

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN BAHAN BAKAR BIOSOLAR PADA MESIN DIESEL *DUAL FUEL* BERBAHAN BAKAR BIOSOLAR DAN CNG

Suardi¹, I Made Ariana², Aguk Zuhdi M. F³

1. Program Pasca Sarjana Teknologi Kelautan ITS
2. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS
3. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS
Gedung W Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111
Email: suardifahrudin@yahoo.co.id

Abstrak: Berbagai penelitian tentang pengoptimalisasian bahan bakar mesin diesel telah dilakukan dan salah satunya yaitu system pengkombinasian bahan bakar antara minyak bumi dan gas. Salah satunya adalah proses desain system suplay bahan bakar gas untuk mesin diesel DDF (Dual Fuel) Natural Gas – Biosolar, pada penelitian tersebut jumlah bahan bakar solar yang di suplay tetap 100% kemudian ditambahkan suplay natural gas sebanyak 20%. Berdasarkan hasil pengujian, CNG mampu mensubstitusi kebutuhan Biosolar sampai 75%. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian diatas dimana untuk tahapan awal dari penelitian secara keseluruhan tentang kajian eksperimental penggunaan bahan bakar dual fuel pada mesin diesel. Tahapan ini akan ditekankan pada desain rancang bangun system bahan bakar Biosolar dengan kapasitas suplay bahan bakar Biosolar yang diharapkan adalah 80% ditambah 20% lainnya dari CNG. Proses penginstalan mesin DDF ini sedikit berbeda dengan instalasi mesin pada umumnya karna untuk proses pengontrolan mesin sendiri akan digunakan sebuah alat pengontrol otomasi yang diharapkan dapat mengatur timing injection gasnya sedangkan pada instalasi Biosolarnya dilakukan modifikasi injector sehingga konsumsi Biosolarnya dapat dikurangi hingga mencapai tingkat komposisi bahan bakar yang ideal. Hasil daripada penelitian ini akan menghasilkan tingkatan pencampuran bahan bakar yang paling optimal jika diukur dari tingkat performa mesin yang dihasilkan dengan daya, SFC dan efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan Biosolar murni.

Kata kunci: Natural Gas-Biosolar, Diesel Dual Fuel, performa mesin

Abstrak: Various studies on optimizing fuel for diesel engines has been done and one of them is the combination of the fuel system between oil and gas. One is the design process fuel gas supply system for diesel engines DDF (Dual Fuel) Natural Gas - Biodiesel, on the research amount of diesel fuel which is in fixed supply 100% then added supply of natural gas by 20%. Based on test results, CNG is able to substitute up to 75% Biodiesel needs. This research is the development of research on where to early stages of the overall research on experimental studies fuel use dual fuel in diesel engines. This stage will focus on the design engineering Biodiesel fuel system with fuel supply capacity expected Biodiesel is 80% plus 20% more CNG. The installation process machine DDF is slightly different from the installation of the machine in general because of the process of controlling the machine itself will use a control device automation is expected to set the timing and injection of gas while on the installation Biosolarnya modification of the injector so that consumption Biosolarnya can be reduced until it reaches the level of the composition of the fuel ideal. The results of this study will menghasilkan than levels pencampuran most optimal fuel when measured from the level of engine performance resulting in power, SFC and better thermal efficiency than the use of pure Biodiesel.

Keywords: Natural Gas-Biodiesel, Diesel Dual Fuel, engine performance

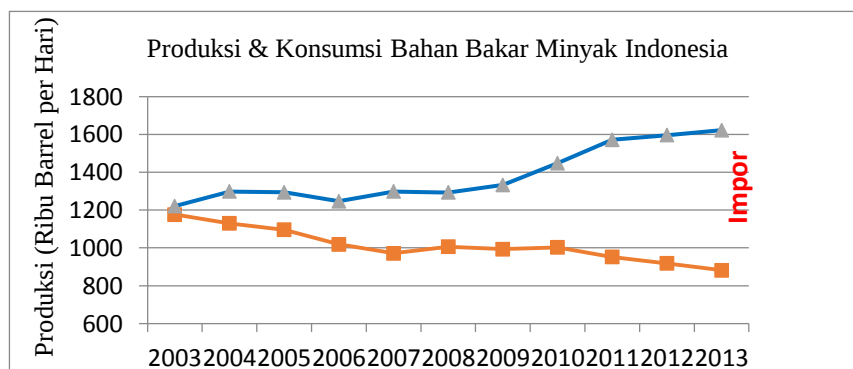
PENDAHULUAN

Perkembangan jaman yang semakin modern membuat ketergantungan manusia akan penggunaan mesin diesel semakin meningkat pula, mulai dari moda transportasi, industri, sistem pembangkit tenaga listrik dan sebagainya, hampir sebagian besar mengandalkan mesin diesel sebagai sumber tenaganya, disisi lain, semakin meningkatnya penggunaan mesin diesel juga akan meningkatkan jumlah konsumsi minyak bumi khususnya solar sebagai bahan bakarnya, sementara itu, untuk cadangan minyak bumi Indonesia saja semakin hari semakin menipis, hal ini didasarkan pada tingkat kemampuan produksi yang berasal dari cadangan minyak yang ada hanya mencapai 800-900 ribu barel per hari.

Padahal, kebutuhan dalam negeri dari tahun ketahun terus meningkat mencapai 1,6 juta barel per hari, hal ini mengindikasikan bahwa rasio perbandingan antara produksi dan konsumsi minyak telah mencapai 650000 barrel per hari dan itu ditutupi dengan pengadaan impor (BP Statistical Review 2014). Selain itu, berdasarkan data Pertamina, sepanjang Januari - Juni 2012, penyaluran BBM bersubsidi jenis premium, solar, dan minyak tanah sudah menembus angka 21,7 juta kiloliter atau 109,4 persen dari kuota yang ditetapkan. Perinciannya, premium (13,6 juta kiloliter atau 112 persen dari kuota)

dan solar (7,5 juta kiloliter atau 110 persen dari kuota). Hanya minyak tanah yang konsumsinya di bawah kuota, yakni 70 persen, karena adanya program konversi minyak tanah ke elpiji..

Disisi lain, harga patokan BBM dari tahun ketahun selalu mengalami kenaikan harga, hal ini berdampak langsung kepada masyarakat khususnya golongan menengah kebawah dimana dengan naiknya harga BBM mendorong naiknya harga bahan pokok lainnya, upaya pemerintah untuk menekan harga BBM agar tidak terlalu memberatkan masyarakat dilakukan dengan cara menggelontorkan dana ratusan triliun, berdasarkan data dari BPPT 2014 menyatakan bahwa pada tahun 2011 saja subsidi energi telah mencapai 195,3 triliun Rupiah dan meningkat secara signifikan menjadi 268 triliun Rupiah pada tahun 2013 guna mensubsidi BBM dengan maksud untuk mengendalikan harga jual BBM di dalam negeri, sebagai salah satu kebutuhan dasar masyarakat, sedemikian rupa, sehingga dapat terjangkau oleh daya beli masyarakat. Hal ini dikarenakan harga jual BBM dalam negeri sangat dipengaruhi oleh perkembangan berbagai faktor eksternal, terutama harga minyak mentah di pasar dunia, dan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat, rasio perbandingan antara produksi dan konsumsi BBM di Indonesia dari tahun 2003 sampai 2013 semakin membengkak.



Gambar. 1. Grafik Perbandingan Produksi dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia (BP Statistical Review 2014)

Sebuah metode baru mulai dikembangkan yaitu dengan menggunakan *system dual fuel* bahan bakar campuran antara diesel oil dengan Natural Gas yang biasa disebut dengan diesel bahan bakar ganda atau *Diesel Dual Fuel* (DDF). Natural Gas merupakan salah satu BBG yang berpotensi untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan BBM sebagai bahan bakar Kedepannya. Sistem diesel bahan bakar ganda atau *Diesel Dual Fuel* (DDF) dengan menggunakan tambahan bahan bakar gas, yaitu *Natural Gas* dan selanjutnya akan divariasikan jumlah konsumsi bahan bakarnya hingga didapatkan performance mesin yang lebih baik. Disamping itu akan dilakukan perbandingan performa mesin dengan variasi campuran bahan bahan bakar yang akan diujikan sehingga dapat dilihat tingkat posisi pencampuran bahan bakar yang lebih efektif dan lebih efisien yang dapat diterapkan pada mesin diesel ini. Sementara untuk sistem pengaturan bahan bakar akan menggunakan sistem sensor elektrik dengan bantuan alat otomasi sebagai pengatur system penginjeksian bahan bakar gas dan *Diesel Oilnya*.

Berdasarkan latar belakang yang ada maka tujuan dan manfaat penelitian akan menitik beratkan pada analisa penggunaan bahan bakar campuran antara *Natural Gas* dan *diesel oil* pada mesin diesel yanmar TF 85 MH dimana tingkat penggunaan bahan bakar yang lebih efektif diharapkan dapat terealisasi sehingga kedepannya diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif guna mengurangi tingkat ketergantungan terhadap pemakaian *Diesel Oil*. Selain itu akan dilakukan suatu modifikasi rancang bangun sistem penginjeksian bahan bakar solarnya dan untuk system penginjeksian gasnya akan dikontrol oleh alat kontrol otomasi yaitu PLC. Selain itu, akan dibandingkan hasil perfoma mesin diesel yang terbaik yang dihasilkan oleh mesin diesel berdasarkan perbandingan komposisi bahan ba-

kar yang ada. Sedangkan manfaat yang diharapkan adalah untuk menemukan bahan bakar alternatif selain *Diesel Oil* serta.

METODE

Ada banyak bahan bakar yang dapat digunakan untuk bahan bakar alternative pada mesin diesel mulai dari bahan bakar nabati, hewani hingga kombinasi keduanya atau campuran antara bahan bakar fosil dengan dengan bahan bakar lainnya. Hal ini ini tidak terlepas karna factor menipisnya cadangan minyak bumi kita yang mengharuskan kita terus melakukan pengkajian dan eksperimen guna mencari dan menemukan suatu bahan bakar baru, bahan bakar alternative yang bias dimanfaatkan massal dimasa yang akan datang.

Salah satu bentuk nyata dari pengkajian bahan bakar alternative yang akhir-akhir ini digalakkan adalah diesel dual fuel engine, metode ini menjadikan mesin diesel dapat digerakkan dengan menggunakan bahan bakar yang selama ini tidak hanya menggunakan solar saja tapi gabungan antara saolar dan bahan bakar gas mengingat untuk bahan bakar gas sendiri masih belum banyak dioptimalkan dan cadangannya pun tergolong masih banyak khususnya di Indonesia.

Pada modifikasi motor diesel normal menjadi dual fuel, udara murni yang dihisap akan dicampurkan dengan gas, sehingga hanya sedikit volume solar yang dibutuhkan supaya terjadi ledakan. Motor diesel bahan bakar campuran gas kebanyakan menggunakan intake valve untuk memasukan gas bersamaan dengan udara murni. Pengoperasian dengan mode dual fuel ini dapat mengurangi emisi-emisi oksida nitrogen (NOx) mendekati 85%. Selain itu, pada saat beroperasi dengan gas alam dan bahan bakar berkadarnya rendah, motor-motor diesel

berbahan bakar ganda menghasilkan level-level kandungan SOx dan arang-paranyaris nol. (ABS, 2012)

Jika terjadi gangguan pasokan gas, motor diesel dual fuel akan mengganti pengoperasiannya dari gas menjadi pengoperasian bahan bakar minyak (Biosolar) pada beban berapapun secara otomatis. Selama pengoperasian bahan bakar mi-

nyak, motor dual fuel menggunakan proses diesel konvensional. Karena pada dasarnya sistem dual fuel ini adalah motor diesel biasa, maka apabila terjadi gangguan, sistem akan secara otomatis pindah ke diesel konvensional walau motor sedang beroperasi. Adapun spesifikasi dari mesin diesel yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Diesel Yanmar TF85 MH

Engine (four stroke cycle)	TF85 MH
Number of cylinders	1
Combustion system	Direct Injection
Bore	85 mm
Stroke	87 mm
Displacement	493 cc
Compression Ratio	18
Max. Engine speed at full load	2200 RPM
Continous Power Output	7.5 kW
Specific Fuel Consumption	171 gr/HP.h
Volume per Injection	0.07 mL

Performa Mesin Diesel

Performa mesin adalah kemampuan mesin dalam melakukan putaran untuk menghasilkan tenaga atau power. Untuk mengetahui tingkat prestasi sebuah mesin, maka dapat dilihat dari beberapa parameter, diantaranya Daya efektif (N_e), Torsi (T), Konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) dan Efisiensi Thermal.

Torsi dan Daya

Torsi secara sederhana diartikan sebagai momen puntir. Pada motor diesel, torsi didefinisikan sebagai momen yang dihasilkan akibat tekanan dari piston yang menghasilkan putaran pada sumbu longitudinal dalam hal ini adalah poros engkol. Sedangkandaya diidentikkan dengan kemampuan suatu mesin untuk melakukan kerja (Pounder's, 2004). Daya menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk memindahkan atau menahan beban tiap satuan waktu.

Torsi dan daya sangat erat kaitannya satu sama lain. Masing-masing merupakan output dan fungsi dari putaran mesin. Untuk menghitung torsi dan daya dapat menggunakan rumus berikut:

$$P_B = \frac{2\pi n}{60} T$$

Dimana :

P_B = Daya keluaran (watt)

N = putaran mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Specific Fuel Oil Consumption atau pemakaian bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang digunakan untuk setiap satuan daya yang dihasilkan dalam waktu 1 jam, dinyatakan dalam kg/kW h. Faktor-faktor yang mempengaruhi SFOC yaitu: (a) Pembebanan pada motor diesel, (b) Putaran motor diesel, (c) Kecepatan laju aliran bahan bakar, (d) Daya efektif

motor diesel. Untuk menghitung SFOC digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{SFOC} = \frac{m_f \times 10^3}{P_B}$$

Dimana :

SFOC = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kWh)

m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

P_B = Daya keluaran (watt)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_f = \frac{sg_f \times V_f}{t_f} \times 360$$

Dimana :

sg_f = Spesifik gravity (kg/liter)

V_f = volume bahan bakar yang diuji (liter)

t_f = waktu untuk konsumsi bahan bakar sebanyak sejumlah V_f (detik)

Efisiensi Thermal

Efisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu atau bisa juga disederhanakan sebagai efisiensi pemanfaatan panas bahan bakar menjadi tenaga mekanik. Kerja efektif yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang dihasilkan oleh piston, karena sejumlah energi hilang akibat adanya rugi-rugi mekanis. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi termal adalah sebagai berikut:

$$n_b = \frac{\text{Daya keluaran aktual}}{\text{Laju panas yang masuk}}$$

Sedangkan laju panas yang masuk (Q), dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = m_f \cdot \text{LHV}$$

Dimana LHV: nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg). Jika daya keluaran (P_B) dalam satuan kW, laju aliran bahan bakar m_f dalam satuan kg/jam, maka :

$$n_b = \frac{P_B}{m_f \cdot \text{LHV}} \times 3600$$

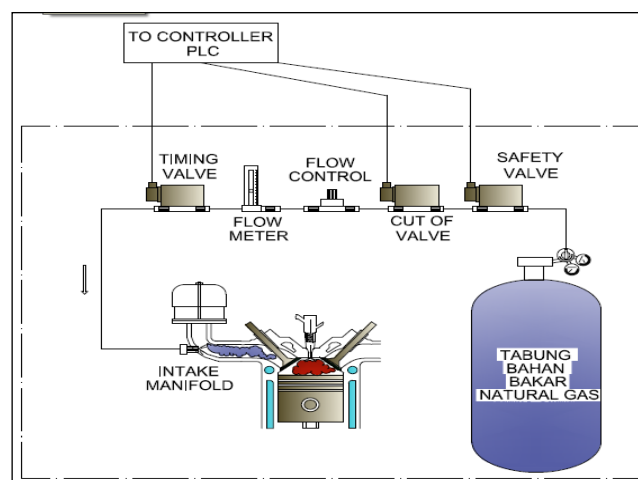
Proses Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimental dimana penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang mana akan difokuskan pada penghitungan besaran daya yang dihasilkan oleh mesin diesel yanmar TF 85 MH berdasarkan variasi konsumsi bahan bakar campuran yang di injeksikan. Proses pengontrolan katup injeksi bahan bakar Natural Gas akan dikontrol oleh Suatu alat kontrol otomasi yaitu PLC (*Programmable Logic Control*), sementara untuk system penginjeksian Biosolarnya akan dilakukan modifikasi berupa penambahan sim atau lembaran untuk menjanggal *spring* yang ada didalam *nozzle* sehingga akan menghasilkan variasi tekanan kerja dan kuantitas penginjeksian bahan bakar yang dihasilkan.

Pada tahap awal pengerjaan penelitian ini dimulai dengan membuat desain perancangan komponen-komponen yang diperlukan untuk membuat sistem ini. Sistem penginjeksian gas ini terdiri dari tabung gas CNG, *regulator high pressure*, katup *pneumatic (solenoid)*, *flow control*, *flowmeter*, gas tubing dan fitting. Komponen-komponen instalasi penginjeksian gasnya berfungsi untuk menginjeksikan bahan bakar gas dari tabung CNG yang bertekanan tinggi sampai ke *intake manifold* atau lubang udara masuk pada mesin dengan tekanan yang jauh lebih rendah. Mesin diesel sebagai objek utama penelitian juga harus *stanby* untuk diope-rasikan sebagai mesin *dual fuel*.

Sementara untuk modifikasi instalasi bahan bakar solarnya cukup dengan menggunakan lempengan plat seng yang telah dimodifikasi sebelumnya untuk digunakan sebagai pengganjal daripada spring nozzle. Hal ini dilakukan agar kuantitas daripada bahan bakar Biosolarnya dapat ditekan dan dikurangi konsumsinya hingga mencapai tingkatan tertentu dan jumlah bahan bakar solar yang dikurangi akan digantikan oleh bahan bakar CNG untuk mencukupinya.

Pada tahap selanjutnya, akan dilakukan uji kerja eksperimen dengan pengujian beberapa variasi pembebanan dan dua variasi kecepatan yaitu 1800 Rpm dan 2200 Rpm. Pengujian ini akan membandingkan besarnya daya mesin yang dihasilkan, nilai torsi, konsumsi bahan bakar solar dan efisiensi *thermal* dari mesin baik sebelum dan sesudah diterapkannya aplikasi dual fuel ini di motor diesel.



Gambar 2. Desain Rancangan Sistem Penginjeksian Bahan Bakar CNG (Wijaya, 2014)



Gambar 3. Desain Rancangan Sistem Penginjeksian Bahan Bakar Solar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi Kuantitas Tekanan Kerja Injektor Solar

Injektor yang digunakan adalah injektor standar yang ada pada mesin diesel yanmar TF 85MH. proses modifikasi akan dilakukan dengan cara memasang sim

pada injektor yang digunakan, ketebalan tiap sim yang digunakan adalah 1 mm dan akan dipasan didalam *nozzle* sehingga kita mendapatkan tekanan yang berbeda dari tekanan spring standar serta jumlah kuantitas bahan bakar yang berbeda. Proses pengambilan sampelnya dilakukan dengan

cara memutar engkol mesin dan injektor tidak dalam kondisi terpasang pada *silinder head* serta mesin tidak dalam keadaan hidup, Biosolar yang disemprotkan sebanyak 40 kali kemudian ditampung dan diukur menggunakan gelas ukur.

Tabel 2. Perbandingan Kuantitas Semprotan Bahan Bakar Biosolar Hasil Modifikasi Injektor

Modifikasi Biosolar	mL	N Injeksi
Nozzle Standar	2,6	40 Kali
Nozzle + 1 Sim	2,3	40 Kali
Nozzle + 2 Sim	2	40 Kali
Nozzle + 3 Sim	1,8	40 Kali
Nozzle + 4 Sim	1,7	40 Kali

Hasil pemodifikasian diatas hampir sama dengan nilai kuantitas penginjeksian biosolar pada injektor dari mesin diesel yang digunakan yaitu pada kondisi 100% biosolar setiap injeksinya mengeluarkan

sebanyak 0,07 mL Biosolar, sedangkan nilai Biosolar yang dapat dikurangi kuantitas semprotannya dalam presentase 10 % sampai dengan 90% (seperti terlihat pada Tabel 3).

Tabel 3. Prosentase Perbandingan Kuantitas Penginjeksian Bahan Bakar Biosolar dari 90% sampai 10%.

% Solar	Vol % Biosolar	N Injeksi
10%	0,007	1 Kali
20%	0,014	1 Kali
30%	0,021	1 Kali
40%	0,028	1 Kali
50%	0,035	1 Kali
60%	0,042	1 Kali
70%	0,049	1 Kali
80%	0,056	1 Kali
90%	0,063	1 Kali

Untuk massa bahan bakar Natural Gas yang diinjeksikan untuk menggantikan kuantitas solar yang diinjeksikan sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan oleh Wijaya, P. D. (2014) menyatakan bahwa 1 kali penginjeksian

bahan bakar Biosolar sebesar 0.07 mL setara dengan memasukkan 57 mL CNG kedalam ruang bakar. Tabel berikut ini adalah besar nilai CNG secara teoritis yang dapat menggantikan Biosolar dalam prosentase 10 % sampai dengan 90 %.

Tabel 4. Prosentase Perbandingan Kuanitas Semprotan Bahan Bakar CNG dari 90% sampai 10%.

% CNG	Vol % CNG	N Injeksi
10%	5,70	1 Kali
20%	11,4	1 Kali
30%	17,1	1 Kali
40%	22,8	1 Kali
50%	28,5	1 Kali
60%	34,2	1 Kali
70%	39,9	1 Kali
80%	45,6	1 Kali
90%	51,3	1 Kali

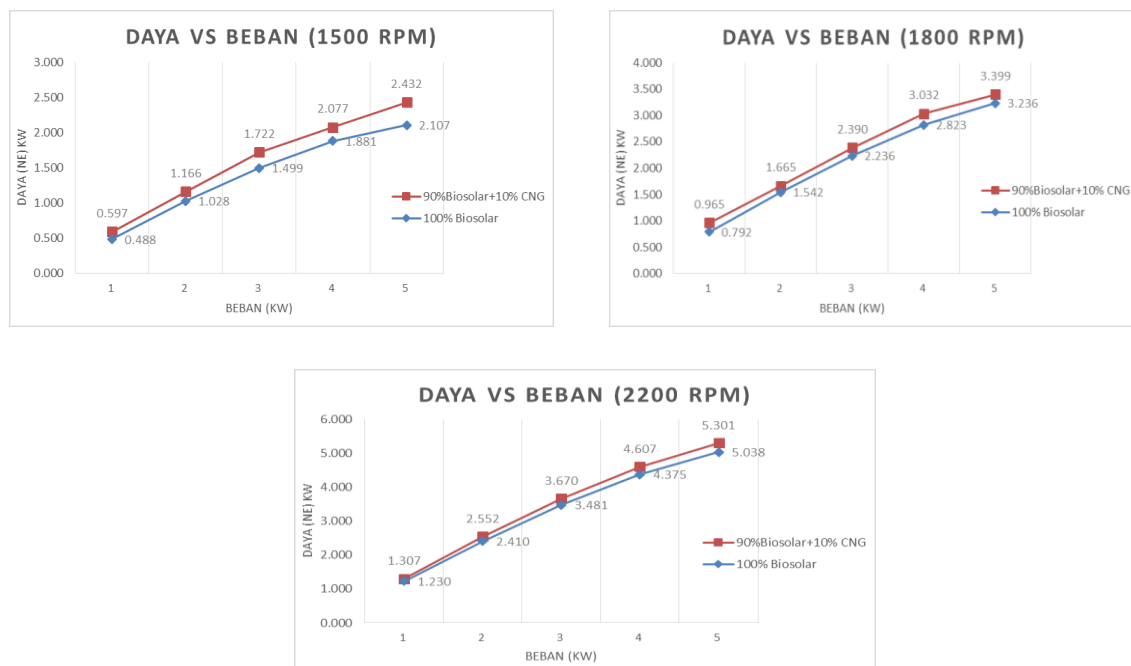
Analisis Performa Mesin

Pengujian performa mesin pada motor diesel ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor diesel dengan melihat daya, SFC (*specific fuel oil consumption*), dan efisiensi termal melalui eksperimen. Bahan bakar Biosolar digunakan sebagai acuan untuk pembandingan dalam mengukur unjuk kerja mesin diesel. Untuk memudahkan analisis performa mesin maka data yang telah diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik Daya, Torsi dan SFC terhadap Pembebanan yang

diberikan di putaran mesin 1500, 1800 dan 2200 Rpm.

Daya (Ne) vs Beban

Dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa daya efektif yang paling besar adalah pada sampel campuran 90% Biosolar+10% CNG di putaran 1500 Rpm yakni mencapai 2,432 kW pada pembebanan maksimum yaitu 5 kW sementara sampel bahan bakar 100% Biodiesel yaitu 2,107 kW di pembebanan yang sama.

**Gambar 2.** Grafik Daya (Ne) vs Beban pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm

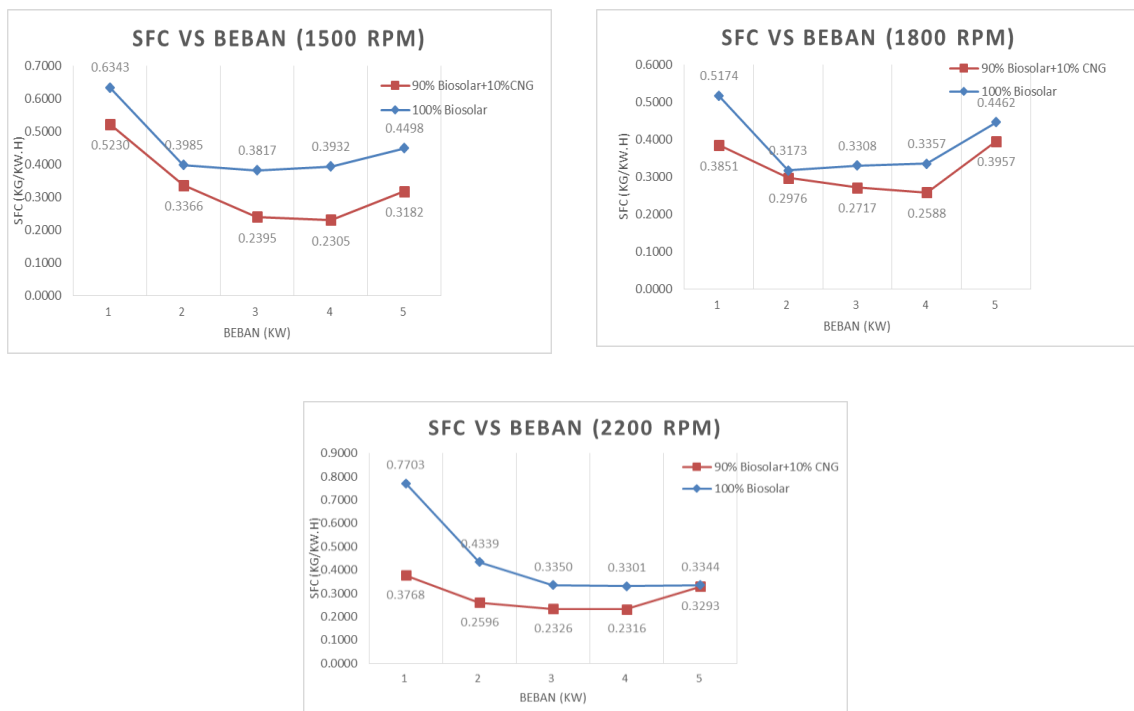
Pada penelitian di putaran 1800 Rpm menunjukkan bahwa daya efektif yang paling besar adalah pada sampel campuran 90% Biosolar+10% CNG mencapai 3,399 kW pada pembebanan maksimum yaitu 5 kW sementara sampel bahan bakar 100% Biodiesel terpaut sedikit jika dibandingkan dengan bahan bakar dual fuel sebelumnya yaitu 3,236 kW di pembebanan yang sama. Sementara untuk penelitian di putaran maksimum yaitu 2200 Rpm menunjukkan bahwa daya efektif yang paling besar adalah pada sampel campuran 90% Biosolar+10% CNG mencapai 5,301 kW pada pembebanan maksimum yaitu 5 kW sementara daya sampel bahan bakar 100% Biodiesel masih berada dibawah daya yang dihasilkan oleh sample bahan bakar dual fuel

sebelumnya yaitu 5,038 kW di pembebanan yang sama.

Pada grafik diatas mulai dari putaran 1500, 1800 hingga 2200 menunjukkan bahwa kombinasi pencampuran 10% CNG dan 90% Biosolar menghasilkan daya mesin yang lebih baik dari penggunaan bahan bakar Biosolar 100% tanpa penambahan CNG.

SFC vs Beban

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh data bahwa konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG di putaran 1500 Rpm pada beban maksimum 5 kW yaitu 0,3182 kg/kW. H, sedangkan untuk pemakaian bahan bakar 100% Biosolar tanpa CNG yaitu sebesar 0,4498 kg/kW. H.



Gambar 3. Grafik SFC vs Beban pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm

Untuk putaran 1800 Rpm, diperoleh data bahwa konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada beban maksimum 5 kW yaitu 0,3957 kg/kW. h,

sedangkan untuk pemakaian bahan bakar 100% Biosolar tanpa CNG yaitu sebesar 0,4462 kg/kW.h. Untuk putaran 2200 Rpm, diperoleh data bahwa konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada sampel

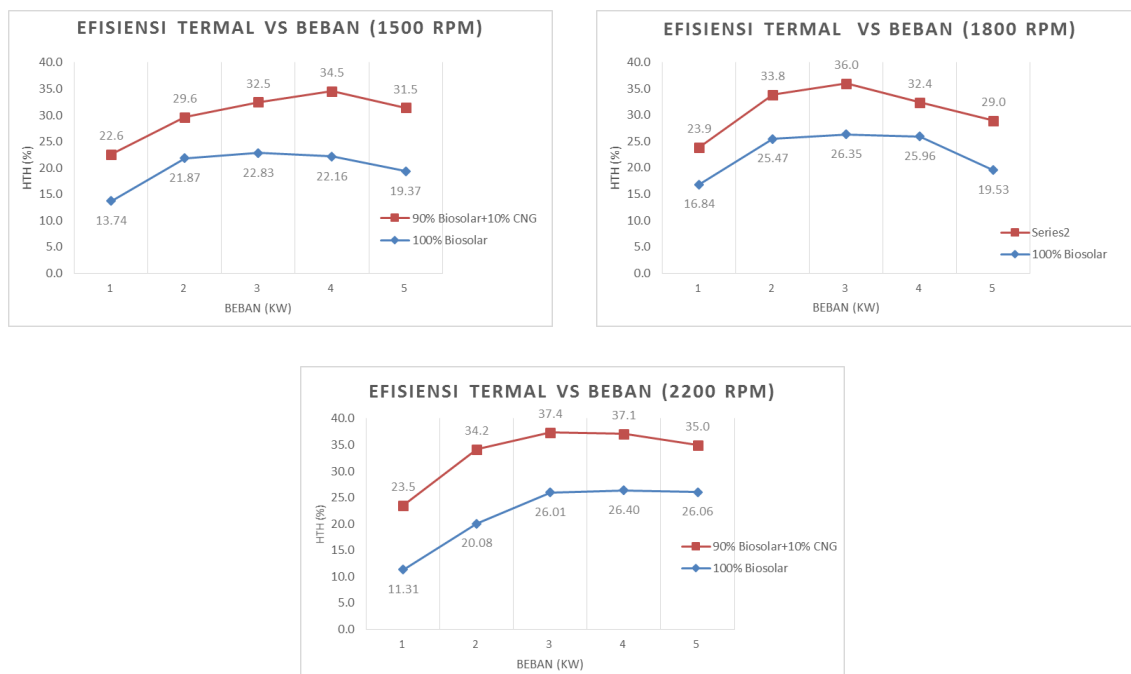
bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada beban maksimum 5 kW yaitu 0,3293 kg/kW.h, sedangkan untuk pemakaian bahan bakar 100% Biosolar tanpa CNG yaitu sebesar 0,3344 kg/kW. h .

Faktor yang mendasari lebih hematnya konsumsi Biosolar yang terpakai karena udara masuk yang melalui intake manifold telah tercampur sebagian bahan bakar gas dan gas tersebut akan terbakar dengan sendirinya sesaat setelah biosolar mulai terbakar di ruang bakar, penambahan CNG juga harus memperhitungkan kuantitas daripada biosolar yang diinjeksikan, semakin banyak CNG yang diin-

jektikan tanpa disertai dengan penurunan kuantitas Biosolar yang diinjeksikan akan membuat mesin mengalami ketukan.

Efisiensi Termal vs Beban

Parameter efisiensi termal dari mesin diesel untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG untuk pembebanan maksimum diputaran 1500 Rpm *engine* yaitu sebesar 39.76 η_{th} % dan mencapai puncaknya justru pada pembebanan 4 kW yaitu sebesar 54.89 η_{th} % sementara untuk bahan bakar Biosolar murni tanpa penambahan CNG untuk beban maksimum yaitu sebesar 19.37.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Termal vs Beban pada putaran 1500, 1800 dan 2200 Rpm

Efisiensi termal dari mesin diesel pada putaran 1500 Rpm untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada pembebanan maksimum yaitu sebesar 31.5 η_{th} % namun puncaknya justru pada pembebanan 4 kW yaitu sebesar 34.5 η_{th} %. Untuk putaran 1800 Rpm untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada pembebanan maksimum yaitu sebesar 29 η_{th} % namun puncaknya justru pada pembebanan 3 kW yaitu sebesar 36

η_{th} % sementara untuk bahan bakar Biosolar murni tanpa penambahan CNG untuk beban maksimum yaitu sebesar 19.53. Sedangkan pada putaran mesin 2200 Rpm untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10% CNG pada pembebanan maksimum juga tetap lebih tinggi jika dibandingkan sampel 100% Biosolar dengan nilai 35 η_{th} % dan 26.06 η_{th} %.

SIMPULAN

Hasil daripada penelitian ini memberikan gambaran bahwa pemodifikasian mesin diesel standar menjadi mesin diesel dual fuel dapat dilakukan, hal ini juga diperkuat dengan menambahkan 10% CNG serta mengurangi konsumsi bahan bakar Biosolarnya dapat memberikan keuntungan baik dari segi kehematan bahan bakar Biosolar yang terpakai juga dapat memberikan performa mesin yang baik. Terlihat pada konsumsi bahan bakar antara menggunakan Biosolar murni dengan Biosolar+CNG sangat jelas perbedaan dari segi waktu konsumsi bahan bakarnya, pada putaran 1500 Rpm kondisi tanpa beban untuk sampel bahan bakar 90% Biosolar+10%CNG membutuhkan waktu 222 sekon untuk menghabiskan 10 mL Biosolar sementara untuk sampel Biosolar murni sendiri membutuhkan waktu 119 sekon untuk menghabiskan 10mL biosolar, sementara untuk tingkat daya yang dihasilkan juga bahan bakar campuran 90% Biosolar+10% CNG dapat memberikan daya mesin yang jauh lebih baik dari pemakaian bahan bakar Biosolar murni yaitu untuk beban maksimum pada putaran 2200 Rpm memberikan daya 5,301 kW lebih baik dari sampel yang Biosolar murni yaitu sebesar 5,038. Efisiensi termal juga masih lebih unggul dengan penggunaan 90% Biosolar+10% CNG dan yang paling menonjol di Rpm 1500 di beban maksimum yaitu sebesar 39.79 η th% dan jika dibandingkan dengan penggunaan Biosolar murni yaitu sebesar 19.37 η th%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya haturkan untuk semua rekan-rekan mahasiswa PPSTK dan Sistem Perkapalan atas partisipasi dan supportnya sehingga penelitian ini bisa ber-

jalan dengan baik dan selesai dengan tepat waktu,terkhusus untuk saudara Rizaldi, Tata, Rudi Untung dan Mas nur yang terus menerus memberikan bantuannya saat penulis mulai melakukan proses pengujian. Semoga Allah SWT Senantiasa merahmati dan melindungi kita semua.

DAFTAR RUJUKAN

- Alp Tekin Ergenc and Deniz Orde Koca. 2014. *PLC Controlled Single Cylinder Diesel-LPG Engine*. *International Journal of applied energy Elsevier*. Vol. 130, Hal. 273-278.
- Ariana. 2012. I.M., Sistem Permesinan Lanjut: *a Lecture Note*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Arismunandar W, Tsuda K. 1993. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradaya Paramita.
- Abd AGH, Solaiman HA, Badr OA, Abd Rabbo MF. 2000. *Effect of Injection Timing on The Performance of A Gas Engine*. Egypt: Zugazig University, Kairo.
- BP *Statistical Review of World Energy*. 2014. 63rd edition. London
- Ehsan MD. 2009. *Dual Fuel Performance of a Small Diesel Engine for Applications with Less Frequent Load Variations*. *Internasional Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS* Vol 09 No 10. Bangladesh.
- Hidayat AW. 2014. *Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Dual Fuel Engine Hasil Modifikasi dari Diesel Engin*. [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ikhsan AR. 2014. *Rancang Bangun Sistem Otomasi Diesel Dual Fuel (DDF) dengan Kontrol Programmable Logic Control (PLC)*. [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

- Setiawan W. 2014. Analisis Teknis Penggunaan *Coal Oil Mixture* Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti *Heavy Fuel Oil* pada Motor Diesel. [Tesis]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November
- Wijaya PD. 2014. Rancang Bangun Sistem Penginjeksian Gas pada Modifikasi Dual *Fuel Diesel Engine*. [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.