

# ANALISA TEKNIS OPTIMALISASI SISTEM PROPULSI KAPAL IKAN MENGGUNAKAN CVT GEARBOX

Muhamad Muhadi Eko Prayitno  
Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS – ITS

## ABSTRACT

*The propulsion system of traditional fishing vessels until this time generally still using a single transmission gearbox. Transmission system with a single speed gearbox cannot operate at the optimum operation main engine, causing the engine operation is unefficient. To obtain the optimum operational of propulsion system is carried out loading curve analysis method using ANLOVA software and engine propeller matching.*

*Calculation of ship resistance using Maxsurf with Ootmerssen method and DelfIII. The calculation result of ship resistance using both method is analyzed to obtain constraints on the ship accordance with the LSE method. The analysis of matching engine propeller data obtained from CVT gearbox ratios setting in the range of 5 to 9.*

*The impact of setting the ratio obtained the spesific fuel consumption reduction of 6gram/kw/h or 720 gram/hour at speed of 7 knot, meanwhile the highest fuel consumption reduction obtained at the point of operation of 5:48 speed knots with a decrease spesific fuel consumption 21 gram/kW/h or 1260 grams/hour.*

**Keywords:** Fishing ship, Resistance, ANLOVA, Propeller, Gearbox, CVT, speed ratio, SFOC.

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan sistem transmisi propulsi kapal ikan dengan satu tingkat kecepatan tidak mampu mengikuti garis kurva pengoperasian optimal dari *main engine*. Hal ini disebabkan gearbox dengan single reduksi tidak adaptif untuk mengikuti perubahan beban hambatan kapal sehingga garis kerja pengoperasian kapal tidak dapat digeser ke titik optimal pengoperasiannya. Salah satu cara untuk menggeser titik pengoperasian *engine* adalah dengan mengganti *gearbox single* reduksi kecepatan dengan *gearbox* yang dapat diatur rasio reduksinya yaitu *gearbox CVT (Continuously Variable Transmission)*[1][2][3].

Metode untuk pengaturan rasio reduksi CVT dilakukan berdasarkan rasio perbandingan kecepatan titik pengoperasian *engine* dengan kecepatan referensi titik optimal pengoperasian *engine*. Perbandingan rasio dihitung pada garis *constant power output engine*. Model fungsi optimal titik operasi *engine* adalah kurva power terhadap rpm sistem propulsi kapal yang dihitung berdasarkan karakteristik hambatan kapal dengan kurva optimal *engine* berdasarkan karakteristik *engine performance map*.

Fungsi optimal pengaturan rasio reduksi adalah titik-titik yang merupakan garis kerja optimal pengoperasian *engine* dengan variable input adalah daya *output engine* yang dibutuhkan dan kecepatan *engine*, sedangkan variable outputnya adalah rasio *gearbox*. Analisa unjuk kerja sistem transmisi *gearbox* dengan *single* reduksi dengan *gearbox CVT* dilakukan dengan membandingkan konsumsi bahan bakar spesifik ada masing-masing sistem pada titik pengoperasian *output* daya yang sama[1].

## 2. PUSTAKA

### 2.1. Hambatan Kapal

Hambatan kapal dihitung menggunakan metode numerik berbasis perhitungan software Maxsurf. Input dari perhitungan hambatan kapal menggunakan software Maxsurf adalah ukuran utama kapal. Pemilihan metode perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan kriteria sebagai berikut [4][5],

1. *Savitsky pre planning* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal cepat *planning hull* pada kondisi sebelum *planning (pre planning)*.
2. *Savitsky planning* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada

- kapal cepat *planning hull* yang bekerja pada kondisi *planning* (kecepatan *planning*).
3. *Lahtiharju* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal cepat *planning hull* pada kondisi *planning* (kecepatan *planning*).
  4. *Holtrop* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal tanker, kapal kargo, kapal ikan, tug boat, kapal kontainer dan kapal frigate.
  5. *Van Oortmerssen* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal kapal kecil misalnya kapal trawler dan kapal tug boat.
  6. *Series 60* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal kargo dengan satu propeller (*single screw propeller*).
  7. *Delf Series* : Algoritma ini digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal layar (*sailing yacht*) berdasarkan metode perhitungan regresi *Gerritsma* (1991) atau *Gerritsma* (1992).

Persyaratan penggunaan metode perhitungan hambatan kapal ditunjukkan pada Tabel 1. Karakteristik hambatan kapal dari hasil perhitungan metode numerik hambatan kapal ditransformasikan dalam bentuk persamaan hambatan kapal fungsi dari kecepatan kapal yaitu:

$$R_t = \rho \cdot S \cdot v^n \quad (1)$$

Dengan,

- R<sub>t</sub> = Hambatan kapal (N);
- ρ = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>);
- S = Luas basah permukaan kulit kapal yang tercelup air (m<sup>2</sup>);
- v = Kecepatan kapal;
- n = Orde polynomial persamaan hambatan kapal (n=2).

Tabel 1. Persyaratan penggunaan metode numerik perhitungan hambatan kapal.

Algoritma	Persyaratan
Savitsky	$3.07 < L/V^{1/3} < 12.4$ $3.7 < ie < 28.6$ $2.52 < L/B < 18.26$ $1.7 < B/T < 9.8$ $0 < At/Ax < 1$ $-0.016 < LCG/L < 0.0656$
Lahtiharju (Round Bilge)	$4.47 < L/V^{1/3} < 8.30$ $0.68 < B^3/V < 7.76$ $3.33 < L/B < 8.21$ $1.72 < B/T < 10.21$ $0.16 < At/Ax < 0.82$

	$0.57 < C_m < 0.89$ $4.49 < L/V^{1/3} < 6.81$ $2.73 < L/B < 5.43$ $3.75 < B/T < 7.54$ $0.43 < At/Ax < 0.995$
Lahtiharju (Hard Chine)	
Holtrop	$0.55 < C_p < 0.85$ $3.9 < L/B < 15$ $2.1 < B/T < 4.0$
Van Oortmerssen	$8 < L < 80$ $3 < L/B < 6.2$ $0.5 < C_p < 0.73$ $-7 < 100 LCG/L < 2.8$ $5 < V < 3000$ $1.9 < B/T < 4.0$ $0.70 < C_m < 0.97$ $10 < ie < 46$
Series 60	$0.6 < C_b < 0.8$ $5.5 < L/B < 8.5$ $2.5 < B/T < 3.5$ $-2.48\% < LCB < 3.51\%$
Delft	$2.76 < L/B < 5.00$ $2.46 < B/T < 19.32$ $4.34 < L/V^{1/3} < 8.50$ $-6.0\% < LCB < 0.0\%$ $0.52 < C_p < 0.60$

Propeller yang digunakan sebagai *propulsor* adalah tipe FPP (*Fixed Pitch propeller*) dengan rasio *pitch* per diameter propeller adalah konstan, sehingga kecepatan kapal adalah fungsi linier dari kecepatan kapal yaitu:

$$R_t = 0.5 \cdot C \cdot C_t \cdot n^2 \quad (2)$$

Dengan,

- R<sub>t</sub> = Hambatan total kapal (N);
- C = Konstanta yang tergantung besarnya pitch propeller;
- C<sub>t</sub> = Coefisien tahanan kapal;
- N = RPM propeller (rpm).

## 2.2. Propulsi kapal

Persamaan hambatan kapal disubstitusikan dengan persamaan karakteristik *open water test* propeller yaitu [6][7][8] :

Koefisien thrust,

$$K_t = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (3)$$

Koefisien torsi,

$$K_q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (4)$$

Koefisien advance,

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (5)$$

Efisiensi propeller,

$$\eta = \frac{Kt.J}{2.\pi.Kq} \quad (6)$$

Dengan,

- T = Gaya dorong propeller (N);
- Q = Momen puntir propeller (N);
- D = Diameter propeller (m);
- n = Kecepatan propeller (rpm);
- Va = Speed of advanced (m/s).

Substitusi persamaan *open water test* propeller terhadap arakteristik hambatan kapal diperoleh kurva pembebaan propeller yaitu:

$$Kt = \frac{c}{\rho.(1-t)(1-w)^2.D^2} \left[ \frac{Va}{n.D} \right]^2 \quad (7)$$

$$Kt = c.J^2 \quad (8)$$

Dengan,

- t = *thrust deduction factor*;
- w = *wake factor*.

Daya motor penggerak diformulasikan dalam Persamaan 9:

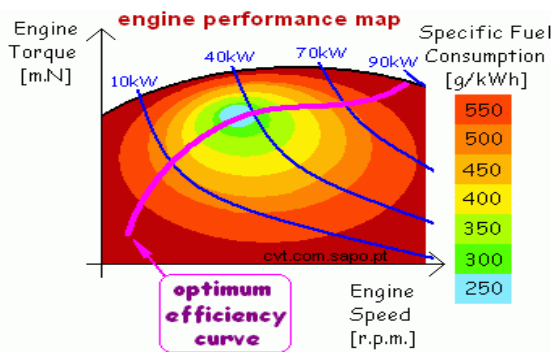
$$P = C.Q.n \quad (9)$$

Substitusi Pesamaan 9 dengan Persamaan 4, diperoleh karakteristik daya penggerak kapal yaitu:

$$P = C.n^3 \quad (10)$$

### 2.3. Fungsi Optimum Efisiensi Motor Penggerak.

Fungsi optimal adalah menyatakan hubungan antara *fuel consumption* minimal atau efisiensi motor tertinggi terhadap daya beban (*load*)[2].

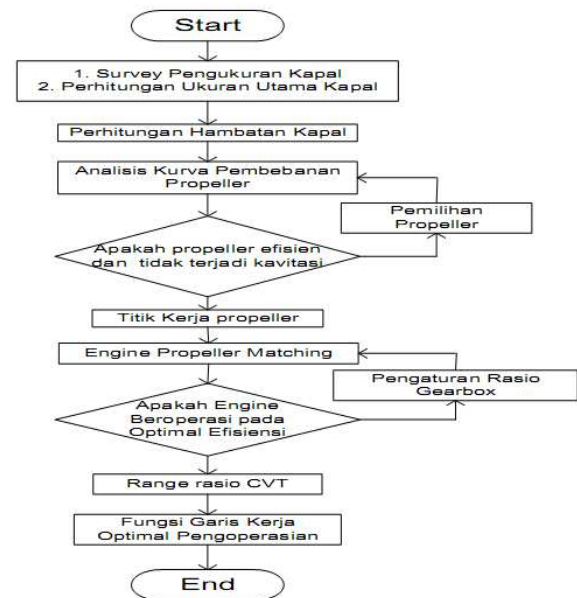


Gambar 1. Fungsi optimal pada *chart performance motor*.

Fungsi optimal diperoleh dari analisa *Chart Engine Performance*. *Chart engine performance* bersumber dari data teknis motor. Fungsi optimal dijadikan *setting reference* untuk mengubah ratio *gearbox* apabila titik operasi motor bekerja pada daya yang tidak memberikan nilai konsumsi bahan bakar minimal. Fungsi optimal dicari dengan menghubungkan titik – titik yang menghasilkan daya maksimal. Akan tetapi pemakaian konsumsi bahan bakar yang paling sedikit.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh titik pengoperasian *engine* sehingga diperoleh pengoperasian *engine* yang irit bahan bakar dengan mengatur rasio *gearbox* CVT. Titik-titik pengoperasian motor yang irit bahan bakar adalah rasio kecepatan yang merupakan fungsi dari daya propulsi dan kecepatan putar *engine*. Metode penelitian untuk meperoleh fungsi pengoperasaan motor yang irit bakar ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Metode Penelitian

Untuk menentukan titik optimal pengoperasian *engine* agar beroperasi pada garis optimal maka dilakukan pemilihan propeller berdasarkan analisa kurva pembebanan propeller dan pengaturan rasio *gearbox*.

## 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perhitungan Hambatan Kapal

Data ukuran utama kapal sebagai acuan perhitungan hambatan kapal ditunjukkan pada Tabel 2. Perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan menggunakan metode yang sesuai yaitu *Van Oortmerssen* dan *Delf Series*. Metode *Van Oortmerssen* digunakan untuk perhitungan hambatan kapal pada kapal kapal kecil. Metode tersebut cukup sesuai untuk dipilih yang mana umumnya kapal ikan tradisional adalah merupakan kapal-kapal kecil. Sedangkan obyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal penangkap ikan dengan panjang keseluruhan 12.6 meter dan bobot mati 52.997 ton. Metode *Delf series* adalah metode untuk perhitungan hambatan kapal pada perahu layar (sailing yacht). Hasil perhitungan hambatan dengan metode tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

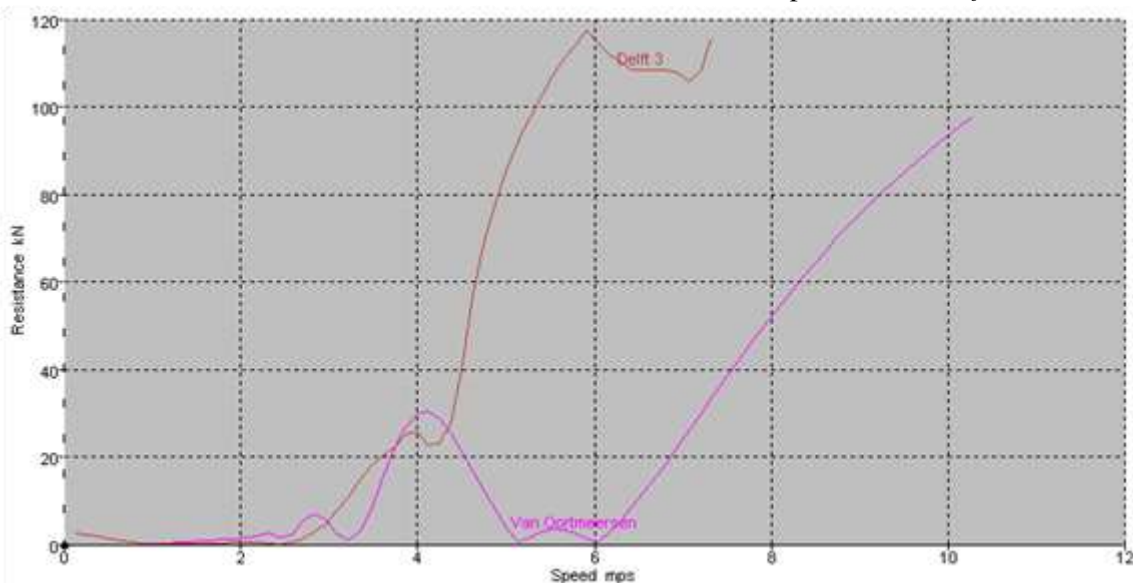
Tabel 2. Ukuran Utama Kapal

LOA, (Panjang keseluruhan) (m)	12.600
LWL, (Panjang garis air) (m)	9.900
Lpp, (panjang antar garis tkg) (m)	9.100
B, (Lebar kapal) (m)	5.400
T, (Sarat Kapal) (m)	1.700
He, (Tinggi kapal) (m)	2.200
H, Tinggi Geladak (m)	1.850
Cm, Koef Midship	0.790
Cwp, Koef Bid. Grs Air	0.774
V, Volume Carena Gel (m <sup>3</sup> )	58.266
Cb Koefisien Block	0.587
Cpm, Koef Pris. Memanjang Gel	0.684
Cpt, Koef Pris. Tegak	0.746
GT, Gross Tonnage	13.711
D, Volume Displacement (m <sup>3</sup> )	51.705
DWT, Bobot Mati (ton)	52.997
WSA, Luas Basah (m <sup>2</sup> )	58.991

Hasil perhitungan hambatan kapal dengan metode *Van Oortmerssen* bersifat non linier dimana dengan bertambahnya kecepatan kapal hambatan kapal menjadi turun atau memiliki titik balik. Berdasarkan teori dasar hidrodinamika, hambatan kapal bersifat linier terhadap kecepatan kapal dengan model fungsi polinomial orde dua. Hasil metode *Delf I, II dan III* menunjukkan karakteristik hambatan kapal cukup baik, walaupun bersifat non linier dan memiliki titik balik pada kecepatan lebih kurang 6.5 knot, akan tetapi hambatan kapal meningkat lagi dengan kenaikan kecepatan kapal. Akan tetapi fungsi hambatan kapal diskontinyu pada kecepatan 7 knot, sehingga hambatan kapal dihitung dengan metode kombinasi antara keduanya dengan pendekatan model LSE (*Least Square Error*).

Berdasarkan analisis karakteristik hambatan kapal tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 3, maka dilakukan regresi dengan metode LSE untuk memperoleh karakteristik hambatan kapal dengan fungsi pendekatan polinomial orde dua yang ditunjukkan pada Persamaan 1.

Hasil regresi metode LSE ditunjukkan pada Gambar 4. Dimana pada Gambar 4, yang dimaksud dengan data-1 adalah Hasil perhitungan hambatan kapal dengan metode *Van Oortmerssen*, data-2 adalah hasil perhitungan hambatan kapal dengan metode *Delf III*, data-3 adalah model regresi hambatan kapal metode *Van Oortmerssen*, data-4 adalah model regresi hambatan kapal metode *Delf III*, dan data-5 adalah



Gambar 2. Hasil Perhitungan Hambatan Metode *Delf III*, dan *Van Oortmerssen*

model hambatan dengan rerata koefisien metode *Van Ootmerssen* dan *Delf III*. Formulasi regresi dengan kriteria LSE ditunjukkan pada Persamaan 11.

$$\theta = (\Phi^T \cdot \Phi)^{-1} \cdot \Phi^T Y \quad (11)$$

Dengan,

Y = Vektor output;

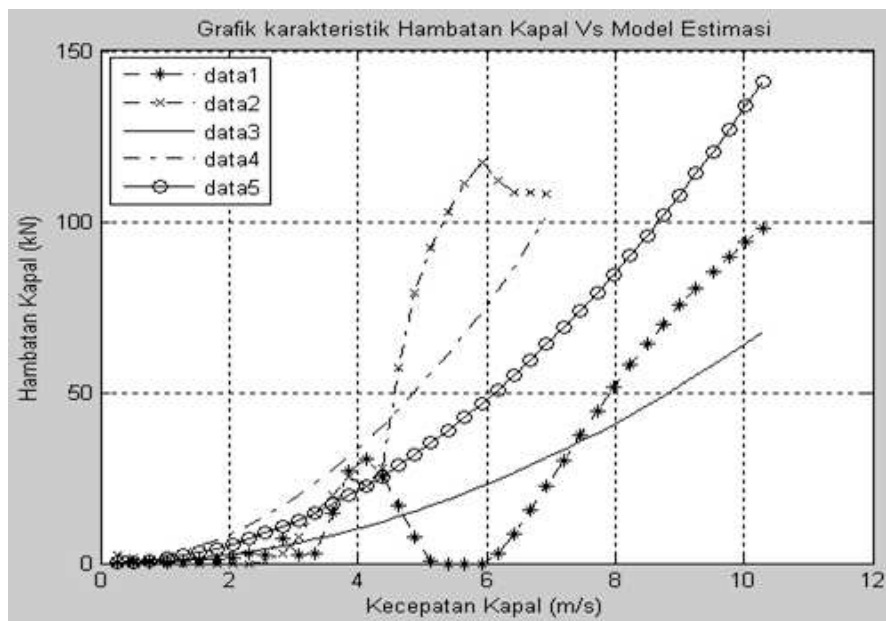
Φ = Vektor input parameter estimasi;

θ = Parameter model.

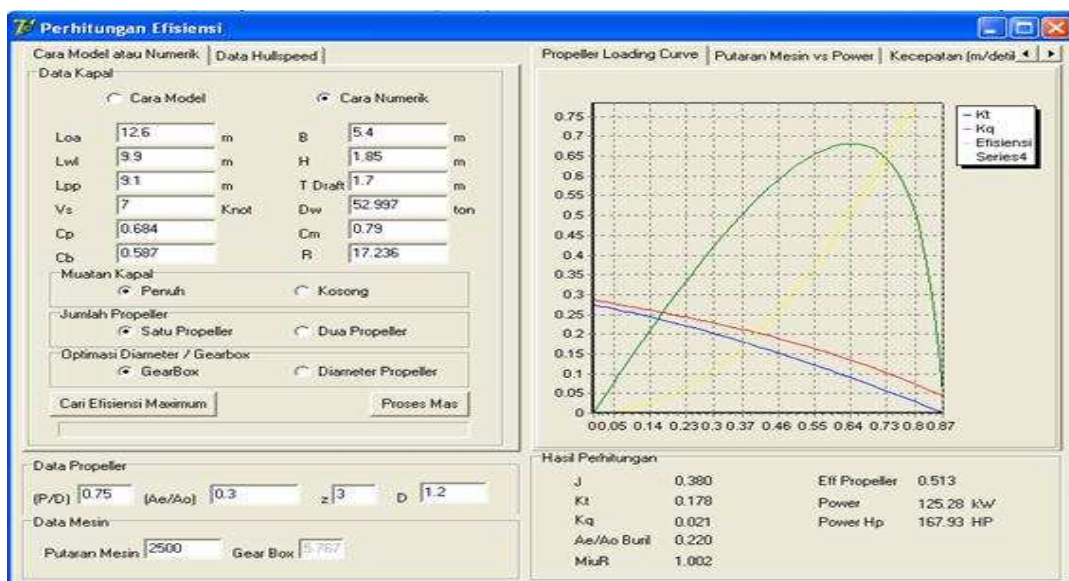
Perhitungan konstanta hambatan kapal hasil regresi dengan metode *Van Ootmerssen* adalah 0.64, sedangkan dengan metode *Delf III* adalah 2.1. Validasi pemilihan model hambatan kapal yang sesuai dilakukan berdasarkan nilai rerata konstanta hambatan kapal pada masing masing metode. Nilai rerata konstanta hambatan kapal adalah 1.33.

#### 4.2. Kurva Pembebanan Propeller

Pemilihan propeller dilakukan dengan mencari



Gambar 4. Grafik Hasil Regresi Model hambatan Kapal Metode LSE

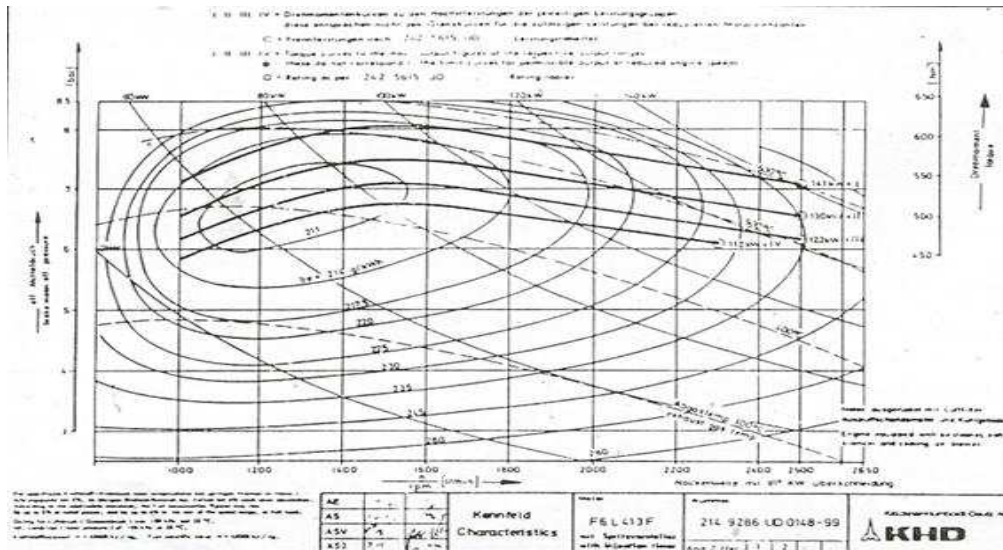


Gambar 5. Plottig kurva pembebanan propeller terhadap openwater test B series propeller

titik potong pengoperasian propeller dengan menggunakan software ANLOVA [8]. Berdasarkan hasil perhitungan hambatan kapal dengan menggabungkan metode *Van Ootmerssen* dan *Delf III*.

### 4.3. Engine Propeller Matching

Karakteristik propulsi kapal diperoleh dengan mencari konstanta propulsi kapal menggunakan Persamaan 10. Konstanta propulsi



Gambar 5. Performance Motor Penggerak Merk Deutz

Tabel 3. Titik Kerja Pengoperasian Optimal Variabel rasio gearbox

Power (kw)	Vs (knot)	Rpm Opt	Rpm Opr	Rasio Fix	Rasio Var	SFOC OPT (g/kw/h)	SFOC OPR (g/kw/h)	Diff SFOC (g/kw/h)	Reduksi (g/jam)
10	3.01	990	990.20	5.767	5.77	218.7	218.7	0	0
60	5.48	1180	1799.30	5.767	8.79	211	232	21	1260
80	6.03	1480	1980.39	5.767	7.72	211	225	14	1120
100	6.49	1720	2133.31	5.767	7.15	213	224	11	1100
120	6.90	2050	2266.98	5.767	6.38	218	224	6	720
140	7.26	2200	2386.51	5.767	6.26	237	237	0	0

Titik kerja propeller beroperasi pada kecepatan 7 knot (3.6 m/s). Nilai hambatan kapal pada kecepatan 7 knot dengan konstanta hambatan 1.33 adalah 19.816 kN. Plottig kurva pembebanan propeller terhadap *openwater test* B series propeller ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan analisis kurva pembebanan propeller menggunakan software ANLOVA, maka dipilih propeller dengan spesifikasi:

- *Pitch per diameter* (P/D) = 0.75, *Expanded Area ratio* (Ae/Ao) = 0.3;
- Jumlah daun (Z) = 3, Diameter (D) = 1.2 m, Efisiensi ( $\eta$ ) = 0.513;
- Konstanta *Thrust* (Kt) = 0.178, Konstanta Torsi (Kq) = 0.021.

si kapal diperoleh berdasarkan nilai KQ dan parameter diameter propeller yang ditunjukkan pada Persamaan 4. Konstanta propulsi diperoleh nilai  $1.03 \times 10^{-8}$  kW/rpm<sup>3</sup>. Mesin penggerak kapal menggunakan Motor merk Deutz F6L413F ditunjukkan pada Gambar 6.

Karakteristik propulsi kapal diplotkan pada karakteristik performance map motor diesel merk Deutz yang disebut dengan analisis *engine propeller matching*. Hasil *matching* antara *engine* dan *propeller* ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan data hasil analisis *engine propeller matching* yang ditunjukkan pada Tabel 3, *range rasio CVT gearbox* dipilih antara 5 sampai 9.

Fungsi optimal pengaturan rasio ditentukan melalui metode interpolasi antara nilai Power (Tabel 3) kolom ke-1 dengan nilai Rasio Var kolom ke 6. Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik pada titik operasi dengan kecepatan 7 knot adalah 6 gr/kW/h atau 720 gr/h, sedangkan penurunan konsumsi bahan bakar terbesar diperoleh pada titik pengoperasian dengan kecepatan 5.48 knot yaitu 21 gr/kW/h atau 1260 gr/h.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hambatan kapal ikan menggunakan metode *Delf III* diskontinyu pada kecepatan 7.4 m/s, sedangkan formulasi metode *Van Oortmerssen* non linier pada kecepatan 0 sampai 6 knot.
2. Perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan pendekatan fungsi polinomial orde dua dengan pencarian konstanta hambatan menggunakan metode LSE.
3. Konstanta hambatan kapal untuk perhitungan metode LSE untuk metode *Van Oortmerssen* adalah 0.64 dan untuk metode *Delf III* adalah 2.1, sehingga konstanta hambatan kapal kombinasi antara keduanya adalah 1.33.
4. Hasil analisis kurva pembebanan propeller diperoleh titik operasi dengan efisiensi 51.3% menggunakan *B series propeller* jumlah daun 3 dan *expanded area ratio* 0.3.
5. Range pengaturan rasio yaitu perbandingan antara kecepatan input (*main engine*) dengan kecepatan output (*propeller*) CVT antara 5 sampai 9.
6. Dampak dari pengaturan rasio *gearbox* dapat menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik 6 gr/kW/h atau 720 gr/h pada kecepatan 7 knot, dan 21 gr/kW/h atau 1260 gr/h pada kecepatan 5.48 knot.

## 6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada DIKTI, yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah IMHERE.tahun 2009.

## 7. PUSTAKA

- [1] Eko, M.M., Shah, M., "Desain CVT Gearbox untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Motor Penggerak Kapal Ikan", Laporan Penelitian dana IMHERE, PPNS – ITS, Surabaya.
- [2] C.J. Braje & M. Deacon (2005), "How To Maximize Engine Efficiency", University of Bath RW Horrocks, Ford Motor Company, <http://CVT.COM.sapo.pt> , link : <http://www.bath.ac.uk>
- [3] Jami'in M.A (2008), "Disain Kontroler JST State Feedback Optimal Untuk Pengendalian Kecepatan Pada Sistem CVT Dengan Penggerak Motor Induksi", *Tesis Master Teknik Sistem Pengaturan*, 2008, ITS Surabaya .
- [4] .....(1998).,"Hullspeed Version 2.16", Formation Design System 1998.
- [5] Oortmerssen, G. - "A Power Prediction Method and its Application to Small Ships", International Shipbuilding Progress, vol 18 , No.207 1971
- [6] Lewis,E.V. (1988), "Principles of Naval Architecture" Volume II The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [7] Muckle, W., 1987,"*Naval Architecture*", Butterworths, London
- [8] Edy. P.H & Jami'in, M.A., 2003, "Analisis desain sistem penggerak utama kapal ikan tradisional dan upaya peningkatan efisiensinya", *Laporan Penelitian DIPA*, PPNS – ITS, Surabaya .