

KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS PENGGUNAAN *DUAL FUEL SYSTEM* (LPG-SOLAR) PADA MESIN DIESEL KAPAL NELAYAN TRADISIONAL

Imam Pujo Mulyatno¹, Sarjito Joko Sisworo², Dhimas Satriyan Panuntun³
^{1,2,3} Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang, Semarang
dhimas.satriyan@gmail.com

Abstrak

Pengembangan bahan bakar alternatif dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM), telah menjadi agenda penting pemerintah. Penggunaan LPG (Liquefied Petroleum Gas) pada mesin diesel kapal nelayan tradisional didasarkan pada keberhasilan penggunaan LPG pada kendaraan-kendaraan darat.

Penggunaan LPG pada mesin diesel dilakukan secara dual fuel. Penelitian dual fuel system pada mesin diesel kapal nelayan tradisional bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar dual fuel terhadap kinerja mesin dan sistem penggerak, meliputi konsumsi bahan bakar, daya, kecepatan kapal, serta efisiensi pada sistem penggerak kapal. Penelitian dilakukan dengan menggunakan DongFeng ZS-1100 dengan tiga putaran mesin yang berbeda yaitu 1000rpm, 1250 rpm dan 1500 rpm.

Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan LPG secara dual fuel mampu menggantikan konsumsi solar hingga 71% dari konsumsi solar seluruhnya selama satu jam. Komposisi LPG yang dihasilkan mencapai lebih dari 60% dari total pemakaian bahan bakar saat dual fuel. Kecepatan dan jarak tempuh saat menggunakan solar seluruhnya mencapai 5% lebih tinggi dibandingkan dual fuel. Daya dan torsi saat menggunakan dual fuel mencapai 9,8 % lebih tinggi dibandingkan solar seluruhnya. Penggunaan dual fuel mampu mengurangi biaya operasional penangkapan ikan hingga 24,6%, namun dengan waktu tempuh 1,3% lebih lama dari solar seluruhnya. Efisiensi propulsi solar seluruhnya 6% lebih besar dibandingkan efisiensi propulsi dual fuel.

Kata Kunci :Dual Fuel, Mesin Diesel, Solar, LPG, Sistem Penggerak

1. PENDAHULUAN

Pengembangan sumber-sumber alternatif dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM), telah menjadi agenda penting pemerintah yang dituangkan pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, tentang Kebijakan Energi Nasional. Kebijakan tersebut diterjemahkan dalam bentuk upaya pemberdayaan sumber-sumber energi yang ada. Penggunaan bahan bakar gas (BBG) sebagai sumber energi merupakan salah satu upaya yang banyak dilakukan untuk menggantikan bahan bakar minyak. Bahan bakar gas adalah semua jenis bahan bakar yang berbentuk gas, seperti gas alam dan gas dari minyak bumi.

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan salah satu bahan bakar fosil atau bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. LPG berasal dari minyak bumi yang dicairkan. LPG merupakan salah satu BBG yang berpotensi untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan BBM sebagai bahan bakar motor penggerak kapal perikanan. Hal ini didasarkan pada penggunaan LPG pada kendaraan darat seperti mobil, motor dan kendaraan lain, yang pada dasarnya menggunakan motor bensin atau motor diesel.

Perlu dilakukan pengujian dan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan LPG dengan *dual fuel system* atau berbahan bakar ganda sebelum digunakan nelayan secara luas.

Berdasarkan latar belakang yang ada maka tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui perbandingan konsumsi bahan bakar *dual fuel* (LPG-Solar) terhadap konsumsi solar seluruhnya (LPG-Solar).
2. Mengetahui kecepatan yang dihasilkan mesin diesel kapal ikan nelayan tradisional saat menggunakan solar maupun saat menggunakan *dual fuel*.
3. Mengetahui perbandingan daya mesin saat menggunakan solar seluruhnya maupun saat menggunakan *dual fuel*.
4. Mengetahui perbandingan biaya dan waktu operasional penangkapan ikan saat menggunakan solar seluruhnya maupun saat menggunakan *dual fuel*.
5. Mengetahui perbandingan efisiensi sistem penggerak kapal saat menggunakan solar seluruhnya maupun saat menggunakan *dual fuel*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Perikanan

Kapal perikanan menurut Undang-Undang Republik Indonesia, Nomor 45 Tahun 2009, tentang perikanan menyatakan bahwa kapal perikanan adalah kapal, perahu, atau alat apung lain yang digunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian / eksplorasi perikanan. [UU No.45,2009]

2.2 Mesin Diesel

Motor diesel biasanya disebut juga "motor penyalaan - kompresi" ("Compression - Ignition Engine") oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara bertekanan dan bertemperatur tinggi, sebagai akibat dari proses kompresi. [Arismunandar, 1993]

2.3. Solar (*Diesel Fuel*)

Bahan bakar diesel (solar) adalah fraksi minyak bumi yang mendidih pada suhu sekitar 175° sampai 370°C dan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.

Salah satu sifat bahan bakar diesel yang terpenting adalah kualitas penyalaan. Kualitas penyalaan bahan bakar diesel berhubungan dengan kelambatan penyalaan. Kualitas penyalaan bahan bakar diesel dinyatakan dalam angka cetan.

Angka cetan bahan bakar diesel untuk mesin diesel dengan kecepatan tinggi mempunyai harga antara 40 – 60. [Hardjono,2000]

2.4 *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

LPG atau lebih dikenal dengan elpiji adalah gas minyak bumi yang dicairkan pada suhu biasa dan tekanan sedang, sehingga elpiji dapat disimpan dan diangkut dalam bentuk cair dalam bejana dengan suatu tekanan. Komponen utama elpiji adalah propan dan butan. Dalam elpiji juga terdapat sejumlah kecil belerang dalam bentuk senyawa merkaptan yang mempunyai bau yang tidak sedap yang dapat digunakan untuk mengetahui adanya kebocoran gas. [Hardjono,2000]

2.5 *Dual Fuel System (LPG-Solar)*

Dual Fuel System Solar-LPG adalah sistem bahan bakar yang menggunakan dua jenis bahan bakar sekaligus di dalam bekerjanya motor penggerak yaitu LPG-Solar melalui sedikit modifikasi *mixer* mesin pada *intake manifold* dan menggunakan peralatan konversi LPG. LPG bercampur udara di *mixer* masuk ke dalam silinder motor penggerak, kemudian dikompresi di ruang bakar motor penggerak untuk selanjutnya terbakar bersama solar. [Oktavian, 2011]

2.6. Peralatan Konversi LPG (*LPG Conversion Kit*)

Peralatan konversi LPG adalah peralatan yang digunakan untuk menyalurkan gas dari tabung LPG ke dalam saluran udara mesin diesel. Peralatan konversi ini terdiri dari:

- Katup utama (*Main Valve*).
 - *LPG Regulator*
 - Alat ukur tekanan LPG
 - Selang LPG tekanan rendah
 - Selang LPG tekanan tinggi
 - Katup pengatur aliran (*Power Valve*).
 - Pencampur LPG dan udara (*Gas-Air Mixer*).
- [Oktavian, 2011]

2.7. Engine Propeller Matching

2.7.1 Daya Sistem Propulsi

Daya Efektif (P_E) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar V_S .

$$P_E = R_T \times V_S$$

Dimana :

P_E = Daya Efektif, (kW)

R_T = Gaya Hambat Total, (kN)

V_S = Kecepatan Servis kapal (m/s)

Daya Dorong (P_T) adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh kerja dari alat gerak kapal (*propulsor*) untuk mendorong badan kapal.

Wake fraction menyatakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan aliran air yang menuju ke baling-baling.

$w_{standar} = 0,70 \times C_p$ (*Single screw ship normal stern*)

$w_{standar} = 0,50 \times C_p$ (*Single screw ship normal stern-bulb*)

w = wake fraction (fraksi arus ikut)

Daya Yang Disalurkan (P_D) adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan daya dorong sebesar P_T .

$$P_D = 2\pi Q_D n_p$$

Dimana :

P_D = Daya yang disalurkan (kW)

Q_D = Torsi baling-baling kondisi dibelakang badan kapal (kNm)

n_p = Putaran baling-baling, (rps)

Daya Poros (P_S) adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (*stern tube*) dari sistem perporosan penggerak kapal. [Adji Suryo,2005]

2.7.2 Gaya Dorong Kapal

Gaya dorong (*thrust*) kapal merupakan komponen yang sangat penting, yang mana digunakan untuk mengatasi tahanan (resistance) atau gaya hambat kapal.

$$T = \frac{R}{(1-t)}$$

Dimana :

T = Gaya dorong kapal (kN)

R = Tahanan kapal (kN)

t = *thrust deduction factor*

a) $t_{standar} = 0,5 \times C_p - 0,12$ (kapal dengan baling-baling tunggal)

b) $t_{standar} = 0,5 \times C_p - 0,19$ (kapal dengan baling-baling kembar)

..... (1)

2.7.3 Efisiensi Sistem Penggerak Kapal

Efisiensi lambung, η_{HULL} , adalah rasio antara daya efektif (P_E) dan daya dorong (P_T). Efisiensi lambung ini merupakan suatu bentuk ukuran kesesuaian rancangan lambung (*stern*) terhadap *propulsor arrangement*-nya.

$$\eta_{hull} = \frac{P_E}{P_T}$$

Dimana :

P_E = Daya efektif (kW)

P_T = Daya dorong (kW)

Efisiensi Baling-baling (*Propeller Efficiency*), η_B , adalah rasio daya dorong (P_T) dengan daya yang disalurkan (P_D).

$$\eta_B = \frac{P_T}{P_D} = \frac{T \times Va}{2\pi Q_D n}$$

Dimana :

T = Gaya dorong, (kN)

Va = Kecepatan *advanced* aliran fluida di buritan kapal (m/s)

Q_D = Torsi baling-baling kondisi dibelakang badan kapal (kNm)

n = Putaran baling-baling (rps)

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_S}$$

Dimana :

P_D = Daya yang disalurkan (kW)

P_T = Daya dorong (kW)

Efisiensi Keseluruhan (*Overall Efficiency*), η_P , yang dikenal juga dengan sebutan *Propulsive Efficiency* merupakan hasil dari keseluruhan efisiensi di masing-masing *phrase* daya yang terjadi pada sistem propulsi kapal (sistem penggerak kapal).

$$\eta_P = \eta_{HULL} \times \eta_B \times \eta_S$$

[Adji Suryo,2005]

2.8 Break Even Point (BEP)

Break Event Point menyatakan volume penjualan dimana total penghasilan tepat sama besarnya dengan total biaya, sehingga perusahaan tidak memperoleh keuntungan dan juga tidak menderita kerugian.

Dalam pendekatan Contribution Margin (CM) dapat dipakai rumus sebagai berikut :

Contribution Margin (CM) =
 Harga Penjualan (P) – Biaya Variable (V)

$$BEP = \frac{\text{Biaya Total}}{\text{Contribution Margin per unit}}$$

[Soepeno,2012]

3. METODOLOGI PENELITIAN

1. Menggunakan metode *Experimental Research*
2. Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori dan data penunjang dalam analisa data.
3. Studi lapangan dilakukan dengan beberapa metode pengukuran langsung dan wawancara. Pengukuran langsung dilakukan terhadap kapal untuk mengetahui ukuran utama. Metode wawancara dilakukan untuk mendapatkan data penunjang perhitungan.
4. Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui putaran mesin diesel, waktu konsumsi BBM, jumlah pemakaian LPG, dan torsi mesin.
5. Pengujian lapang dilakukan untuk mengetahui putaran mesin diesel, waktu konsumsi BBM, jumlah pemakaian LPG, dan kecepatan kapal.
6. Data hasil pengujian dilakukan pengolahan data perhitungan dan penggunaan perangkat lunak komputer. Data hasil pengolahan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik
7. Analisa data dilakukan pada hasil pengolahan data dengan membandingkan penggunaan solar dan *dual fuel*.

8. Pengujian bekerja sama dengan BBPPI Semarang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran kapal yang didapatkan dari hasil pengukuran kapal sebagai berikut:

Panjang Keseluruhan (LOA)	: 7,8 meter
Lebar (B)	: 2,6 meter
Tinggi (H)	: 0,93 meter
Sarat (T)	: 0,5 meter
Jumlah Gading	: 8 buah
Jarak Gading	: 0,7 meter

Spesifikasi Mesin Uji

Merek/Tipe Mesin	: Dong Feng / ZS-1100
Tenaga Maksimum	: 16 HP ≈ 11,93 kW
Putaran Maksimum	: 2200 rpm
Jenis Mesin	: 4langkah, pendinginan air
Ukuran (p x l x t)	: 0,82 x 0,41 x 0,67 m
Berat Bersih	: 150 kg

4.1 Uji Laboratorium

Hasil uji laboratorium menggunakan bahan bakar solar seluruhnya dan *dual fuel* berupa putaran mesin, waktu konsumsi bahan bakar gas dan waktu konsumsi bahan bakar tiap 50cc. Waktu konsumsi setiap 50cc bahan bakar kemudian dikonversi kedalam satuan liter/jam. Berat tabung dikonversikan ke dalam satuan kg/jam.

Tabel 1. Solar 100% Uji Laboratorium

RPM	Konsumsi BBM (liter/jam)	Torsi (N.m)	Daya (kW)
1000	0.29	30,0	3,15
1250	0.35	39,0	5,12
1500	0.40	47,2	7,43

Tabel 2. Dual Fuel Uji Laboratorium

RPM	Konsumsi BBM (liter/jam)	Konsumsi LPG (kg/jam)	Torsi (N.m)	Daya (kW)
1000	0.17	0.15	32,8	3,46
1250	0.20	0.28	41,6	5,47
1500	0.27	0.39	51,4	8,09

4.2 Uji Lapang

Hasil uji lapang menggunakan bahan bakar solar seluruhnya dan *dual fuel* berupa putaran mesin, waktu konsumsi bahan bakar tiap 50cc, konsumsi bahan bakar gas, dan kecepatan kapal. Waktu konsumsi setiap 50cc bahan bakar kemudian dikonversi kedalam satuan liter/jam. Berat tabung dikonversikan ke dalam satuan kg/jam.

Tabel 3. Solar 100% Uji Lapang

RPM	Konsumsi BBM (liter/jam)	Kecepatan (knot)
1000	0.59	3,36
1250	0.96	4,34
1500	1.46	5,26

Tabel 4. *Dual Fuel* Uji Lapang

RPM	Konsumsi BBM (liter/jam)	Konsumsi LPG (kg/jam)	Kecepatan (knot)
1000	0.22	0.35	3,43
1250	0.39	0.46	4,21
1500	0.42	0.55	5,00

5. Analisa Data

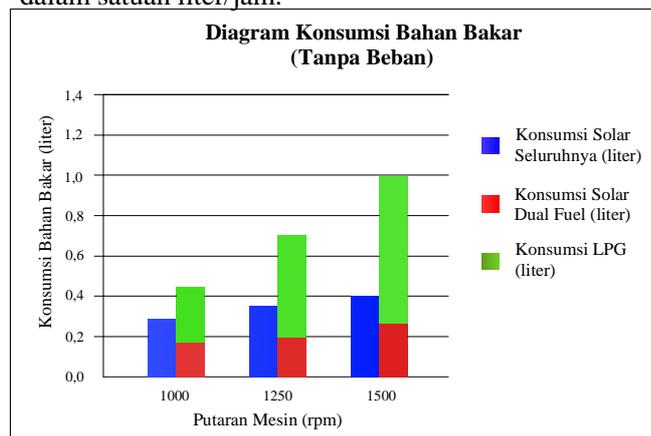
5.1 Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan hasil uji lapang didapatkan nilai variabel konsumsi bahan bakar rata-rata selama satu jam dan kecepatan kapal rata-rata kapal. Apabila massa jenis LPG 0,54 gr/ml (Project Statement BBPPI, 2012) maka dapat dihitung jarak rata-rata yang dapat ditempuh untuk setiap liter penggunaan bahan bakar solar maupun *dual fuel*.

Tabel 5. Jarak tempuh tiap satu satuan bahan bakar

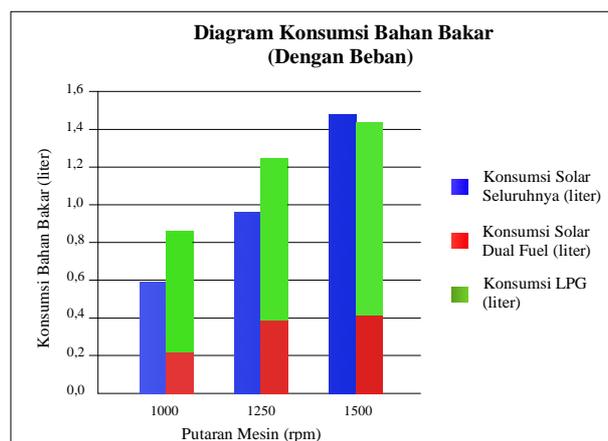
Putaran (rpm)	Solar 100%	<i>Dual Fuel</i>	
	Jarak 1 liter solar (mil laut)	Jarak 1 liter solar (mil laut)	Jarak 1 liter LPG (mil laut)
1000	5,69	15,59	5,30
1250	4,52	10,79	4,95
1500	3,60	11,90	4,91

Berdasarkan hasil uji laboratorium (tanpa beban) dan uji lapang (dengan beban) didapatkan nilai variabel konsumsi bahan bakar rata-rata selama satu jam. Selanjutnya dibuat diagram perbandingan tiap pengujian dan putaran mesin yang berbeda. Konsumsi LPG dikonversikan ke dalam satuan liter/jam.



Gambar 1. Diagram Konsumsi Bahan Bakar Uji Laboratorium

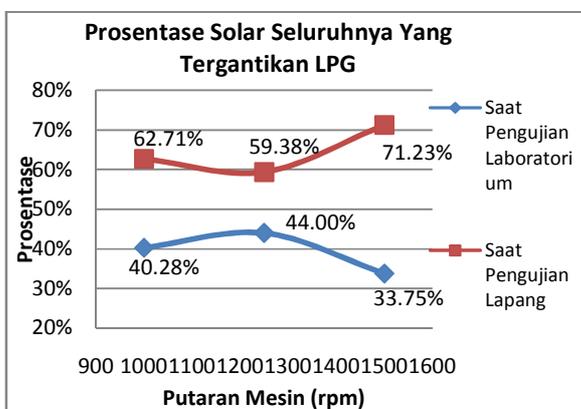
Saat dilakukukan pengujian laboratorium apabila dibandingkan dengan solar seluruhnya LPG mampu menggantikan konsumsi solar saat putaran 1000 rpm, 1250 rpm, dan 1500 rpm berturut-turut sebanyak 40,28%, 44,00%, dan 33,75%. Jika dirata-rata sejumlah LPG mampu menggantikan konsumsi solar seluruhnya sebanyak 39,35 %.



Gambar 2. Diagram konsumsi bahan bakar uji lapang

Saat pengujian lapang apabila dibandingkan dengan solar seluruhnya, didapatkan rata-rata sejumlah LPG mampu menggantikan konsumsi solar seluruhnya sebanyak 64,44 %. Dengan rincian LPG mampu menggantikan solar saat putaran 1000 rpm, 1250 rpm, dan 1500 rpm berturut-turut sebanyak 62,71%, 59,38%, dan 71,23%.

Rincian prosentase LPG dapat menggantikan solar saat uji laboratorium dan uji lapang disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 3. Diagram prosentase solar seluruhnya yang tergantikan LPG

Berdasarkan data pengujian laboratorium dan uji lapang, dapat dihitung prosentase komposisi bahan bakar saat menggunakan *dual fuel* (LPG dan solar) dalam waktu satu jam.

Tabel 6. Prosentase komposisi *dual fuel*

No	Uji	Putaran	BBM (%)	LPG (%)
1	Lab	1000	37,78%	62,22%
		1250	28,17%	71,83%
		1500	27,00%	73,48%
2	Lapang	1000	25,29%	74,71%
		1250	31,45%	68,55%
		1500	29,17%	70,83%

5.2 Perhitungan Ekonomis Penggunaan Bahan Bakar Bagi Nelayan

Perhitungan diasumsikan :

- Jarak yang ditempuh satu kali operasi penangkapan ikan diasumsikan dengan jarak yang sama kurang lebih 42 mil. Dengan rincian :
 - Berangkat menuju tempat penangkapan ikan (*fishing ground*) sejauh 12 mil.
 - Berputar mencari dan menangkap ikan sejauh 18 mil.
 - Perjalanan pulang menuju pelelangan ikan sejauh 12 mil.
- Penggunaan putaran mesin bervariasi tergantung kegiatan saat operasi. Dengan rincian :
 - Menuju *fishing ground* menggunakan putaran 1500 rpm.
 - Berputar mencari ikan menggunakan putaran 1000 rpm
 - Perjalanan pulang menuju pelelangan ikan menggunakan putaran 1500 rpm.
- Nilai kecepatan dan konsumsi bahan bakar mengacu pada kecepatan dan konsumsi rata-rata pada hasil uji lapang.
- Harga Solar bersubsidi berdasarkan harga resmi Pertamina sebesar Rp. 4.500,00 per liter
- Harga LPG bersubsidi untuk ukuran 3kg berdasarkan harga resmi Pertamina sebesar Rp. 4.250,00 per kilogram atau Rp. 2.300,00 per liter.

Tabel 7. Jumlah Bahan Bakar Setiap Operasi Penangkapan Ikan

Operasi	Jarak Tempuh (mil)	Solar Seluruhnya	Dual Fuel	
		Konsumsi Solar (liter)	Konsumsi Solar (liter)	Konsumsi LPG (liter)
Berangkat	12	3,33	1,01	2,44
Penangkapan	18	3,16	1,15	3,41
Pulang	12	3,33	1,01	2,44
Total	42	9,82	3,17	8,29

Satu kali melaut menggunakan seluruhnya, nelayan menghabiskan solar 9,82 liter, sedangkan saat menggunakan *dual fuel* nelayan

menghabiskan solar 3,17 liter ditambah LPG sebanyak 8,29 liter atau setara 4,48 kg LPG.

Tabel 8. Jumlah Biaya Bahan Bakar Setiap Operasi Penangkapan Ikan

Operasi	Jarak Tempuh (mil)	Biaya Solar 100%	Biaya Dual Fuel
Berangkat	12	Rp.14.985	Rp.10.148
Penangkapan	18	Rp.14.220	Rp.13.038
Pulang	12	Rp.14.985	Rp.10.148
Total	42	Rp.44.190	Rp.33.334

Selisih biaya bahan bakar saat menggunakan *dual fuel* dibandingkan solar seluruhnya yaitu Rp. 10.856,00. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *dual fuel* dapat menghemat biaya operasi bahan bakar sebesar 24,6 % dari biaya penggunaan solar seluruhnya.

Tabel 9. Perbandingan Waktu Tempuh Setiap Operasi Penangkapan Ikan

Operasi	Jarak Tempuh (mil)	Waktu Tempuh Solar 100% (jam)	Waktu Tempuh Dual Fuel (jam)
Berangkat	12	2,28	2,4
Penangkapan	18	5,36	5,25
Pulang	12	2,28	2,4
Total		9,92	10,05

Waktu tempuh yang dihasilkan saat menggunakan solar seluruhnya yaitu selama 9,92 jam atau 9 jam 55 menit 12 detik. Waktu tempuh yang dihasilkan saat menggunakan *dual fuel* selama 10,05 jam atau 10 jam 3 menit. Selisih waktu saat menggunakan solar seluruhnya dibandingkan *dual fuel* yaitu 0,13 jam atau 7 menit 48 detik. Dapat disimpulkan bahwa waktu tempuh saat menggunakan solar seluruhnya lebih cepat 7 menit 48 detik atau 1,3 % dibandingkan waktu tempuh saat menggunakan *dual fuel*.

5.3 Perhitungan BEP (Break Even Point) Penggunaan Dual Fuel System

Penerapan *dual fuel* pada dasarnya adalah hanya menambahkan komponen konversi gas ke

saluran udara mesin diesel yang ada. Jadi perhitungan nilai investasi awal hanya pada peralatan konversinya.

- a) Biaya investasi awal penggunaan *dual fuel* :
1. *Low Pressure Regulator*
= Rp. 1.181.000,00
 2. *Gas Air Mixer* (Modifikasi)
= Rp. 300.000,00
 3. Tabung LPG 3 kg 2 buah
= Rp. 284.500,00
 4. *High Pressure Regulator*
 5. = Rp. 65.000,00
 6. Selang tekanan tinggi 1 m
= Rp. 50.000,00
 7. *Control Valve*
= Rp. 30.000,00
 8. Selang tekanan rendah 1,8 m
= Rp. 27.000,00
- Total Biaya Investasi Awal
=Rp. 1.937.500,00

- b) Keuntungan pasif saat menggunakan *dual fuel* dibandingkan solar seluruhnya setiap operasi penangkapan ikan di laut sebesar Rp. 10.856,00.
- c) Biaya setiap operasi penangkapan ikan saat menggunakan solar seluruhnya sebesar Rp. 44.190,00
- d) Biaya setiap operasi penangkapan ikan saat menggunakan *dual fuel* sebesar Rp. 33.334,00

Maka nilai BEP yaitu :

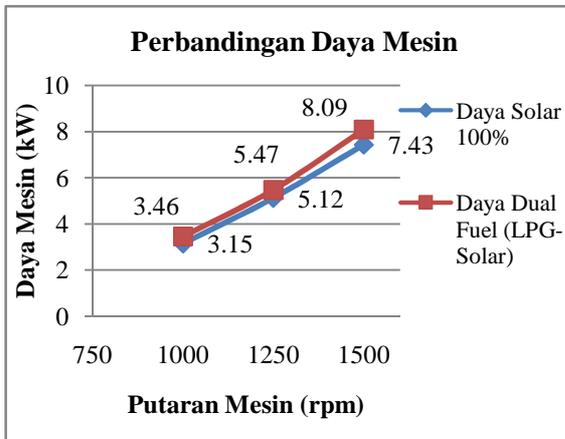
$$BEP = \frac{Rp. 1.937.500}{Rp. 44.190 - Rp. 33.334}$$

$$BEP = 178,47 \approx 179$$

Nilai BEP yang didapatkan yaitu 179. Nilai ini berarti penggunaan *dual fuel* apabila dibandingkan solar seluruhnya akan mencapai nilai impas saat operasi penangkapan ikan sebanyak 179 kali.

5.4 Daya Mesin

Berdasarkan Uji Laboratorium didapatkan nilai daya mesin. Selanjutnya dibuat grafik perbandingan antara penggunaan solar seluruhnya dan penggunaan *dual fuel*.



Gambar 4. Perbandingan Daya Mesin

Perbedaan daya yang dihasilkan *dual fuel* saat putaran mesin 1000 rpm sebesar 0,31 kW, saat putaran mesin 1250 rpm sebesar 0,35 kW, dan saat putaran 1500 rpm sebesar 0,66 kW. Rata-rata perbedaan daya saat menggunakan LPG dibanding solar seluruhnya sebesar 0,44 kW. Jika diprosentasikan perbedaan daya yang dihasilkan *dual fuel* saat putaran 1000 rpm, 1250 rpm, dan 1500 rpm berturut-turut sebanyak 9,8%, 6,8%, dan 8,9% lebih tinggi dibandingkan solar seluruhnya.

6. Hambatan dan Karakteristik Kapal

Hambatan kapal didapat dari hasil analisa *hullform* model kapal menggunakan *Hullspeed* versi 13.01. Dari pemodelan didapatkan nilai hambatan kapal saat kecepatan tertinggi yaitu 5,9 knot sebesar 0,67 kN.

Karakteristik kapal ditentukan menggunakan *Delftship*.

Koefisien Blok (C_b)	: 0,48
Koefisien Prismatic (C_p)	: 0,67
Koefisien Prismatic Tegak (C_{p_v})	: 0,69
Koefisien <i>Midship</i> (C_m)	: 0,72
Koefisien <i>Waterline</i> (C_w)	: 0,70
Panjang garis air (L_{wl})	: 6,98 m

7. Pengukuran dan Analisa Baling-Baling

Data ukuran baling-baling dari hasil pengukuran yaitu :

Diameter (D)	: 28 cm
Jumlah daun (Z)	: 3 buah
Diameter Boss	: 1,8 cm
P/D	: 0,7

7.1 Penentuan nilai *Blade Area Ratio* (A_e/A_o)

Penentuan Nilai A_e/A_o digunakan Tabel *Dimension of Wagenigen B and BB Series Propeller* [John Carlton,2007]

Berdasarkan hasil pengukuran, didapatkan nilai C_r pada lebar daun terbesar adalah 100 mm, diameter baling-baling 0,28m. Setelah disubstitusikan ke dalam persamaan $\frac{c}{D} \times \frac{Z}{A_e/A_o}$, didapatkan nilai A_e/A_o pada 0,6 R yaitu 0,5. Baling-baling yang digunakan bertipe B.3.50.

7.2 Menentukan *Wake Fraction* Kapal

Penentuan nilai *wake fraction* kapal dengan baling-baling tunggal menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$w = 0.7 \times C_p$$

$$w = 0,47$$

7.3 Menentukan Gaya Dorong (*Thrust*) Kapal

Untuk kapal berbaling-baling tunggal nilai deduksi gaya dorongnya adalah :

$$t = (0,5 \times C_p) - 0,12$$

$$= 0,22$$

Kehilangan gaya dorong ($T - R_T$) dinyatakan dalam fraksi gaya dorong (T) dan di sebut fraksi deduksi gaya dorong (t).

Gaya dorong kapal tersebut yaitu :

$$T = \frac{R}{(1 - t)}$$

$$= 0,86 \text{ kN}$$

7.4 Nilai Karakteristik Baling-Baling

Untuk mengetahui dan menganalisa kinerja baling-baling kapal, digunakan perangkat lunak *Propeller Optimization Program* (POP).

Input software untuk dianalisa :

Tipe baling-baling	: <i>Fixed Pitch Propeller</i>
Jumlah daun	: 3 buah
A_e/A_o	: 0,5
P/D	: 0,7
Diameter	: 0,28 m
<i>Required thrust</i>	: 0,86 kN

Kecepatan Dinas : 5,9 knot
 Wake fraction : 0,47
 Jarak poros dari dari WL : 0,40 m
 Massa jenis air laut (ρ) : 1,025 kg/m³

Hasil dari analisa yaitu :

Thrust Coefficient (K_T) : 0,212
 Torque Coefficient (K_Q) : 0,024
 Advance Coefficient (J) : 0,227
 Propeller Efficiency (η_B) : 0,32
 Propeller Revolution (rpm) : 1521,88 rpm

8 Perhitungan Daya

Perhitungan daya pada sistem penggerak kapal meliputi:

a) Perhitungan Torsi Poros Baling-Baling

$$Q_{propeller} = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5$$

$$Q_{propeller} = 0,029 \text{ kN.m}$$

b) Perhitungan Daya Delivery

$$P_D = 2\pi \times Q_D \times n_p$$

$$P_D = 4,74 \text{ kW}$$

c) Perhitungan Daya Dorong

$$P_T = P_D \times \eta_B$$

$$P_T = 1,52 \text{ kW}$$

d) Perhitungan Daya Poros

1) Solar seluruhnya

$$P_S = P_B$$

$$P_S = 7,43 \text{ kW}$$

2) Dual Fuel

$$P_S = P_B$$

$$P_S = 8,09 \text{ kW}$$

e) Perhitungan Daya Efektif (P_E)

1) Solar seluruhnya

$$P_E = R_T \times V_S$$

$$P_E = 3,52 \text{ kW}$$

2) Dual Fuel

$$P_E = R_T \times V_S$$

$$P_E = 3,35 \text{ kW}$$

9 Analisa Efisiensi Sistem Penggerak

Perhitungan efisiensi sistem penggerak kapal meliputi :

a) Efisiensi Poros (η_s)

1) Solar seluruhnya

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_S}$$

$$\eta_s = 0,64$$

2) Dual Fuel

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_S}$$

$$\eta_s = 0,59$$

b) Efisiensi Hull (η_{hull})

1) Solar seluruhnya

$$\eta_{hull} = \frac{P_E}{P_T}$$

$$\eta_{hull} = 2,32$$

2) Dual Fuel

$$\eta_{hull} = \frac{P_E}{P_T}$$

$$\eta_{hull} = 2,21$$

c) Efisiensi Total (η_p)

1) Solar seluruhnya

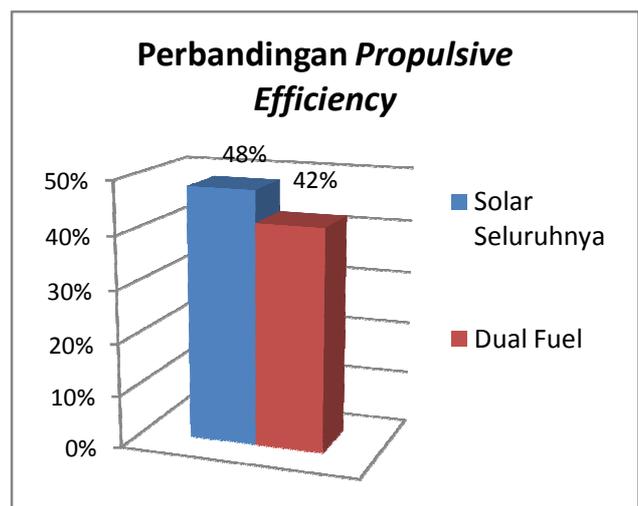
$$\eta_p = \eta_{hull} \times \eta_D \times \eta_S$$

$$\eta_p = 0,48$$

2) Dual Fuel

$$\eta_p = \eta_{hull} \times \eta_D \times \eta_S$$

$$\eta_p = 0,42$$



Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Total Solar 100% dengan Dual Fuel

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Saat uji lapang selama satu jam menggunakan solar seluruhnya didapatkan konsumsi solar mencapai 1,46 liter. Saat menggunakan *dual fuel* system didapatkan konsumsi solar sebanyak 0,42 liter ditambah LPG 1,02 liter. Penggunaan LPG secara *dual fuel* mampu menggantikan konsumsi solar rata-rata 64,44%. Perbandingan komposisi antara solar dengan LPG saat menggunakan *dual fuel system* yaitu 29,17% : 70,83%.
2. Kecepatan rata-rata saat menggunakan solar seluruhnya mencapai 5,26 knot atau 5% lebih tinggi dibandingkan *dual fuel* yang hanya menghasilkan kecepatan 5,00 knot.
3. Daya dan torsi rata-rata yang dapat dihasilkan saat menggunakan *dual fuel* mencapai 9,8 % lebih tinggi dibandingkan ketika menggunakan solar seluruhnya.
4. Biaya operasional satu kali operasi penangkapan ikan menggunakan *dual fuel* saat ini lebih murah Rp. 10.856,00 atau 24,6% dibanding solar seluruhnya, namun membutuhkan waktu tempuh 7 menit 48 detik atau 1,3% lebih lama dari solar seluruhnya.
5. Efisiensi propulsi saat menggunakan solar seluruhnya sebesar 48%, sedangkan efisiensi propulsi saat menggunakan *dual fuel* sebesar 42%. Efisiensi propulsi saat menggunakan solar seluruhnya 6% lebih besar dibandingkan efisiensi propulsi *dual fuel*.

Daftar Pustaka

Adji, Suryo.2005." *Engine Propeller Matching*".
Kumpulan Jurnal Ilmiah FTK ITS,
Surabaya.

Arismunandar, W, & Tsuda K.1993." *Motor Diesel Putaran Tinggi*". Pradaya Paramita.
Jakarta

Carlton,John.2007." *Marine Propellers And Propulsion Second Edition*". Butterworth-Heinemann:Oxford

Hardjono,A.2000." *Teknologi Minyak Bumi*".GadjahMada University Press.Yogyakarta

Operation and Service Instruction Manual.____." *Tanaka's Hydraulic Dynamometer Portable Type*".Tokyo Plant Co., Ltd:Tokyo

Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006, Kebijakan Energi Nasional.

Project Statement, 2012." *Ujicoba Converter Kits Bahan Bakar Gas Untuk Kapal Penangkap Ikan Tahap P*".Kementrian Kelautan dan Perikanan, BBPPI.Semarang.

Rahardjo, Oktavian,dkk.2011." *Bahan Bakar Gas (CNG) Alternatif Pengganti BBM Kapal Perikanan*".Balai Besar Pengembangan Penangkapan Ikan : Semarang

Rahardjo,Oktavian,dkk.2011." *Petunjuk Teknis : Penggunaan Bahan Bakar Gas Pada Motor Penggerak Kapal Perikanan*".Balai Besar Pengembangan Penangkapan Ikan : Semarang.