

ANALISIS PENURUNAN EMISI CO₂, NO_x, SO_x MESIN BAHAN BAKAR LNG (DF) TERHADAP MESIN BAHAN BAKAR DIESEL (HFO)

YOLANDA J. LEWERISSA

Jurusan Teknik Mesin
Program Study Diploma IV
Politeknik Katolik Saint Paul Sorong
Email : ruselloanz@yahoo.co.id

ABSTRAK

Analisis ini dilakukan adalah untuk mengetahui secara teoritis penurunan emisi CO₂, NO_x dan SO_x pada mesin diesel berbahan bakar LNG (DF) yang dibandingkan dengan mesin diesel berbahan bakar diesel (HFO). Untuk mengetahui penurunan emisi CO₂, dilakukan perhitungan-perhitungan secara teoritis yaitu perhitungan volume fraksi CO₂ mesin bahan bakar LNG (DF) stoikiometrik dan aktual dibandingkan mesin bahan bakar diesel, penurunan NO_x dilakukan dengan membandingkan temperatur maksimum kedua mesin dengan masing-masing bahan bakar dan penurunan SO_x dengan memperhatikan komposisi total masing-masing bahan bakar. Mesin yang digunakan adalah mesin Yanmar model 6AYM-ETE yang dimodifikasi dari mesin berbahan bakar diesel menjadi mesin berbahan bakar LNG (DF). Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa Penurunan emisi CO₂ untuk mesin dengan bahan bakar LNG (DF) bila dibandingkan dengan mesin berbahan bakar diesel (HFO) pada kondisi stoikiometrik sebesar 20,77 %, sedangkan pada kondisi aktual sebesar 23,68 %. Penurunan emisi NO_x untuk mesin dengan bahan bakar LNG (DF) dibandingkan dengan mesin berbahan bakar diesel (HFO) sebesar 77,62 %. Tidak ada emisi SO_x karena dari komposisi total bahan bakar LNG tidak mengandung sulfur.

Kata Kunci : Emisi, mesin diesel, LNG

ABSTRACT

This analysis is conducted to find out theoretically the decrease of CO₂, NO_x and SO_x emissions in LNG diesel engine (DF) compared to diesel engine diesel (HFO) diesel. To calculate the CO₂ emission reduction, theoretical calculations are calculated, is the stoichiometric and actual CO₂ fraction of CO₂ (DF) engine fuel ratio compared to the diesel fuel engine, the reduction of NO_x is done by comparing the maximum temperature of the two engines with each fuel and the decrease SO_x with respect to the total composition of each fuel. The engine used is a 6AYM-ETE Yanmar model engine that is modified from a diesel-fueled engine into an LNG-fueled engine (DF). From the calculation results obtained that CO₂ emission reduction for engines with LNG fuel (DF) when compared with diesel engine (HFO) in stoichiometric condition of 20.77%, while in actual condition of 23.68%. The reduction of NO_x emissions for engines with LNG (DF) fuel compared to diesel fuel (HFO) of 77.62%. No SO_x emissions because of the total composition of LNG fuel does not contain sulfur.

Keywords: Emissions, diesel engines, LNG

PENDAHULUAN

Bahan bakar adalah salah satu dari komponen penggerak pada mesin-mesin yang memakai bahan bakar sebagai sistem pengapiannya. Tanpa bahan bakar mesin tidak akan berfungsi sebagaimana fungsi mesin tersebut seperti pada mesin kendaraan tidak akan bisa bekerja tanpa ada bahan bakar. Bahan bakar terbagi atas bahan bakar minyak dan bahan bakar gas, yang mana bahan bakar minyak lebih banyak digunakan tetapi pada saat ini persediaan minyak bumi semakin berkurang, maka para ahli

mencari solusi untuk mengganti bahan bakar minyak dengan menggunakan bahan bakar gas yang berasal dari gas alam, karena bahan bakar gas alam menghasilkan emisi gas buang yang merusak lingkungan lebih rendah dibandingkan dengan emisi gas buang bahan bakar minyak.

Banyak studi intensif dilakukan untuk mendapatkan bahan bakar alternatif diantaranya alkohol (metanol, etanol, butanol), bahan bakar gas *Compressed Natural Gas* (CNG), *Liquid Petroleum Gas* (LPG), biogas, dan gas hasil proses gasifikasi (gas produser).

Natural gas merupakan bahan bakar yang potensial untuk menggantikan bahan bakar konvensional transportasi dengan tujuan menghasilkan mesin diesel dengan emisi yang rendah dan lebih ramah lingkungan. Jenis dari natural gas yang dimanfaatkan untuk bahan bakar adalah *Liquefied Natural Gas* (LNG). *Liquefied Natural Gas* (LNG) adalah gas alam yang dicairkan dengan didinginkan hingga mencapai suhu $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada tekanan 1 atm. LNG mempunyai komposisi kimia terbanyaknya adalah Metana, lalu sedikit Etana, Propana, Butana dan sedikit sekali Pentana dan Nitrogen, kompresi volume yang cukup besar ini memungkinkan transportasi gas dalam bentuk cair untuk jarak jauh dengan biaya yang lebih efisien dan dapat ditransportasi oleh kendaraan LNG. Sifat LNG tidak beracun (*non toxic*), tidak berbau (*odorless*), tidak menimbulkan karat (*non corrosive*), tidak mudah terbakar/meledak (*non combustible*), tidak menghasilkan banyak polutan berbahaya (hanya sedikit CO_2 , NO_x , dan SO_x) sehingga ramah lingkungan. LNG tidak mudah terbakar, LNG baru akan mudah terbakar jika dalam fase gas atau uap (*vapour*), jika persentase uap LNG kurang dari 5%, maka tidak mudah terbakar (*non flammable*) dan begitu pula jika kurang dari 15% termasuk *non flammable* karena terlalu banyak gas di udara sehingga kurang oksigen untuk membuatnya terbakar.

Peningkatan jumlah bahan bakar gas yang tersedia, turunnya dengan drastis kadar emisi gas-gas beracun dalam gas buang, serta bertambah lamanya jarak waktu dan berkurangnya biaya *overhaul*/perawatan mesin-mesin telah mendorong perkembangan mesin-mesin diesel dengan menggunakan gas. Penggunaan gas alam sebagai bahan bakar akan menghasilkan emisi gas-gas (beracun) yang sangat rendah karena gas alam memiliki kemampuan terbakar dengan sempurna/bersih (*clean burning properties*) serta kandungan bahan-bahan pengotor (*pollutant*) yang rendah.

KAJIAN PUSTAKA

Gas alam dapat didefinisikan sebagai hidrokarbon yang berada dalam fasa gas pada suhu 20°C dan tekanan 1 atm atau kondisi tekanan dan temperatur standar. Menurut definisi tersebut, molekul – molekul hidrokarbon yang dikategorikan sebagai komponen gas alam adalah metana atau CH_4 , etana atau C_2H_6 , propana atau C_3H_8 dan butana atau C_4H_{10} .

Molekul-molekul hidrokarbon lainnya berada dalam fasa cair pada kondisi tekanan dan temperatur standar namun dapat berada dalam fasa gas di reservoir. Definisi yang lebih umum digunakan untuk gas alam turut menyertakan komponen C_5+ atau sering dikenal dengan kondensat yang turut diproduksi bersama gas alam. Tabel 1 memuat komponen utama hidrokarbon beserta konsentrasinya yang umum dalam aliran gas alam (Suparno, 2012).

Tabel 1. Komponen utama hidrokarbon gas

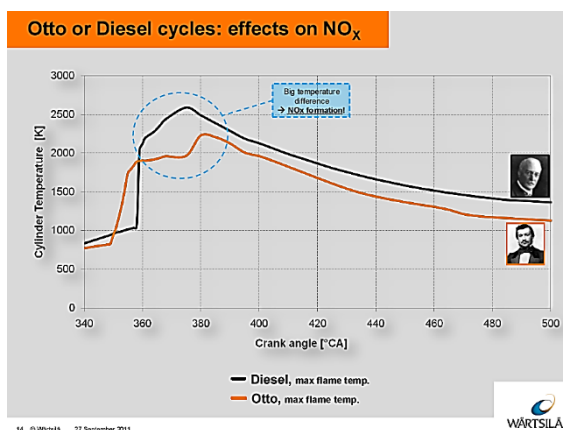
Metana	C_1	65% hingga diatas 95%
Etana	C_2	2% hingga 15%
Propana	C_3	0,25% hingga 5%
Butana	C_4	0 hingga 5%
Pentana	C_5+	0,05% hingga 2%
Komponen non hidrokarbon yang turut terkandung dalam aliran gas alam		
Nitrogen	N_2	0 hingga 20%
Hidrogen Sul fida	H_2S	0 hingga diatas 15%
Karbon Dioksida	CO_2	0 hingga diatas 20%

Mesin diesel merupakan salah satu jenis dari mesin pembakaran dalam. Pada mesin diesel, penyalaan bahan bakar terjadi karena bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara dengan kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga mesin dengan penyalaan kompresi. Mesin dengan penyalaan kompresi ini menghasilkan emisi gas buang yang cukup tinggi dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kadar yang tinggi dari Nitrogen oksid (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2) dan partikel emisi lain yang berhubungan dengan bahan bakar diesel merupakan isu yang telah lama muncul. Akan tetapi, sampai saat ini penggunaan mesin diesel tetap menjadi idola dalam dunia transportasi maupun dunia industri. Hal ini disebabkan karakteristik dari mesin diesel memiliki rasio kompresi tinggi sehingga mampu menghasilkan daya yang besar.

Gas alam merupakan bahan bakar yang sangat baik untuk mesin pembakaran dalam, karena memiliki sifat bahan bakar yang memungkinkan untuk merancang mesin berbahan bakar gas dengan efisiensi tinggi dan emisi gas buang yang rendah. Sifat teknis dari gas alam yang digunakan sebagai bahan bakar kapal adalah (Ferox CHART, 2012) : angka metana tinggi dan mudah bercampur dengan udara untuk mendapatkan campuran yang homogen, yang dapat menyebabkan pembakaran dengan kecepatan yang tinggi pada koefisien

kelebihan udara yang tinggi. Hal ini untuk menghindari terjadi temperatur maksimum yang tinggi dan tekanan maksimum yang tinggi, sehingga mengurangi emisi NO_x sampai 90 % dibanding bahan bakar diesel, artinya bahwa penurunan emisi NO_x tergantung dari temperatur maksimum mesin, Gambar 2.1 memperlihatkan perbedaan temperatur maksimum menimbulkan efek pada NO_x, juga memungkinkan efisiensi yang tinggi.

Tidak mengandung sulfur, karena itu tidak ada emisi SO_x, dan tidak ada *particulate matter* (PM). Gas alam pada proses dicairkan menjadi LNG, unsur sulfur sudah terbuang sehingga dapat dikatakan bahwa LNG tidak mengandung sulfur.



Gambar 1. Perbedaan temperatur maksimum

(Dual Fuel Engine Latest Developments, Oskar Levander-Wartsila)

Penggunaan gas alam untuk mesin-mesin dengan sendirinya akan mengurangi emisi-emisi dari bahan pencemar utama seperti CO₂, NO_x, SO_x dan *particulate matter* (PM) dibandingkan apabila mesin-mesin tersebut menggunakan bahan bakar diesel, mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan dari emisi bahan pencemar udara seperti NO_x dan SO_x dapat menyebabkan hujan asam (*acid rain*) yang merusak tanaman, CO₂ dapat menyebabkan efek rumah kaca (*greenhouse effect*) yang selalu mendapat perhatian untuk dievaluasi oleh IMO dan *particulate matter* (PM) dapat menyebabkan keracunan bagi manusia (Levander, 2011)

LNG dengan komponen utama metana (CH₄) adalah molukel struktur sederhana yang membakar dengan emisi CO₂ yang rendah dibanding bahan bakar cair dengan molukel kompleks. Hasil pembakaran stoikiometrik gas alam 9,5 % CO₂ sedangkan hasil pembakaran diesel 13,4 % CO₂. Kesederhanaan dari molukel

unsur utama dan tidak adanya sulfur dalam gas alam juga mengakibatkan emisi partikel dapat dihindari.

Ditunjukkan dalam Tabel 2 emisi dari LNG dan bahan bakar minyak untuk kapal terkait dengan output mesin dalam satuan kWh. (Tipe mesin kecepatan sedang yang dibangun setelah tahun 2000 tanpa pembersihan pembuangan) (Ferox CHART, 2012)

Tabel 2.Emisi bahan bakar terkait output mesin

Tipe bahan bakar	SO _x (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Residual oil 3.5% Sulphur	13	9-12	1.5	580-630
Marine diesel oil, 0.5 % S	2	8-11	0.25-0.5	580-630
Gasoil 0.1 % Sulphur	0.4	8-11	0.15-0.25	580-630
Natural gas (LNG)	0	2	0	430-480

Penurunan emisi CO₂ diperoleh dari perhitungan volume fraksi CO₂ mesin bahan bakar LNG (DF) stoikiometrik dan aktual dibandingkan mesin bahan bakar diesel (HFO).

Massa karbon dioksida dalam bahan bakar diperoleh dari persamaan (Sorensen, 1985) :

$$\text{Carbon dioksida} = \frac{CO_2}{C} \times C \dots\dots\dots (1)$$

Massa kelebihan oksigen dalam bahan bakar diperoleh dari selisih antara massa oksigen yang dibutuhkan dan massa bersih oksigen. Massa oksigen yang dibutuhkan merupakan hasil perkalian dari perbandingan massa oksigen di udara dengan massa udara dan jumlah udara masuk di mana perbandingan massa oksigen di udara 0,233 kg O₂/kg udara, sedangkan massa bersih oksigen diperoleh dari persamaan (Sorensen, 1985) :

$$\text{Net oxygen} = \left\{ \left(\frac{O_2}{C} \times C + \frac{O_2}{H_2} \times H_2 + \frac{O_2}{S} \times S \right) - \left(\text{Oksigen dalam bahan bakar} \right) \right\} \dots\dots\dots (2)$$

Massa nitrogen dalam bahan bakar merupakan hasil perkalian dari perbandingan massa nitrogen di udara dengan massa udara dan jumlah udara masuk, di mana perbandingan massa nitrogen di udara 0,767 kg N₂/kg udara.

Total massa uap air dari bahan bakar diperoleh dari persamaan (Sorensen, 1985) :

$$\text{Total uap air} = \left\{ \left(\frac{H_2O}{H_2} \times H_2 \right) + (m_a \times \omega) \right\} \dots\dots (3)$$

METEDOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa secara teoritis penurunan emisi CO₂ yang

diperoleh dari perhitungan volume fraksi CO₂ mesin bahan bakar LNG (DF) stoikiometrik dan aktual dibandingkan mesin bahan bakar diesel (HFO), penurunan NO_x dan SO_x.

Mesin yang digunakan adalah mesin diesel kapal Ferry KMP Temi (500 GRT) merek Yanmar model 6AYM-ETE dengan daya 610 kW yang dapat dimodifikasi dari mesin berbahan bakar diesel menjadi mesin berbahan bakar LNG atau mesin *Dual Fuel* (DF).

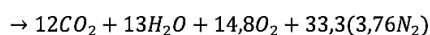
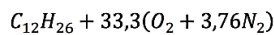
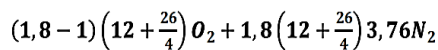
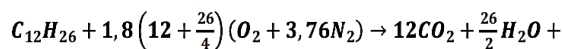
PEMBAHASAN

Perhitungan Fraksi Volume Wet gas dan Dry gas dari CO₂ pada Mesin dengan Bahan Bakar Diesel

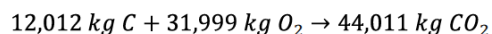
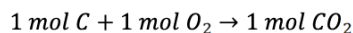
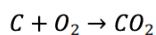
Komposisi total bahan bakar diesel adalah :

Carbon	:	86 %
Hidrogen	:	13 %
Oksigen	:	1 %
Sulfur	:	0,5 %
Nitrogen	:	0,1 %

Reaksi bahan bakar dengan koefisien udara lebih 1,8 (aktual) :

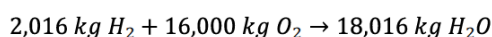
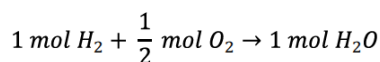
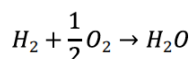


Untuk Carbon, dengan berat atom Carbon $\bar{m} = 12,012 \text{ kg}$ diperoleh:



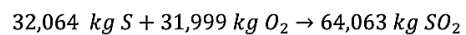
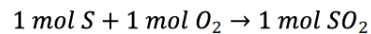
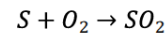
$$\frac{O_2}{C} = 2,664 \text{ kg } O_2/\text{kg } C$$

$$\frac{CO_2}{C} = 3,664 \text{ kg } CO_2/\text{kg } C$$



$$\frac{O_2}{H_2} = 7,937 \text{ kg } O_2/\text{kg } H_2$$

$$\frac{H_2O}{H_2} = 8,937 \text{ kg } H_2O/\text{kg } H_2$$



$$\frac{O_2}{S} = 0,998 \text{ kg } O_2/\text{kg } S$$

$$\frac{SO_2}{S} = 1,998 \text{ kg } SO_2/\text{kg } S$$

Oksigen yang diperlukan untuk pembakaran dalam unsur bahan pembakaran adalah :

Oksigen :

$$\frac{O_2}{C} \times C = 2,664 \times 0,86 = 2,291 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{bb}$$

Hidrogen :

$$\frac{O_2}{H_2} \times H_2 = 7,937 \times 0,13 = 0,032 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{bb}$$

Sulfur :

$$\frac{O_2}{S} \times S = 0,998 \times 0,005 = 0,00499 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{bb}$$

Jadi total oksigen :

$$2,291 + 0,032 + 0,00499 = 3,32799 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{bb}$$

Net Oksigen = Total Oksigen – Oksigen dalam bahan bakar

$$= 3,32799 - 0,01 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{bb}$$

$$= 3,31799 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{bb}$$

Jumlah udara yang dibutuhkan = (Net O₂) : (oxygen/air mass ratio)

Di mana,

$$\text{Oxygen/air mass ratio} = (0,21 \times 32)/28,85$$

$$= 0,233 \text{ kg } O_2/\text{kg } \text{udara}$$

Maka, Jumlah udara yang dibutuhkan adalah (3,31799 kg O₂/kg bb) ÷ (0,233 kg O₂/kg udara) = 14,240 (kg udara)/(kg bb)

Jumlah udara masuk :

$$= 1,8 \times 14,240 \text{ kg } \text{udara}/\text{kg } \text{bb}$$

$$= 25,632 \text{ kg } \text{udara}/\text{kg } \text{bb}$$

$$\begin{aligned}\text{Oksigen} &= 0,233 \times 25,632 \text{ kg } O_2/\text{kg bb} \\ &= 5,972 \text{ kg } O_2/\text{kg bb} \\ \text{Nitrogen} &= 0,767 \times 25,632 \text{ kg } N_2/\text{kg bb} \\ &= 19,660 \text{ kg } N_2/\text{kg bb}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kelebihan oksigen} &= \text{oksigen yang dibutuhkan} - \\ &\quad \text{net } O_2 \\ &= 5,972 - 3,31799 \text{ kg/kg bb} \\ &= 2,65401 \times 14,8 \text{ kg/kg bb} \\ &= 39,279 \text{ kg/kg bb}\end{aligned}$$

Carbon dioksida :

$$\frac{CO_2}{C} \times C = 3,664 \times 0,86 \times 12 = 37,812 \text{ kg/kgbb}$$

Uap air dari bahan bakar :

$$\begin{aligned}\frac{H_2O}{H_2} \times H_2 &= 8,937 \times 0,13 \times 13 \\ &= 15,104 \text{ kg/kgbb}\end{aligned}$$

Uap air dari udara pembakaran (m_w) :

$$\begin{aligned}P_V &= \phi (P_V)_{sat, 25^\circ C} = 0,30 \times 3,169 \text{ kPa} \\ &= 0,9507 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_w &= m_a \times \omega = 25,632 \times 0,00591 \text{ kg/kgbb} \\ &= 0,1515 \text{ kg/kg bb}\end{aligned}$$

Total Uap air adalah :

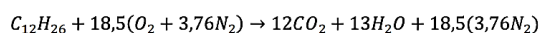
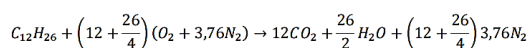
$$15,104 + 0,1515 \text{ kg/kg bb} = 15,2555 \text{ kg/kg bb}$$

Jadi fraksi volume gas CO_2 dapat diperoleh sebagai berikut :

Tabel 3. Analisa Flue Gas Mesin bahan bakar diesel (aktual)

				Fraksi Volume (%)	
Gas	$\bar{m}$	Massa (kg)	Massa (mol)	Wet Gas	Dry Gas
CO_2	44,011	37,8120	0,8591	23,63	30,81
O_2	31,999	39,2790	1,2275	33,77	44,02
N_2	28,013	19,6600	0,7018	19,31	25,17
H_2O	18,015	15,2555	0,8468	23,29	-
		112,0065	3,6352	100,00	100,00

Reaksi bahan bakar dengan koefisien udara lebih 1 (stokiometrik) :



Dengan perhitungan yang sama diperoleh fraksi volume gas CO_2 dapat diperoleh sebagai berikut :

Tabel 4. Analisa Flue Gas Mesin bahan bakar diesel (stoikiometrik)

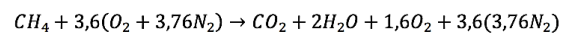
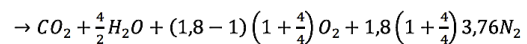
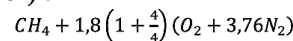
				Fraksi Volume (%)	
Gas	$\bar{m}$	Massa (kg)	Massa (mol)	Wet Gas	Dry Gas
CO_2	44,011	37,8120	0,8591	41,06	68,78
O_2	31,999	0	0	0	0
N_2	28,013	10,9220	0,3899	18,64	31,22
H_2O	18,015	15,1882	0,8431	40,30	-
		63,9224	2,0921	100,00	100,00

Perhitungan Fraksi Volume Wet gas dan Dry gas dari CO_2 pada Mesin dengan Bahan Bakar LNG

Komposisi total bahan bakar LNG adalah :

$$\begin{aligned}\text{Carbon} &: 75,266 \% \\ \text{Hidrogen} &: 24,734 \% \\ \text{Oksigen} &: 0 \% \\ \text{Sulfur} &: 0 \% \\ \text{Nitrogen} &: 0,1 \%\end{aligned}$$

Reaksi bahan bakar dengan koefisien udara lebih 1,8 (aktual) :

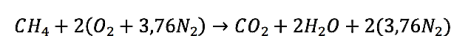
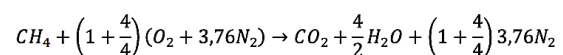


Dengan perhitungan yang sama diperoleh fraksi volume gas CO_2 dapat diperoleh sebagai berikut :

Tabel 5. Analisa Flue Gas Mesin bahan bakar LNG (aktual)

				Fraksi Volume (%)	
Gas	$\bar{m}$	Massa (kg)	Massa (mol)	Wet Gas	Dry Gas
CO_2	44,011	2,7577	0,0626	4,75	5,90
O_2	31,999	5,0832	0,1588	12,06	14,96
N_2	28,013	23,5250	0,8398	63,78	79,14
H_2O	18,015	4,6022	0,2555	19,40	-
		35,9681	1,3167	100,00	100,00

Reaksi bahan bakar dengan koefisien udara lebih 1 (stokiometrik) :



Dengan perhitungan yang sama diperoleh fraksi volume gas CO_2 dapat diperoleh sebagai berikut :

Tabel 6. Analisa Flue Gas Mesin bahan bakar LNG (stoikiometrik)

Gas	$\bar{m}$	Massa (kg)	Massa (mol)	Fraksi Volume (%)	
				Wet Gas	Dry Gas
CO ₂	44,011	2,7577	0,0626	8,02	11,83
O ₂	31,999	0	0	0	0
N ₂	28,013	13,0700	0,4666	59,81	88,17
H ₂ O	18,015	4,5216	0,2510	32,17	-
		20,3493	0,7802	100,00	100,00

Berdasarkan perhitungan fraksi volume wet gas dan dry gas dari CO₂ pada mesin dengan bahan bakar diesel (HFO) dan mesin dengan bahan bakar LNG (DF) untuk kondisi stoikiometrik dan kondisi aktual, maka diperoleh dari Tabel 4 fraksi volume wet gas CO₂ pada mesin dengan bahan bakar diesel (HFO) kondisi stoikiometrik sebesar 41,06 % dan dry gas sebesar 68,78 %, sedangkan dari Tabel 6 fraksi volume wet gas CO₂ pada mesin dengan bahan bakar LNG (DF) sebesar 8,02 % dan dry gas sebesar 11,83 %. Untuk kondisi aktual dari Tabel 3 fraksi volume wet gas CO₂ pada mesin dengan bahan bakar diesel (HFO) sebesar 23,63 % dan dry gas sebesar 30,81 %, sedangkan dari Tabel 5 fraksi volume wet gas CO₂ pada mesin dengan bahan bakar LNG (DF) sebesar 4,75 % dan dry gas sebesar 5,90 %. Hasil perhitungan ini memperlihatkan bahwa emisi gas buang CO₂ pada mesin dengan bahan bakar LNG (DF) dapat diturunkan sebesar 24,27 % untuk kondisi stoikiometrik keadaan wet gas dan 20,77 % untuk keadaan dry gas, dibandingkan mesin dengan bahan bakar diesel (HFO), sedangkan kondisi aktual keadaan wet gas sebesar 25,16 % dan 23,68 % untuk keadaan dry gas, di mana dari Tabel 2 dapat dilihat emisi CO₂ terkait dengan output mesin adalah untuk mesin dengan bahan bakar diesel (HFO) sebesar (580 – 630) g/kWh dan mesin dengan bahan bakar LNG (DF) sebesar (430 – 480) g/kWh, maka penurunan emisi CO₂ mesin dengan bahan bakar LNG (DF) rata-rata sebesar (31,25 – 34,88) % dibandingkan mesin dengan bahan bakar diesel (HFO) (Ferox CHART, 2012). Penelitian tentang penggantian mesin gas dengan mesin dual fuel menunjukkan bahwa emisi CO₂ dapat diturunkan 30-40 % dengan perbandingan bahan bakar 85/15 dan perbandingan bahan bakar udara stoikiometrik 15,75 (Jafari dkk., 2010).

Penurunan emisi NO_x dapat ditentukan dengan melihat perbedaan temperatur maksimum (T_z)

yang dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar LNG dan mesin dengan bahan bakar diesel (Ferox CHART, 2012).

Setelah dimodifikasi temperatur maksimum untuk mesin kapal ro-ro berbahan bakar diesel (HFO) dan berbahan bakar LNG (mesin Dual Fuel) diperoleh :

T_z untuk mesin dengan bahan bakar diesel adalah 2460,121 K

T_z untuk mesin dengan bahan bakar LNG adalah 1075,064 K

Maka diperoleh presentase penurunan emisi NO_x berdasarkan penurunan temperatur maksimum adalah 77,62 %.

Penurunan SO_x dapat dilihat dari komposisi total bahan bakar diesel (HFO) dan komposisi total bahan bakar LNG (DF). Komposisi total bahan bakar LNG tidak mengandung sulfur.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang diperoleh diatas, penulis menyimpulkan bahwa :

Penurunan emisi CO₂ untuk mesin dengan bahan bakar LNG (DF) bila dibandingkan dengan mesin berbahan bakar diesel (HFO) pada kondisi stoikiometrik sebesar 20,77 %, sedangkan pada kondisi aktual sebesar 23,68 %. Penurunan emisi NO_x untuk mesin dengan bahan bakar LNG (DF) dibandingkan dengan mesin berbahan bakar diesel (HFO) sebesar 77,62 %. Tidak ada emisi SO_x karena dari komposisi total bahan bakar LNG tidak mengandung sulfur.

Saran

Dari materi yang telah dibahas diatas, maka penulis memberikan beberapa saran :

1. Mesin dengan bahan bakar LNG (Dual Fuel) sangat penting untuk menjadi perhatian bagi kapal-kapal yang akan diproduksi pada saat ini, mengingat mesin ini menghasilkan emisi yang rendah dan mengurangi polusi, juga harga bahan bakar LNG yang relatif lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak.
2. Mesin dengan bahan bakar LNG (Dual Fuel) khusus untuk kapal-kapal yang berlayar dengan jarak yang pendek seperti di kepulauan Indonesia, karena itu penggunaan mesin ini baik adanya jika mulai digunakan oleh kapal-kapal di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Dr.Ir.Slamet, M. (2008). Proses Pembuatan LNG. Depok: Departemen Teknik Kimia.
- Engineer, I. M. (2003, Desember). 2004 akan menjadi Fajar baru bagi Pasar Motor-motor Diesel yang Menggunakan Bahan Bakar Gas. Buletin Marine Engineer, pp. 14-17.
- Engineer, I. M. (2008, Juli). Perubahan-perubahan Besar akan segera berlaku atas Peraturan Pembatasan Gas Emisi Pencemar Udara yang berasal dari Bahan Bakar Kapal. Buletin Marine Engineer, pp. 20-24.
- Ferox, C. (2012, Oktober 5). LNG ship fueling.
- Jafari, H. H., & Farhanieh, B. (2010). Thermodynamic Analysis of Replacing Gas Oil with Natural Gas in Diesel Engine. Journal of Engineering, 1-12.
- Haraldson, L. (2011). LNG as a Fuel for Environmentally Friendly Shipping. 33RD Motorship Propulsion & Emissions Conference. Copenhagen: Wartsila Corporation.
- Ir. Suparno, M. (2012). Gas Liquefaction, Product and Specification. Cepu: AKAMIGAS-STEM.
- Levander, O. (2011). Dual Fuel Engines Latest Developments. Director, Concept design, MLS. Hamburg: Wartsila.
- Levander, O. (2011). Fuel Selection for Ferries. Barcelona: Wartsila.
- Sorensen, H. A. (n.d.). Energy Conversion Systems. Washington : Washington State University.