

Pemanfaatan *Boil-Off Gas* Sebagai Bahan Bakar Kapal Pengangkut Gas

Ikhwan¹, Hamdani², Ahmad Syuhada²

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana Unsyiah
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam Banda Aceh 23111

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam Banda Aceh 23111
E-mail: hamdani_umar@yahoo.com

Abstract

LNG carrier is the most reliable primary means of transportation of LNG in the world. In operation, each LNG carrier would result in boil-off gas from the cargo hold due to the expansion. BOG The average amount that can be produced is 0.15% of the tank capacity and unloading space per day. For that, there is great opportunity in the use of BOG as fuel in LNG carrier resulting in fuel savings. One of the driving forces that can take advantage of BOG is a Combined Cycle Propulsion Plant (CCPP) of a gas turbine and a steam turbine, a gas turbine with HRSG and dual fuel technology for generating thermal energy from the exhaust gas of gas turbines. Improved efficiency and are able to use as fuel BOG will be able to lower the fuel oil consumption of the driving force. The study was conducted by comparing the fuel consumption of LNG carrier propulsion system with a conventional steam turbines, compared to the LNG carrier using the CCPP. CCPP eventually be an option with the highest fuel economy both in terms of BOG utilization, efficiency and fuel use. For the 138,000 m³ LNG carrier of the same, with the CCPP do MDO-fueled fuel savings of U.S. \$ 46,117.80 per day and for using the CCPP BOG, fuel savings of U.S. \$ 56,472.70 per day.

Keywords: LNG Carrier, Boil-off gas, CCPP, gas turbine, steam turbine, HRSG, fuel savings

1. Pendahuluan

Sistem penggerak pada kapal merupakan bagian yang sangat vital dalam pengoperasian kapal tersebut. Pemilihan sistem penggerak yang tepat dapat memberikan penghematan yang signifikan dalam operasionalnya. Umumnya, sistem penggerak kapal LNG konvensional menggunakan steam turbine. Efisiensi dari sistem penggerak steam turbine ini cukup rendah. Dengan demikian, dibutuhkan suatu inovasi teknologi sistem penggerak kapal yang mampu memberikan efisiensi yang tinggi sekaligus mampu menghemat bahan bakar. Sebuah kombinasi Gas Turbine dan Steam Turbine melalui sebuah unit Heat Recovery Steam Generator menawarkan banyak keuntungan jika di aplikasikan sebagai tenaga penggerak utama di kapal LNG. Keuntungan utama dari sistem ini adalah penghematan energi sebesar 30% sampai 35% dibanding jika marine gas turbine ataupun marine steam turbine dipakai secara terpisah. Kondisi ini menjadi lebih menarik lagi seiring dengan perkembangan teknologi dari modern advanced gas turbine berbahan bakar gas alam yang mampu memberikan efisiensi thermal total pada suatu unit combined cycle power plant (CCPP) lebih dari 60%. Dengan efisiensi total sebesar ini memungkinkan bagi CCPP untuk kembali bersaing dengan motor diesel. Terlebih lagi dengan adanya

tuntutan akan emisi gas buang serendah mungkin, CCPP berbahan bakar gas alam akan lebih unggul. Teknologi saat ini sudah mampu untuk mengaplikasikan *Combined Cycle Propulsion Plant* (CCPP) di kapal. Kombinasi dari tipe penggerak ini sangat tinggi, bahkan mampu mencapai 60%, lebih besar dari efisiensi diesel engine. Gas turbine juga mampu memanfaatkan boil-off gas (BOG) yang dikeluarkan akibat ekspansi muatan LNG carrier. Pemanfaatan BOG dan efisiensi yang tinggi dari CCPP akan memberikan keuntungan tersendiri apabila diaplikasikan pada LNG carrier. Oleh karena itu, dalam penulisan tugas akhir ini, dilakukan analisa dari penggunaan CCPP dengan pemanfaatan BOG pada LNG carrier.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. LNG Carrier

Liquefied Natural Gas (LNG) adalah gas alam (Metana-CH₄) yang didinginkan sampai minus 160 derajat Celsius pada tekanan atmosfer yang membuatnya menjadi zat cair dan volumenya menjadi 1/600 kali dari kondisi semula sebagai gas [1]. Kondisi cair ini memungkinkan pengangkutan LNG dalam jumlah besar dengan kapal tanker LNG atau sering disebut *LNG Carrier*. LNG telah

ditransportasikan melalui laut, menggunakan kapal desain khusus sejak tahun 1959.

Kapal pertama yang digunakan untuk mengangkut LNG adalah "Methane Pioneer" yang sebelumnya merupakan kapal tanker kecil yang dikonversikan menjadi kapal pengangkut LNG. Kapal ini mengangkut LNG dari teluk meksiko ke sungai thames Inggris pada tahun 1959 dan menjadi pelopor untuk pembangunan kapal-kapal LNG masa kini.

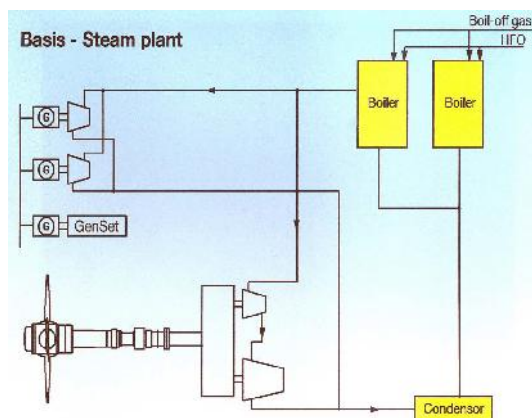
Pengembangan dan pembangunan kapal-kapal LNG terus meningkat seiring dengan meningkatnya perdagangan LNG dalam 2 dasawarsa ini. Penyebab utamanya adalah karena LNG membutuhkan biaya transportasi lebih kecil dibandingkan pendistribusiannya dalam bentuk gas.

2.2. Sistem Penggerak Kapal dengan CCPP

Semakin majunya teknologi akan menuntut peningkatan dalam berbagai hal. Begitu pula dalam bidang power plant. Ketidakpuasan akan efisiensi dari satu cycle saja membuat para engineer berpikir untuk menggabungkan 2 siklus dalam 1 power plant, tetapi dengan media kerja yang berbeda. Dengan mengkombinasikan 2 siklus menjadi satu, diharapkan keduanya akan saling melengkapi kelemahan dari masing-masing siklus. Salah satu bentuk penggabungan 2 sistem menjadi 1 adalah *Combined cycle gas and steam turbine* yang sering disebut dengan istilah *Combined Cycle Propulsion Plant (CCPP)* [3],[4].

Siklus ini umumnya dibagi menjadi 2 yaitu Topping dan Bottoming Cycles. Topping cycle adalah siklus utama yang menghasilkan energi, sedangkan panas yang terbuang dari topping cycle akan digunakan untuk mengoperasikan Bottoming cycle pada tingkat suhu yang rendah. Ide ini dituangkan dalam sebuah desain penggabungan gas turbine dan steam turbine dalam satu sistem power plant [5].

Disini ada 2 siklus, yaitu siklus terbuka pada gas turbine dan siklus tertutup pada steam turbine. Berikut adalah flow diagram dari sistem tersebut:



Gambar 1. Skema sistem penggerak mula

3. Metode

Tujuan utama penelitian ini adalah melakukan analisis pemanfaatan boil-off gas sebagai bahan bakar sistem penggerak mula kapal pengangkut LNG. Boil-off gas terjadi selama pelayaran akan digunakan sebagai bahan bakar pada turbin dan turbin uap dengan menerapkan siklus gabungan. Pada kapal pengangkut LNG, energi yang dihasilkan oleh penggerak mula digunakan untuk menggerakkan baling-baling kapal dan untuk menggerakkan generator listrik. Berdasarkan hasil pengamatan, diperoleh informasi bahwa kapal pengangkut LNG yang beroperasi di PT. Arun, sebagian besar menggunakan penggerak mula motor bakar dengan bahan bakar gas. Maka untuk memperoleh data turbin gas digunakan data turbin gas yang digunakan untuk industri yaitu turbin gas tipe LM 2050, LM 1600 PE dan LM 1600.

Sedangkan untuk turbin uap digunakan turbin uap yang banyak digunakan dipembangkit listrik geothermal yang mampu beroperasi pada kondisi uap basah tinggi. Daya turbin berkisar dari 5.000 - 10.000 KW, dengan putaran 3000 – 3600 rpm. Turbin uap tersebut bekerja dengan tekanan dan temperatur uap masuk 30 bar, 300 °C. Berdasarkan data tersebut maka dilakukan analisis dengan alternatif penggunaan daya sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel. 1.

Tabel 1 Alternatif penggunaan daya sistem penggerak mula

No.	Alternatif	Daya Turbin Gas (KW)	Daya Turbin Uap (KW)	Total Daya (KW)
1.	Alternatif 1 LM 2500	25.060	5.000	30.060
2.	Alternatif 2 LM 1600 PE	19.105	10.000	29.105
3.	Alternatif 3 LM 1600	14.900	15.000	29,900

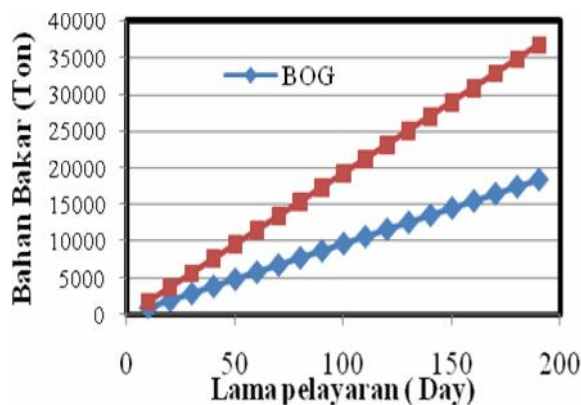
4. Analisa Dan Pembahasan

Pada tahap pertama pengolahan data dilakukan perhitungan jumlah Boil-off gas yang terjadi selama pengangkutan. Menurut **Richard Gilmore (2005)**, produksi oil-off gas rata-rata mencapai 0.15%/hari. Jika dengan volume LNG sebesar 138.000 m³ dan dengan densitas boil off gas sebesar 0,47 ton/m³, maka diperoleh berat LNG sebesar 64.860 ton. Dan BOG yang terjadi mencapai sebesar 0.15% /hari x 64.869 ton = 97,29 Ton/hari. Tabel 2 memberikan data hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar pada kapal pengangkut LNG.

Sedangkan hubungan antara kebutuhan bahan bakar untuk kapal dan ketersediaan BOG adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.

Tabel 2 Kebutuhan bahan bakar

LNG Carrier		
Volume kargo	138000	m ³
berat spesifik	0.47	Ton/day
Berat LNG	64860	Ton
Boil-off gas	0.15%	/day
Berat Boil off gas	97.29	Ton/day
Pemakaian bahan bakar spesifik kapal	288.3	gr/(kW.hr)
Daya Kapal	28000	kW
Pemakaian bahan bakar	8.072.400	gr/hr
	193.74.	Ton/day



Gambar 2. Grafik hubungan ketersediaan BOG dengan kebutuhan bahan bakar kapal

Tabel 3. Alternatif penggunaan daya sistem penggerak mula

No	Kondisi	Temperatur (°C)	Tekanan (Mpa)	Fasa
1.	Masuk ekonomiser	191	3,3	Cair jenuh
2.	Keluar ekonomiser	236	3,3	Cair
3.	Masuk evaporator	264	3,3	Uap jenuh
4.	Keluar evaporator	264	3,3	Uap jenuh
5.	Masuk superheater	247	3,2	Uap jenuh
6	Keluar superheater	310	3.1	Uap superpanas

4.1. Hasil Analisis

Analisis yang dilakukan meliputi perhitungan energi panas yang terkandung pada gas buang turbin gas dan energi panas yang dibutuhkan oleh untuk menggerakkan turbin uap, serta energi energi kalor yang dibangkitkan di HRSG. Karena fungsi HRSG

adalah sebagai penghasil uap maka dalam kerjanya terdapat tekanan dan suhu yang spesifik agar terjadi penguapan. Pada penelitian ini digunakan data HRSG sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan menggunakan software *cyclepad* diperoleh besarnya kandungan energi panas dalam gas buang turbin gas adalah sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 4

Tabel 4. Kandungan energi panas pada gas buang

No.	Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1.	Massa gas (m, kg/s)	70,73	47,35	47,26
2.	Cp gas buang (Kj/kg K)	1,0035	1,0035	1,0035
3.	Temperaturu gas buang (T _{gasbuang} , °C)	566,3	490,7	510,2
4.	T _{cerobong}	150	150	150
5.	Panas yang tersedia (Kj/s)	29394,8	16189,6	17064,4

Sedangkan untuk kebutuhan panas pada sistem turbin uap sesuai dengan alternatif daya yang dibutuhkan diberikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan energi pada sistem turbin uap

No.	Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1.	Daya turbin (KW)	5000	10.000	15.000
2.	Panas yang dibutuhkan (Kj/s)	13218,7	26437	39656

Tabel 6. Hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar

Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Q perhitungan (kW)	27697	13956	15118
Q Kebutuhan (Kj/s)	13218	26437	39656
Efisiensi burner (%)	55%	55%	55%
Q nyata (kj/s)	24032	48067	72101
Q burner (kj/s)	-	34111	56984
LHV LNG (Kj/gram)	-	38,1	38,1
m _{bahan bakar}	290,5	895,3	1495,6

Berdasarkan data ketersediaan energi dari gas buang turbin gas dan kebutuhan energi untuk penghasil uap pada turbin uap dapat dihitung besarnya bahan bakar yang dibutuhkan. Hasil perhitungan diberikan dalam Tabel 6.

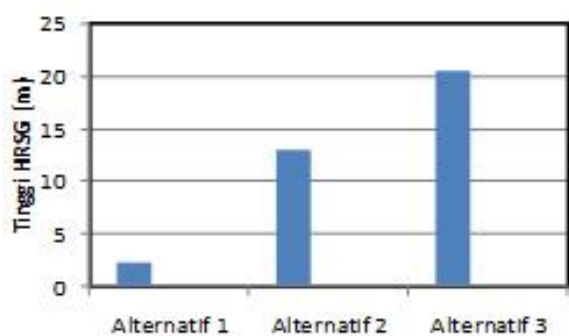
Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi dimensi dari HRSG yang meliputi jumlah pipa yang dibutuhkan untuk masing-masing komponen yang ada dalam HRSG. Perhitungan dimensi HRSG dimulai dengan menghitung koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh kemudian menghitung perubahan temperatur rata-rata pada masing-masing sistem penukar panas. Hasil perhitungan untuk masing-masing alternatif diberikan dalam Tabel 7

Tabel 7 Hasil Perhitungan dimensi HRSG

Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
m_{gb} (kg/s)	27697	13956	15118
m_{air} (kg/s)	13218	26437	39656
U_{sph} (%)	55%	55%	55%
U_{eva} (kJ/s)	24032	48067	72101
Panjang pipa superheater (m)	5	17	26
Panjang pipa evaporator (m)	1	5	10
Panjang pipa ekonomiser (m)	8	59	92

4.2. Pembahasan

Berdasarkan data hasil analisa dapat dinyatakan bahwa pemakaian BOG sebagai bahan bakar akan mampu memberikan nilai tambah yang cukup besar bagi kapal pengangkut LNG. Dari tabel 4. terlihat bahwa dengan menggunakan alternatif penyediaan daya antara turbin gas dan turbin uap terlihat bahwa bahan bakar yang tersedia dari BOG akan mampu menangani kebutuhan bahan bakar bagi kapal untuk alternatif 1.



Gambar 3. Grafik perbandingan tinggi HRSG

Disisi lain alternatif 1 membutuhkan dimensi HRSG yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan alternatif lainnya. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan tinggi HRSG berdasarkan hasil perhitungan panjang pipa yang digunakan.

HRSG untuk tiga alternatif Dari hasil perhitungan dan analisa dapat dinyatakan bahwa alternatif 1 memiliki keunggulan untuk digunakan sebagai penggerak mula pada kapal pengangkut LNG.

5. Kesimpulan dan saran

Setelah melalui serangkaian proses analisa dan perhitungan didapatkan beberapa poin kesimpulan dari Studi Pemanfaatan BOG pada CCPP untuk LNG Carrier.

5.1. Kesimpulan

- Dengan mengajukan 3 alternatif konfigurasi gas dan steam turbine, maka diambil kesimpulan bahwa konfigurasi CCPP variasi ke 1 dengan power gas dan steam turbine masing-masing adalah 25.060 kW dan 5.000 kW. Power steam turbine $\pm 20\%$ dari power gas turbine. Optimasi dilakukan dengan memilih konfigurasi yang memiliki konsumsi bahan bakar yang minimal dan mampu memanfaatkan BOG dengan optimal.
- Dari perhitungan didapatkan desain tube masing-masing penukar panas yaitu :
 - Superheater = 210 tube Jumlah harp = 5
 - Evaporator = 42 tube Jumlah harp = 1
 - Economiser = 336 tube Jumlah harp = 8
- Dengan memodifikasi ST plant menjadi CCPP pada kapal yang dianalisa, maka didapat penghematan bahan bakar sebesar US\$ 46.117,80 untuk CCPP dengan bahan bakar MDO. Untuk tipe ini, sebaiknya dilengkapi dengan re-liquefaction plant agar BOG tidak terbuang sia-sia.
- Sedangkan untuk ST plant yang diganti dengan CCPP yang memanfaatkan BOG sebagai bahan bakar, dapat dilakukan penghematan sebesar US\$ 56.472,70

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat digunakan sebagai referensi agar pada perencanaan selanjutnya diperoleh hasil yang lebih baik antara lain:

- Perlu diadakan studi lebih dalam mengenai penggunaan CCPP dari sisi rute untuk optimasi dari penggunaan bahan bakar.
- Ke depannya, desain HRSG nantinya harus dilakukan secara lengkap dengan semua instrumen-instrumennya agar dapat diketahui desain yang mendekati dimensi nyata-nya.

Daftar Pustaka

- [1] Boyce M.P, 2006. "Gas Turbine Engineering handbook", Gulf Professional Publishing,Oxford.
- [2] Smith Robin, 2005."Chemical Process Design and Integration", John Wiley & Sons Ltd,England.
Takashi Aoki, 2006."Dual Fuel Type : IM270 Gas turbine", Engineering Department, Power Systems Division, Aero-Engine and Space operations, IHI review. Diesel Electric Propulsion
- [3] McBirnie,S,C, "Marine Steam engines and turbin",Butterworths, London.
- [4] GE Energy, 2009. "Heavy Duty Gas Turbine products", General Electric Company. GE Oil & Gas, 2005. "Industrial Steam turbines", General Electric Company
- [5] Kehlhover Rolf, 1997. " Combined Cycle Gas and Steam Turbine Power Plant", Penwell Publishing Company, Oklahoma.