimal 4,72 m/s, yaitu 16,35 gr/s atau memiliki konsumsi bahan bakar lebih rendah 48% dibanding skenario A pada kecepatan yang sama. Perbedaan sistem operasi kapal penangkap ikan dibanding dengan kapal niaga pada umumnya dikarenakan dalam operasinya senantiasa mengalami perubahan bobot muatan sebagai akibat variasi jumlah hasil tangkapan. Fenomena ini tentunya berdampak terhadap *speed-thrust* dan konsumsi bahan bakar yang diperlukan. Gambar 7 menampilkan prediksi *speed-thrust* kapal penangkap ikan 30 GT pada muatan kosong ( $\Delta_2=46,67$  ton) antara penggunaan sistem propulsi konvensional dengan daya motor diesel 100% (skenario D) dan sistem propulsi *hybrid* dengan daya 100%

kombinasi antara motor diesel 60% dan motor listrik 40% (skenario E). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem propulsi konvensional (skenario D) memerlukan gaya dorong lebih besar dibanding sistem propulsi *hybrid* (skenario E), khususnya pada kecepatan dibawah 0,975 m/s. Selanjutnya pada gaya dorong maksimal atau penggunaan daya motor 100% ( $P_B=127$  kW) baik sistem propulsi konvensional (skenario D) maupun *hybrid* (skenario E) mampu mendorong kapal hingga kecepatan 6,6 m/s. Hasil ini lebih cepat 15,7% dibanding saat kapal dengan muatan penuh (skenario A dan B) dengan kecepatan jelajah 5,56 m/s. Gambar 7 menampilkan pula hasil simulasi *speed-thrust* sistem propulsi *hybrid* (skenario F) dengan daya motor diesel sebesar 60% ( $P_B=76$  kW). Pada daya motor tersebut, kapal dapat beroperasi pada kecepatan maksimal 5,56 m/s.

Ditinjau dari konsumsi bahan bakar (Gambar 8), penggunaan sistem propulsi kapal penangkap ikan dengan muatan kosong (skenario D dan E) mengalami titik puncak konsumsi bahan bakar sebesar 37,44 g/s pada kecepatan kapal 6,60 m/s dan 31,33 g/s pada kecepatan 5,56 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa tingginya penggunaan konsumsi bahan bakar

pada motor penggerak sangat dipengaruhi kecepatan kapal. Selanjutnya Gambar 8 menampilkan penggunaan sistem propulsi *hybrid* dengan daya motor 76 kW (skenario F). Pada kecepatan jelajah 5,56 m/s, motor penggerak memerlukan konsumsi bahan bakar sebesar 19,39 g/s. Hasil ini menunjukkan bahwa melalui penggunaan sistem propulsi *hybrid* (skenario F) penggunaan konsumsi bahan bakar lebih rendah 48% dibanding dengan sistem propulsi konvensional (skenario D). Karakteristik pengurangan konsumsi bahan bakar pada sistem propulsi *hybrid* sebagai akibat perubahan muatan dan kecepatan kapal ini sesuai dengan penelitian Geertsma *et al.* (2017). Rekapitulasi hasil simulasi konsumsi bahan bakar berdasarkan skenario konfigurasi sistem propulsi dan bobot muatan ditampilkan pada Tabel 4.

## KESIMPULAN

Analisis *speed-thrust* dan konsumsi bahan bakar desain sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik dapat disimpulkan bahwa melalui konfigurasi daya motor sebesar 60% bersumber dari motor diesel dan 40% lainnya bersumber dari motor listrik, sistem propulsi *hybrid* mampu mengurangi konsumsi bahan bakar, khususnya pada kecepatan rendah. Melalui pengendalian secara dinamis, sistem propulsi *hybrid* sangat efektif digunakan kapal penangkap ikan dengan perubahan bobot muatan dan kecepatan.

## SARAN

Selanjutnya untuk mengurangi biaya konsumsi bahan bakar pengoperasian kapal penangkap ikan disarankan dalam penggunaan sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik, diesel generator yang dipergunakan pada sistem propulsi dapat pula difungsikan sebagai sumber pembangkit penerangan di kapal, khususnya saat kapal beroperasi dengan beban daya minimal (dibawah 60% daya propulsi) atau saat kapal berada di pelabuhan. Melalui pengembangan sistem propulsi *hybrid* diesel-listrik pada kapal penangkap ikan, energi listrik yang diperlukan dalam pengoperasian kapal selain bersumber dari diesel generator pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dari energi yang bersumber dari matahari, angin dan gelombang yang energi listriknya tersimpan pada baterai penyimpanan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian

Universitas Hasanuddin, melalui pendanaan penelitian Benua Maritim Indonesia Spesifik Tahun Anggaran 2017. Terima kasih pula khususnya kepada mahasiswa yang tergabung dalam kelompok penelitian bersama pada Laboratorium Riset Propulsi Kapal Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam proses komputasi numerik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnanes, AK. 2003. *Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion*, ABB AS Marine.
- Arpiainen M, Juurmaa K, Laukia K, Niini M, Jarvinen K, Noble P. 1993. Naval Architecture of Electric Ships-Past, Present and Future, *SNAME Transactions*. 101: 583-607.
- Bennabi N, Menana H, Charpentier JF, Billard JY, Nottelet B. 2017. Improving Efficiency and Emissions of Small Ships by the Use of Hybrid Electrical Propulsion. *Journal of Power Supply*. 15(2):12-23.
- Figari M, Altosole M. 2007. Dynamic Behaviour and Stability of Marine Propulsion Systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M Journal of Engineering for the Maritime Environment* 221(4):187-205.
- Geertsma RD, Negenborn RR, Visser K, Hopman, JJ. 2017. Design and Control of Hybrid Power and Propulsion Systems for Smart Ships: A Review of Developments. *Journal of Applied Energy*. 194: 30–54.
- Holtrop JA, Mennen GGJ. 1982. An Approximate Power Perdition Method. *Journal of International Shipbuilding Progress*. 29 (335):166-170.
- Holtrop JA. 1984. Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data. *Journal of International Shipbuilding Progress*. 31 (363):272-276.
- Muhammad AH, Utama IKAP, Adji SW. 2001. A Design Study Into the Hull and Propulsion System Matching of 'Minajaya' Fishing Vessel with Chine and Round Bilge Hull Form, *Indonesia Journal of Marine Technology Research*. 1(3): 1-12.
- Muhammad AH, Hasbullah M, Djabbar MA, Handayani. 2015. Comparison Between Conventional and Azimuthing Podded Propulsion on Maneuvering of a Ferry Utilizing Matlab Simulink Program, *International Journal of Technology*. 6(3):452-461.



- Muhammad AH, Syarifuddin, Paroka D, Rachman S, Wisyono, Pratama AA. 2017. Performa Maneuvering Kapal Perikanan 30 GT dengan Konfigurasi Propeler Asimetrik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 9(2):491-498.
- Muhammad AH, Paroka D, Rahman S, Syarifuddin. 2018. Tingkat Kelayakan Operasional Kapal Perikanan 30 GT pada Perairan Sulawesi (Studi Kasus KM INKA MINA 957). *Jurnal Marine Fisheries*. 9(1): 1-9.
- Ogawa A, Kansai H. 1987. On the Mathematical Model of Manoeuvring Motion of Ship. *Journal of International Shipbuilding Progress*. 25(292):306-319.
- Pereira NN. 2007. A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships. *Journal of Revista Ciencia & Tecnología de Buques*. 2(1):27-41.
- Sciberras E, Grech A. 2012. Optimization of Hybrid Propulsion Systems. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 6(4):539-546.
- Sofras E, Prousalidis J. 2014. Developing a New Methodology for Evaluating Diesel-Electric Propulsion. *Journal of Marine Engineering and Technology*. 13(3):63-92.
- Xiao N, Zhou R, Lin X. 2016. Type Selection and Design of Hybrid Propulsion System of Ship. *Second International Conference on Mechanical Engineering and Automation Science*. 157:1-6.
- Yang T, Cox T, Degano M, Bozhko S, Gerada C. 2016. History and Recent Advancements of Electric Propulsion and Integrated Electrical Power Systems for Commercial & Naval Vessels. *Proceeding of International Naval & Maritime Exhibition and Congress for Latin America, Vina Del Mar, Chile*