

ANALISA PENGARUH KOMPOSISI *PROPERTIES NATURAL GAS* TERHADAP *ENGINE PERFORMANCE GAS TURBINE*

Muhammad Agus Sahbana¹, Akhmad Farid², Eko Sukti Wibowo³

Abstraksi

Turbin gas adalah suatu penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja. Salah satu faktor yang menyebabkan menurunnya performa turbin gas adalah terjadi perubahan *properties* bahan bakar yang digunakan, seperti yang terjadi di *Gas Turbine Rolls Royce RB211-24G* di *offshore Platform Belanak-FPSO ConocoPhillips* Indonesia. Hal ini mengakibatkan unit mengalami beberapa kali *shutdown* dan membutuhkan *troubleshooting* yang cukup lama. Sehingga berdampak pada tingkat produktivitas ekspor gas alam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti *properties* bahan bakar yang digunakan untuk dibandingkan terhadap efisiensi turbin pada saat dioperasikan. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan *monitoring* dan *trending* selama periode bulan Mei 2013 terhadap *properties* bahan bakar (variabel terikat), yang meliputi nilai *Heating Value*, *CO₂ content* dan *C₁ content*. Kemudian dibandingkan dengan parameter operasional gas turbin (variabel bebas), yang terdiri dari nilai: tekanan, temperatur, putaran pada bagian kompresor dan *power turbine* ($P_1, P_2, T_1, T_2, P_4, P_5, T_4, T_5, N_1, N_2$). Setiap *properties* dalam suplai bahan bakar memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap performa gas turbin. Semakin tinggi *heating value* (maksimum 1.044,6 BTU), akan menghasilkan efisiensi turbin yang optimum (maksimum 73,29%). Kadar gas CO₂ terendah sebesar 3,19%, mampu menghasilkan efisiensi turbin paling besar dengan nilai 77,90%. Sedangkan nilai kadar gas C₁ dengan nilai tertinggi sebesar 88,72%, dapat menghasilkan nilai efisiensi turbin paling optimum sebesar 73,90%.

Kata Kunci : *Natural gas, Efisiensi*

PENDAHULUAN

Turbin gas adalah suatu penggerak mula yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan poros turbin sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin yang berputar disebut rotor atau roda turbin dan bagian turbin yang diam disebut stator atau rumah turbin. Rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban (generator listrik, pompa, kompresor atau yang lainnya).

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui perbedaan karakteristik komposisi *properties supply natural gas* yang dihasilkan *Wellhead Platform Belanak*

FPSO terhadap standard yang disyaratkan oleh manufaktur *Rolls Royce* untuk Gas Turbin tipe RB211-24G serta pengaruh *properties supply fuel gas* yang dihasilkan *Wellhead Platform Belanak FPSO* terhadap performa engine Gas Turbin *Roll Royce RB211-24G*.

Sejarah Turbin Gas

Konsep dari jet propulsi, sebagai penggerak daya, bukan merupakan ide baru sejak 150 BC, pada jaman Aleksandria tercipta *Aeropil Hero* (dari kata *Aelos*, 'dewa angin' dan *Pila*, bola) yang tercatat sebagai turbin uap pertama dalam catatan sejarah.

¹ Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

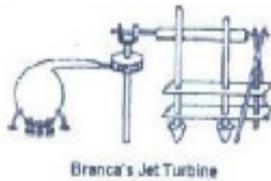
² Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

³ Alumni Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang



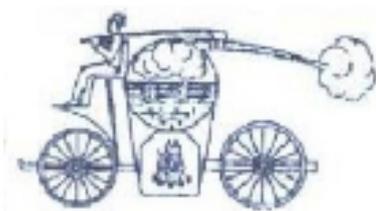
Gambar 1. **Aerofoil Hero dari Aleksandria**

Pada tahun 1232 Negara Cina telah menciptakan roket sebagai senjata. Dan pada tahun 1629 Giovanni Branca menciptakan mesin penumbuk yang memanfaatkan tenaga dari uap yang keluar dari boiler mesin uap.



Gambar 2. **Turbin Branca**

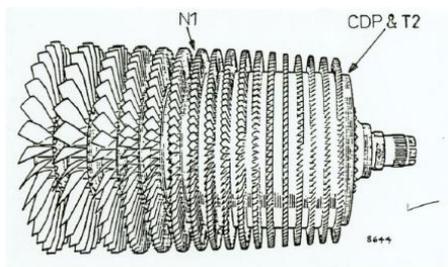
Pada tahun 1687, Sir Isaac Newton menemukan 3 hukum alam terkenal yang menjadi dasar penting pengembangan turbin gas dan merancang mesin uap. Dr. F. Stolze dari Jerman merancang mesin gas turbin yang pertama kali. Turbin reaksi tersebut dirancang pada tahun 1872 tetapi baru dapat dibuat dan diuji disekitar tahun 1904. Egidius Elling dari Norwegia membangun turbin gas pertama yang menghasilkan daya. Sejauh ini model yang paling sukses sekarang ini dirancang oleh Van Ohain dari Jerman (akhir 1930-an) dan Sir Frank Whittle's dari Inggris (awal 1940-an).



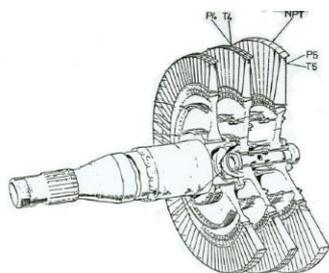
Gambar 3. **Mesin Uap Newton Variabel-variabel Kinerja Turbin Gas**

- P_o : *Barometric Pressure*, yaitu tekanan udara luar atau tekanan atmosfer diukur sebelum masuk *intake*.
- P_1 : *GG bellmouth pressure*, yaitu tekanan udara pada *bellmouth* atau tekanan udara yang diukur pada *intake* kompresor.
- ΔP_i : *Gas generator intake depression*, yaitu besarnya penurunan tekanan yang masuk gas generator (turbin *stage* 1 & 2) atau penurunan tekanan setelah keluar ruang bakar.
- T_1 : *Intake temperature*, yaitu temperatur udara masuk kompresor.
- T_2 : *Compressor delivery temperature*, yaitu temperatur udara keluar kompresor, diukur pada kompresor *stage* ke 17.
- T_4 : *Exhaust gas temperature*, yaitu temperatur gas yang keluar dari *gas generator* (turbin *stage* ke 2) atau temperatur gas sebelum masuk *power turbin*.
- T_5 : *Exhaust cone temperature*, yaitu temperatur gas yang keluar dari *power turbin* (turbin *stage* ke 3).
- CDP : *Compressor discharge pressure* (P_2), yaitu tekanan udara yang keluar dari kompresor atau tekanan udara sebelum masuk ruang bakar (kompresor *stage* ke 17).
- P_4 : *Exhaust gas generator pressure*, yaitu tekanan gas yang keluar dari *gas generator* (turbin *stage* ke 2) atau tekanan gas sebelum masuk *power turbin*.
- P_5 : *Exhaust cone pressure*, yaitu tekanan gas yang keluar dari *power turbin* (turbin *stage* ke 3).

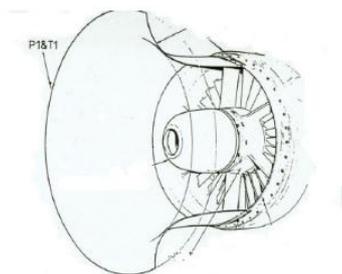
- N_1 : *Compressor speed*, yaitu besarnya putaran kompresor.
- *VIGV* : *Variable inlet guide vane angle*, yaitu besarnya sudut bukaan pada kompresor *stage* ke 1, yang berfungsi untuk mengatur besarnya udara yang masuk ke kompresor.
- Efisiensi kompresor, yaitu besar keefektifan energi pada kompresor.



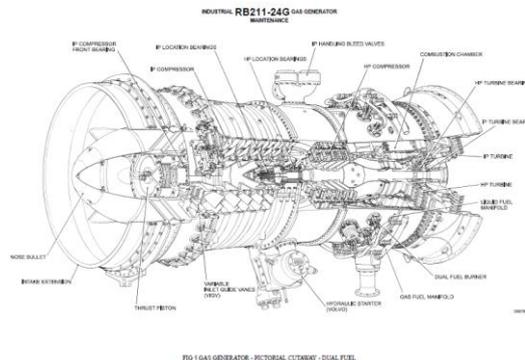
Gambar 4. Potongan Gambar Rotor Kompresor



Gambar 5. Potongan Gambar Rotor Turbin



Gambar 6. Potongan Gambar Bellmouth Kompresor



Gambar 7. Gas Turbin RR-RB211 24 G

Rumus yang digunakan

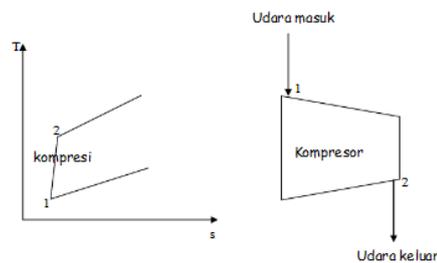
Effisiensi Siklus

$$\eta_{siklus} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

Dimana :

- P_1 = tekanan hisap kompresor
- P_2 = tekanan *discharge* kompresor
- K udara = 1,4

Effisiensi Kompresor



Gambar 8. Diagram Kompresor

Apabila η_{st} adalah efisiensi isentropik pada setiap tingkat dan sama untuk setiap tingkat, maka kenaikan temperatur.

$$\Delta T = \sum \Delta T_{st}$$

Sehingga efisiensi isentropik kompresor menjadi:

$$\eta_{comp} = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k, \eta_{nk}}} - 1}$$

Efisiensi Power Turbin

$$\eta_I = \frac{1 - \left(\frac{P_4}{P_5} \right)^{\frac{\gamma(k-1)}{k}}}{1 - \left(\frac{P_4}{P_5} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}}$$

Dimana:

- P_4 : Exhaust gas generator pressure
- P_5 : Exhaust cone pressure

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah *properties* gas alam yang diproduksi oleh *wellhead platform Belanak FPSO Conono Phillips Indonesia*, yang meliputi :

- Net Heat Value
- CO_2 content
- Gas Methane (C_1) content

b. Variabel Bebas

Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- P_1 : Tekanan hisap kompresor
- P_2 : Tekanan discharge kompresor
- P_4 : Exhaust gas generator pressure, yaitu tekanan gas yang keluar dari gas generator (turbin stage ke 2) atau tekanan gas sebelum masuk power turbin.
- P_5 : Exhaust cone pressure, yaitu tekanan gas yang keluar dari power turbin (turbin stage ke 3).
- N_1 : Compressor speed, yaitu besarnya putaran kompresor.

- N_2 : Power turbine speed, yaitu besarnya putaran turbin.
- T_1 : Intake temperature, yaitu temperatur udara masuk kompresor.
- T_2 : Compressor delivery temperatur, yaitu temperatur udara keluar kompresor, diukur pada kompresor stage ke 17.
- T_4 : Exhaust gas temperature, yaitu temperatur gas yang keluar dari gas generator (turbin stage ke 2) atau temperatur gas sebelum masuk power turbin.
- T_5 : Exhaust cone temperature, yaitu temperatur gas yang keluar dari power turbin (turbin stage ke 3).

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan uji dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data penelitian adalah :

1. Gas Chromatograph

Digunakan untuk meneliti *properties* pada natural gas.

2. Gas Turbin Tipe Rolls Royce RB211-24G

3. PCS – FT 210

Merupakan *Human and Machine Interface*, yang digunakan untuk pengambilan data trending parameter operasional gas turbin.

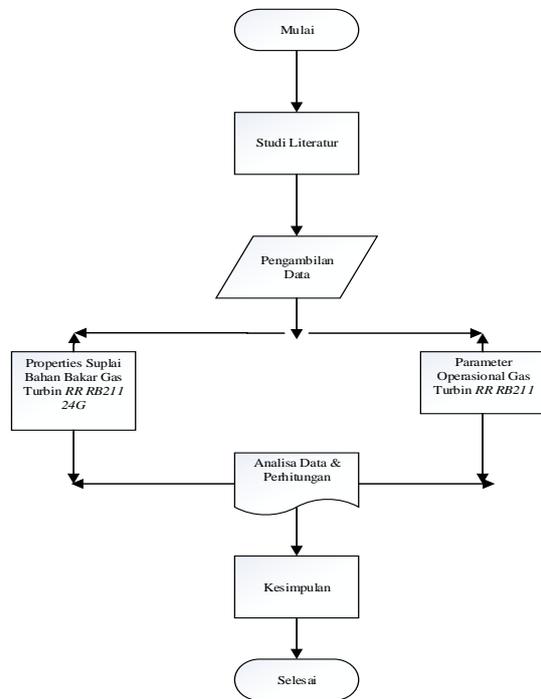
4. Supply natural gas yang dianalisa : Methane (CH_4), Ethane (C_2H_6), dan Propane (C_3H_8).

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pengambilan data penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium dan Main Control Room Belanak FPSO – Conoco Phillips Indonesia, pada kurun waktu mulai

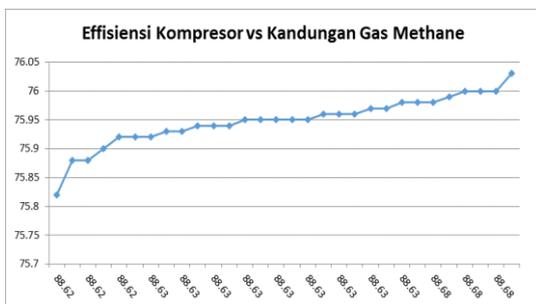
dari tanggal 01 Mei 2013 sampai dengan 30 Mei 2013.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN



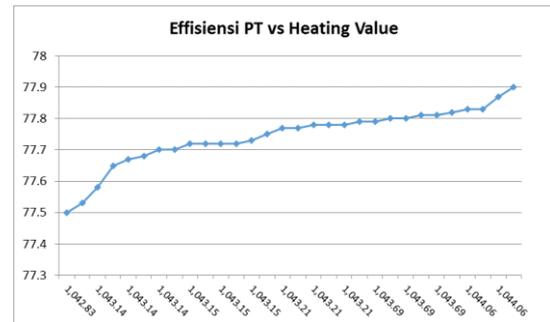
Sumbu y : Efisiensi kompresor (%)

Sumbu x : C₁ content (%)

Gambar 10. Grafik Efisiensi Kompresor Terhadap Kandungan C₁

Terlihat dari grafik di atas, nilai efisiensi kompresor tertinggi terjadi sebesar 76,03% dengan nilai kandungan C₁ sebesar 88,68%. Sedangkan efisiensi kompresor terendah adalah sebesar 75,82% dengan nilai kandungan C₁ sebesar 88,62%.

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar kandungan *gas methane* dalam suplai bahan bakar, maka nilai *heating value* akan meningkat. Sehingga proses pembakaran akan lebih cepat terjadi. Sehingga juga berpengaruh terhadap putaran kerja kompresor yang dihasilkan.



Manufacturing Processes and Materials for Engineers

Sumbu y : Efisiensi *power turbine* (%)

Sumbu x : *Heating value* (BTU)

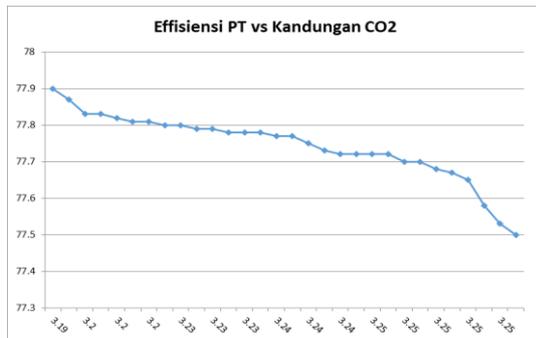
Gambar 11. Grafik Efisiensi *Power Turbine* Terhadap *Heating Value*

Pada grafik di atas, nilai efisiensi *power turbine* apabila dibandingkan dengan nilai *heating value* dari suplai bahan bakar tampak berfluktuatif. Berdasarkan data yang diambil, terlihat bahwa efisiensi *power turbine* tertinggi sebesar 77,90% dengan besaran *heating value* 1.044,06 BTU.

Efisiensi siklus paling rendah yang terjadi adalah sebesar 77,50% dengan nilai *heating value* 1.042,83 BTU. Kesimpulan yang dapat diambil, bahwa nilai *heating value* yang terkandung pada suplai gas alam sangat mempengaruhi terhadap efisiensi gas turbin.

Hal ini disebabkan dengan semakin dekatnya *heating value* terhadap angka idealnya, maka proses pembakaran gas di

dalam *combustion chamber* dapat terjadi secara sempurna (pada waktu dan temperatur yang tepat). Sehingga, udara enthalpi udara yang digunakan untuk memutar *power turbin* akan sangat optimum.

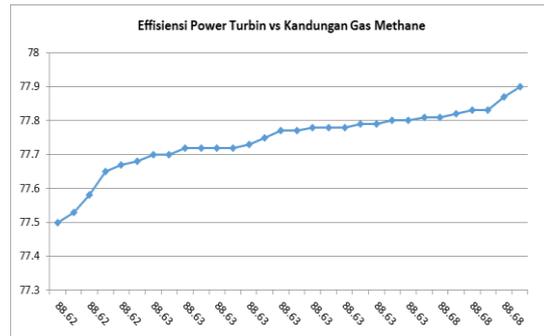


Sumbu y : Efisiensi *power turbin* (%)
 Sumbu x : CO₂ content (%)

Gambar 12. **Grafik Efisiensi *Power Turbin* Terhadap Kandungan CO₂**

Berdasarkan grafik di atas, nilai efisiensi *power turbin* bila dibandingkan dengan kandungan CO₂ dari suplai bahan bakar tampak berfluktuatif. *Trending* data yang diambil selama 30 hari menunjukkan bahwa efisiensi kompresor tertinggi terjadi sebesar 77,90% dengan nilai kandungan CO₂ sebesar 3,19%.

Sedangkan efisiensi kompresor terendah adalah sebesar 77,50% dengan nilai kandungan CO₂ sebesar 3,25%. Hal ini menandakan bahwa besarnya kandungan nilai CO₂ pada suplai gas alam akan mempengaruhi terhadap efisiensi gas turbin. Walaupun tidak terlalu signifikan pengaruhnya, akan tetapi nilai kandungan CO₂ yang tetap dibawah angka 8% akan mampu menambah kesempurnaan proses pembakaran di dalam *combustion chamber*.



Sumbu y : Efisiensi *power turbine* (%)
 Sumbu x : C₁ content (%)

Gambar 13. **Grafik Efisiensi *Power Turbine* Terhadap Kandungan C₁**

Terlihat dari grafik di atas, nilai efisiensi *power turbine* tertinggi terjadi sebesar 77,90% dengan nilai kandungan C₁ sebesar 88,72%. Sedangkan efisiensi *power turbine* terendah adalah sebesar 77,50% dengan nilai kandungan C₁ sebesar 88,62%.

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar kandungan gas methane dalam suplai bahan bakar, maka nilai *heating value* akan meningkat. Sehingga proses pembakaran akan lebih cepat terjadi. Sehingga juga berpengaruh terhadap putaran kerja *power turbin* yang dihasilkan.

SIMPULAN

Dari hasil perhitungan, pengolahan data dan pembahasan sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Properties gas alam yang dihasilkan oleh *wellhead platform Belanak FPSO Conoco Phillips Indonesia* yang dijadikan sebagai suplai bahan bakar gas turbin *RR RB211 24G* secara keseluruhan masih memenuhi standard *properties* yang ditentukan oleh manufaktur.

- Rata-rata nilai aktual *Heating Value* sebesar 1043,41 BTU (standard maksimum 1275 BTU dan nilai standard minimum 1020 BTU).
 - Rata-rata nilai aktual kandungan gas CO₂ sebesar 3,232% (standard maksimum 8%).
 - Rata-rata nilai aktual kandungan gas Methane C₁ sebesar 88,641% (standard minimum 80%).
2. Setiap karakteristik yang dimiliki oleh masing-masing jenis *properties* yang terkandung dalam gas alam yang dijadikan sebagai suplai bahan bakar, memiliki pengaruh berbeda-beda terhadap efisiensi dan performa gas turbin secara keseluruhan.
- Semakin besar nilai *heating value* akan dapat menghasilkan efisiensi turbin yang optimum. Maksimum *heating value* 1.044,06 BTU efisiensi siklus yang dihasilkan sebesar 73,29%.
 - Semakin kecil kandungan gas CO₂ akan dapat menghasilkan pembakaran yang ideal di dalam *combustion chamber*. Minimum CO₂ content 3,19% efisiensi yang dihasilkan sebesar 73,29%.
 - Semakin besar nilai kandungan gas *methane* akan dapat menghasilkan proses pembakaran dalam waktu dan temperatur yang tepat. Maksimum C₁ content 88,72% efisiensi yang dihasilkan sebesar 73,29%.
3. Secara keseluruhan, *properties* gas alam yang dihasilkan oleh *wellhead platform Belanak FPSO Conoco Phillips Indonesia*

yang digunakan sebagai suplai bahan bakar gas mampu menghasilkan tingkat efisiensi yang cukup optimum untuk pengoperasian gas turbin RR RB211 24G secara terus menerus.

- Rata-rata nilai aktual efisiensi siklus selama bulan Mei 2013 adalah sebesar 72,90%.
 - Rata-rata nilai aktual efisiensi kompresor selama bulan Mei 2013 adalah sebesar 75,95%.
 - Rata-rata nilai aktual efisiensi *power turbine* selama bulan Mei 2013 adalah sebesar 77,74%.
4. Disamping keadaan *properties* bahan bakar, kondisi lingkungan juga sangat mempengaruhi kinerja dari suatu gas turbin. Oleh karena itu tingkat kebersihan dan kelembaban (*humidity*) udara yang baik akan menunjang kinerja bagian kompresor pada suatu gas turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto, 2002, **Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi**, ITB, Bandung.
- El-Wakil, M., 1992, **Instalasi Pembangkit Daya**. Alih Bahasa Ir. E. Jasfi, MSc Jilid 1, Jakarta. Erlangga
- Maherwan P, Boyce, **Gas Turbine Engineering Handbook**, Second edition
- Anonimous, 1982, **Rolls Royce Industrial & Marine Gas Turbine Limited**, Rolls Royce Service Bulletin, England
- Anonimous, **Rolls Royce Industrial & Marine Gas Turbine Limited**, RR RB211- DLE GT Training Manual.

