

Studi Komparasi Unjuk Kerja Turbin Gas Centaur 40 dengan Saturn 10

Khairul Muhajir

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak 28, (Komplek Balapan), Yogyakarta
Email: khairul.muhajir@gmail.com

Abstrak

Pengembangan Turbin Gas pada pusat-pusat pembangkit listrik belakangan terkendala oleh suplai bahan bakar, ini merupakan fenomena yang terjadi di lapangan. Kendala tersebut kini sudah direspon oleh jajaran yang berwenang sehingga kendala-kendala tentang suplai bahan bakar kedepan diharapkan akan dapat terantisipasi. Turbin gas menjadi pilihan yang tentunya diperhitungkan untuk instalasi sebuah pusat pembangkit tenaga listrik baik yang berskala kecil, sedang maupun besar. Berdasarkan pemikiran tersebut diatas, maka penelitian turbin gas sebagai penggerak generator listrik adalah baik untuk dijadikan pertimbangan di dalam instalasi pembangkit tenaga listrik. Studi komparasi menganalisa tentang unjuk kerja turbin gas sederhana pada industri perminyakan *upstream*. Studi dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara turbin gas kompresor Centaur 40 split shaft (*dual shaft*) dan turbin gas generator Saturn 10 *single shaft*. Dalam hal perbedaan konstruksi shaft serta penggunaannya sebagai mesin penggerak maka akan berpengaruh terhadap jumlah konsumsi dari bahan bakar gas, daya yang terpakai serta efisiensi dari mesin turbin tersebut.

Metode yang digunakan adalah dengan cara perhitungan berdasarkan termodinamika pada turbin gas. Perhitungan meliputi daya, efisiensi thermal, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) serta laju panas yang terjadi. Hasil dari perhitungan secara teoritis tersebut dibandingkan dengan pembacaan aktual pada grafik pabrika dari Solar turbine, dalam hal ini sebagai pabrik pembuat kedua jenis mesin turbin tersebut. Untuk konsumsi bahan bakar diperhitungkan secara menyeluruh terhadap hasil produksi.

Analisa yang digunakan menggunakan analisa kualitatif dan kuantitatif berdasarkan pengamatan data di lapangan pada saat turbin beroperasi. Proses pembakaran adalah ekivalen dengan proses pemasukan kalor pada siklus Brayton. Jadi, proses pembakaran diharapkan terjadi pada tekanan konstan dan menghasilkan gas pembakaran yang bertemperatur tinggi. Anggapan proses pembakaran tekanan konstan dapat diterima selama bilangan Mach, dari aliran gas didalam ruang bakar cukup rendah. Udara dari kompresor masuk kedalam ruang bakar dan bahan bakar disemprotkan kedalam arus udara sehingga terbakar dengan oksigen. Proses pembakaran terjadi secara kontinu sehingga temperatur gas pembakaran harus dibatasi sesuai dengan kekuatan material yang dipergunakan, terutama material sudu turbin. Hal tersebut perlu dilaksanakan karena kekuatan material akan turun dengan naiknya temperatur.

Hasil analisa dibandingkan secara langsung unjuk kerja dari masing – masing turbin Centaur 40 dan Saturn 10 dalam bentuk grafik. Pemakaian bahan bakar gas untuk mesin turbin Centaur 40 adalah 1274,184 MSCFD atau 0.0024% dari jumlah produksi total gas, sedangkan untuk mesin turbin Saturn 10 membutuhkan 403,272 MSCFD atau 0.00076% dari jumlah produksi total gas.

Keywords: komparasi, unjuk kerja, turbin gas, Centaur 40, Saturn 10.

1. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang Masalah

Pengembangan Turbin Gas pada pusat-pusat pembangkit listrik belakangan terkendala oleh suplai bahan bakar, ini merupakan fenomena yang terjadi di lapangan. Kendala ini kini sudah direspon oleh jajaran yang berwenang sehingga kendala-kendala tentang suplai bahan bakar kedepannya diharapkan akan dapat terantisipasi. Turbin gas menjadi pilihan yang tentunya diperhitungkan untuk instalasi sebuah pusat pembangkit tenaga listrik baik yang berskala kecil, sedang maupun besar. Berdasarkan pemikiran tersebut diatas, maka penelitian turbin gas sebagai penggerak generator listrik adalah baik untuk dijadikan pertimbangan di dalam instalasi pembangkit tenaga listrik. Untuk itu peneliti ingin merencanakan sebuah penelitian turbin gas yang digunakan sebagai penggerak generator listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik.

b. Permasalahan

Dalam penelitian hanya menekankan pada unjuk kerja turbin gas penggerak generator listrik. Untuk memudahkan dalam perencanaan dengan berbagai analisis dan pertimbangan, disamping itu juga untuk menghindari kemungkinan adanya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi akibat perencanaan komponen-komponen dari turbin gas. Maka permasalahan yang dapat dirumuskan meliputi :

- 1). Analisis termodinamika turbin gas
- 2). Pengaruh kapasitas bahan bakar terhadap unjuk kerja turbin gas
- 3). Perbandingan unjuk kerja turbin Centaur 40 dan Saturn 10

c. Tujuan Penelitian

Penelitian unjuk kerja turbin gas penggerak generator listrik merupakan kebutuhan pusat pembangkit tenaga listrik dan untuk lebih mengarah pada sasaran dalam penelitian ini, penulis merumuskan dalam beberapa pokok, hal ini dimaksudkan agar dalam pencarian data dilapangan lebih efektif dan efisien sehingga mampu menghasilkan data yang lengkap.

Adapun tujuan penelitian adalah untuk :

- 1). Mengembangkan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang turbin gas.
- 2). Mendapatkan gambaran yang jelas mengenai perbandingan unjuk kerja

turbin Centaur 40 dengan Saturn 10 dan permasalahannya.

- 3). Mengembangkan ide rancang bangun pada perckayasaan turbin gas.

d. Tinjauan Pustaka

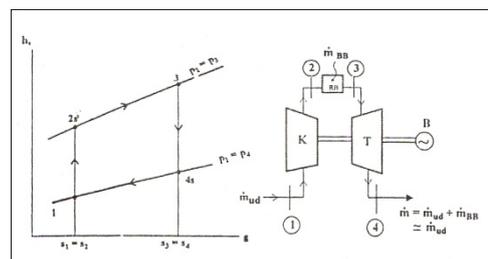
1). Siklus Kerja Turbin Gas

Siklus kerja turbin gas dapat dibedakan atas :

- a) Siklus Terbuka. Turbin gas yang bekerja dengan siklus ini digolongkan sebagai motor pembakaran dalam.
- b) Siklus Tertutup. Karena pada turbin ini fluida kerjanya mendapat panas dari luar (*external heating*) sehingga mesin ini digolongkan motor pembakaran luar.
- c) Siklus Kombinasi. Merupakan kombinasi siklus turbin gas dan turbin uap dimana gas buang turbin gas yang masih tinggi dimanfaatkan untuk memanaskan air menjadi uap dan uap tersebut diekspansikan kedalam turbin uap.

2). Siklus Brayton

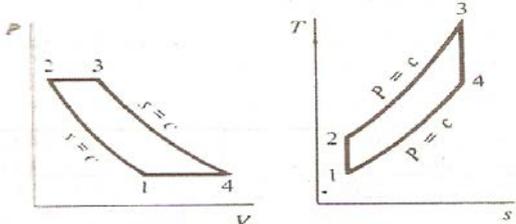
Diagram skematik dari turbin gas standar-udara ditunjukkan pada gambar arah perpindahan energi utama yang terjadi ditunjukkan oleh tanda panah. Sesuai dengan asumsi-asumsi dalam analisis standar udara, naiknya nilai temperatur yang akan dihasilkan oleh roses pembakaran diperoleh melalui proses pembakaran diperoleh melalui perpindahan kalor melalui fluida kerja dari sumber eksternal dan fluida kerja dianggap adalah udara yang memiliki sifat gas ideal. Dengan menggunakan idealisasi standar udara, udara akan dihisap dari lingkungan sekitar kedalam kompresor pada kondisi 1 dan nantinya dikembalikan lagi ke lingkungan pada kondisi 4 dengan kondisi temperatur yang lebih tinggi dari kondisi lingkungan.



Gambar 1. Diagram Entalpi vs Entropi Siklus Ideal Turbin Gas

Sistem turbin gas sederhana dengan siklus terbuka mempergunakan ruang bakar,

sedangkan sistem turbin gas sederhana dengan siklus tertutup mempergunakan alat-alat pemindah kalor, seperti terlihat pada gambar siklus Brayton berikut ini :



Gambar 2. Diagram P-V dan T-S Siklus Brayton Ideal (El-Wakil, 1999 ; 292)

Siklus Brayton ideal terdiri dari proses :

- 1 – 2 Proses kompresi isentropik didalam kompresor.
- 2 – 3 Proses pemasukan kalor pada tekanan konstan didalam ruang bakar atau alat pemindah kalor (pemanas).
- 3 – 4 Proses ekspansi isentropik didalam turbin.
- 4 – 1 Proses pembuangan kalor tekanan konstan dalam alat pemindah kalor (pendingin).

Disamping itu, fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan konstanta kalor C_p yang konstan. Maka dari hukum pertama termodinamika (Arismunandar, 1994; 50) :

$$\delta Q = du + \frac{\delta w}{J} \dots\dots\dots(1)$$

Sehingga kerja yang dihasilkan oleh sistem turbin gas selama satu siklus adalah

$$\frac{\Phi \delta w}{J} = \Phi \delta Q \dots\dots\dots(2)$$

3). Neraca Kalor dan Efisiensi Turbin Gas

Neraca kalor adalah neraca yang menunjukkan perbandingan energi kalor yang dihasilkan dan yang digunakan. Energi kalor yang terjadi dari hasil pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak semuanya dapat menghasilkan daya berguna, namun sebagian dari energi kalor itu hilang akibat kerugian kalor.

Pada turbin gas neraca kalor menunjukan perbandingan antara kalor masuk dan kalor keluar, keberadaan dari neraca kalor erat kaitannya dengan efisiensi sebagai mana disebutkan oleh dalam persamaan (Arismunandar, 1994; 50), sebagai berikut ;

$$\frac{w}{J} = Q_m - Q_k \dots\dots\dots(3)$$

Atau,

$$\frac{w}{J} = q_m - q_k = c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1) \dots\dots\dots(4)$$

$$\eta = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \dots\dots(5)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{(k-1)}}} \dots\dots\dots(6)$$

Jadi, efisiensi siklus Brayton akan naik apabila dapat dipergunakan perbandingan tekanan kompresi $\frac{P_2}{P_1}$ yang lebih tinggi.

4). Daya dalam Sistem Turbin Gas

Dari persamaan energi yang umum untuk proses aliran tunak (*steady*), untuk proses isentropik dan apabila perubahan energi potensial dan energi kinetik antara fluida kerja keluar masuk mesin dapat diabaikan maka,

- a. Untuk kompresor, kerja yang dihasilkan adalah :

$$w_k = -w_{1-2} = J (h_2 - h_1) \dots\dots\dots(7)$$

- b. Untuk turbin, kerja yang dihasilkan adalah

(Arismunandar,1997 ;52),

$$w_t = -w_{3-4} = J (h_3 - h_4) \dots\dots\dots(8)$$

Dengan demikian, maka kerja yang dihasilkan oleh sistem turbin gas (siklus Brayton) adalah (Arismunandar,1997 ;52),

$$w = w_t - w_k = J c_p (T_3 - T_2) - J c_p (T_4 - T_1) \dots\dots\dots(9)$$

Sedangkan energi kalor yang dimasukkan kedalam sistem turbin gas (siklus rayton) adalah,

$$q_m = c_p (T_3 - T_2)$$

Sehingga efisiensi siklus Brayton adalah (Arismunandar,1997 ;53),

$$\eta = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{(k-1)}}} \dots\dots\dots (10)$$

Demikian pula untuk angka

perbandingan tekanan satu, kerja totalnya sama dengan nol. Diantara kedua nilai ekstrem ini ada angka perbandingan tekanan yang optimum, yang menghasilkan kerja total yang maksimum.

Kerja total (*output*) persatuan massa dinyatakan oleh :

$$W = - \left[c_p T_1 \left(r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) + c_p T_3 \left(\frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} - 1 \right) \right]$$

.....(11)

2. METODE.

Untuk dapat mengumpulkan data atau masukan dalam penelitian, digunakan beberapa metode pengumpulan data yaitu :

1). Data Primer

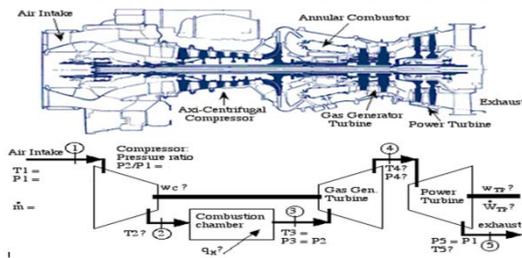
Dengan metode ini peneliti memperoleh data atau masukan secara langsung dari obyek penelitian yang ditulis atau data yang pertama kali ditulis oleh peneliti. Untuk memperoleh data primer penulis menggunakan dua metode yaitu :

a).Metode Observasi

Metode ini adalah metode yang penulis gunakan untuk memperoleh data atau informasi dengan melihat secara langsung pada obyek yang diteliti dan mencatat secara sistematis terhadap gejala atau proses yang terjadi.

b).Metode Wawancara

Metode ini adalah metode pengumpulan data atau informasi melalui tanya jawab dengan



Gambar 3 Skema Turbin Gas (Sumber : Martin, 2010)

semua pihak yang dapat memberikan keterangan dengan jelas tentang turbin gas penggerak generator listrik untuk membantu dalam penyelesaian laporan penelitian.

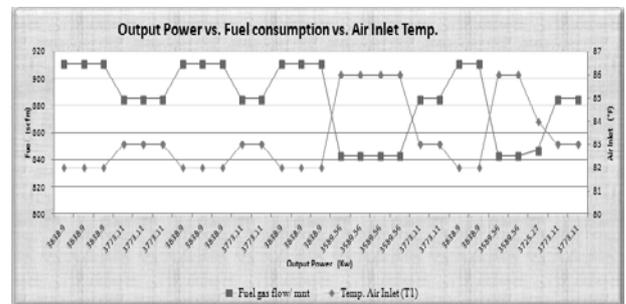
Data Sekunder

Data Sekunder adalah data atau informasi yang penulis dapat secara tidak langsung, yaitu studi literatur, dengan cara mempelajari buku-buku literatur dan juga mempelajari dokumen serta keterangan yang didapat dari instansi yang bersangkutan dan mencatat secara sistematis terhadap gejala yang terjadi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data eksperimen diperoleh secara langsung pada saat penelitian dilaksanakan yaitu pada tanggal 09 Juli sampai dengan 04 Agustus 2011 di lokasi serang platform, Balikpapan, Kalimantan Timur. Dari data serta perhitungan yang diperoleh diharapkan dapat diketahui secara pasti unjuk kerja aktual dari masing-masing tipe mesin turbin gas.

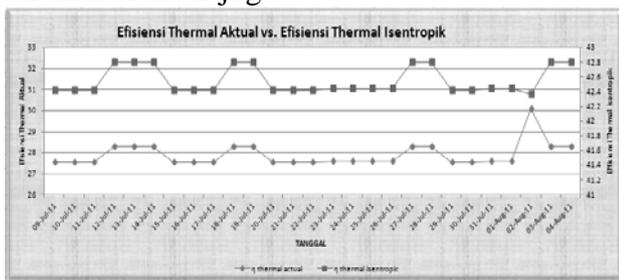
Untuk menganalisa daya output dari mesin turbin gas Centaur 40 dapat diketahui dari data hasil *monitoring* temperature udara masuk (T1). T1 sangat berpengaruh terhadap *output power* dari mesin. Ketika T1 menurun, dan dengan semua faktor-faktor lainnya tetap konstan, maka pemadatan udara akan meningkat dan akan menghasilkan *mass flow* yang lebih tinggi kedalam turbin, atau akan menghasilkan energi output yang lebih tinggi. Sedangkan ketika T1 meningkat maka akan berpengaruh sebaliknya.



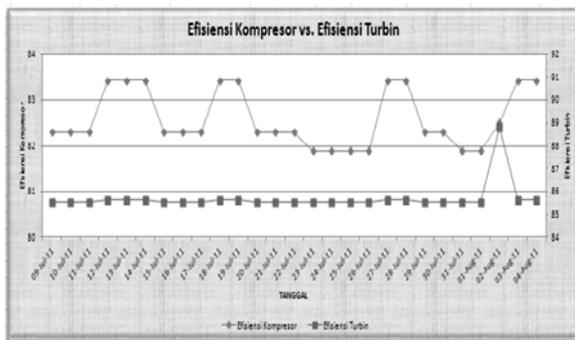
Gambar 4. Grafik *Output Power vs. Fuel Consumption vs. Air Inlet Temperature.*

Dari hasil analisa data tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa temperatur udara masuk (T1) sangat berpengaruh terhadap *Output*

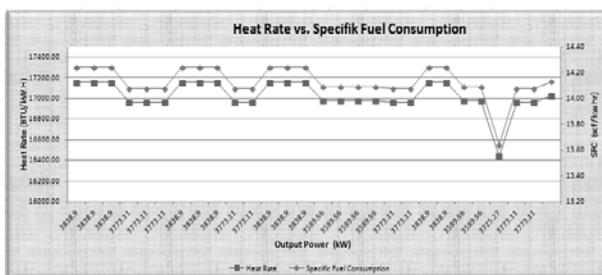
Power dari Mesin. Ketika T1 menurun, dan dengan semua faktor-faktor lainnya tetap konstan, maka pemadatan udara akan meningkat dan akan menghasilkan *mass flow* yang lebih tinggi kedalam turbin, atau akan menghasilkan energi *output* yang lebih tinggi. Sedangkan ketika T1 meningkat maka akan berpengaruh sebaliknya. Pada umumnya, T1 adalah sama dengan suhu di lingkungan sekitar, kecuali terdapat pendingin atau pemanas pada *air inlet system*. Sehingga bila T1 naik hal ini akan menaikkan tekanan pada sisi Pressure Compressor Discharge (PCD), dan mesin gas turbin akan menyesuaikan dengan sendirinya dalam hal pengaturan kapasitas bahan bakar yang akan disuplai ke ruang bakar untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna yang artinya daya keluaran dari mesin turbin akan bertambah besar juga.



Gambar 5. Grafik Efisiensi Thermal Aktual vs. Efisiensi Thermal Isentropik.

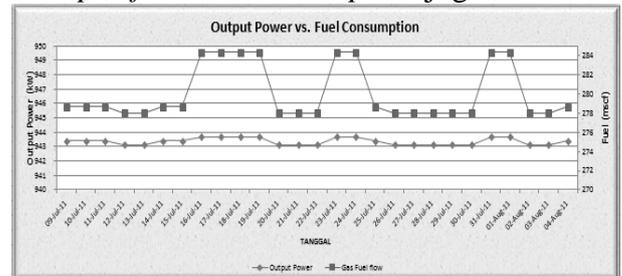


Gambar 6. Grafik Efisiensi Kompresor dan Efisiensi Turbin.



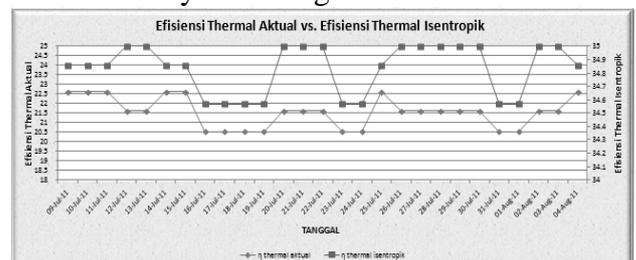
Gambar 7. Grafik *Heat Rate vs. Specific Fuel Consumption*.

Dari data diatas dapat ditarik suatu analisa dalam bentuk grafik, bahwa hubungan antara *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan heat rate berbanding dengan *power output* yang dihasilkan oleh turbin. Semakin besar daya yang dihasilkan maka *Heat Rate* dan *Specific Fuel Consumption* juga akan naik.

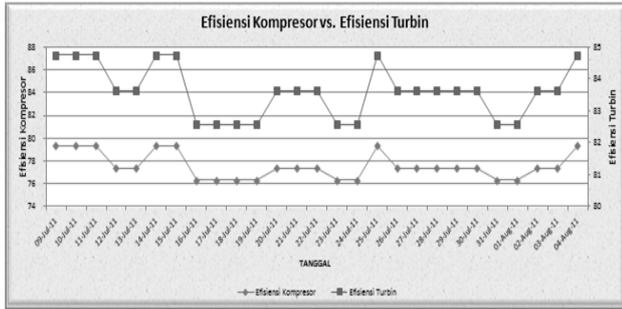


Gambar 8. Grafik *Output Power vs. Fuel Consumption*.

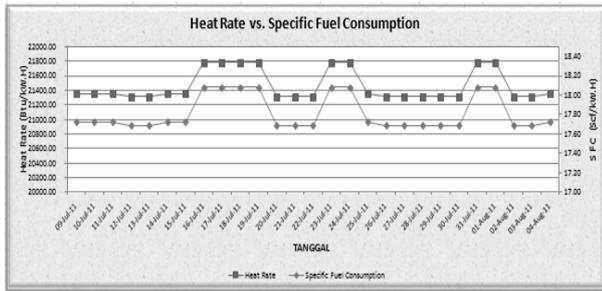
Dari hasil analisa data tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa jumlah konsumsi bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sangat berpengaruh terhadap *Output Power* dari Mesin. Dimana untuk aplikasi penggunaan Turbin Kompresor Generator set yang dibutuhkan adalah power outputnya dijaga agar selalu konstant (tetap). Bila daya keluaran dari mesin turbin akan bertambah besar karena pengaruh suhu udara yang masuk (T1) semakin turun, maka system fuel dari turbotronic akan mengurangi suplai konsumsi bahan bakar begitu juga berlaku kondisi sebaliknya. Bila daya keluaran dari mesin turbin akan berkurang karena naiknya temperature udara masuk maka system fuel turbotronic akan menambah suplai bahan bakarnya ke ruang bakar.



Gambar 9. Grafik Efisiensi Thermal Aktual vs. Efisiensi Thermal Isentropik.



Gambar 10. Grafik Efisiensi Kompresor dan Efisiensi Turbin.

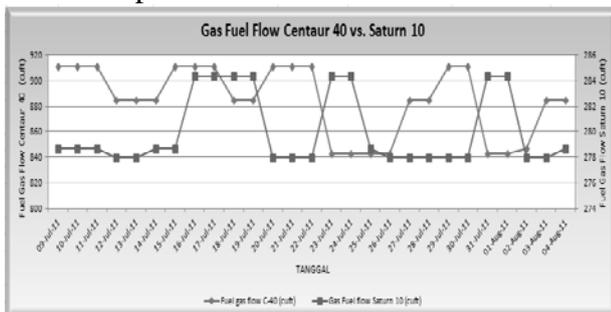


Gambar 11. Grafik Heat Rate vs. Specific Fuel Consumption.

Bahwa hubungan antara *Spesific Fuel Consumption* (SFC) dan heat rate berbanding dengan *power output* yang dihasilkan oleh turbin. Semakin besar daya yang dihasilkan maka *Heat Rate* dan *Specific Fuel Consumption* juga akan naik.

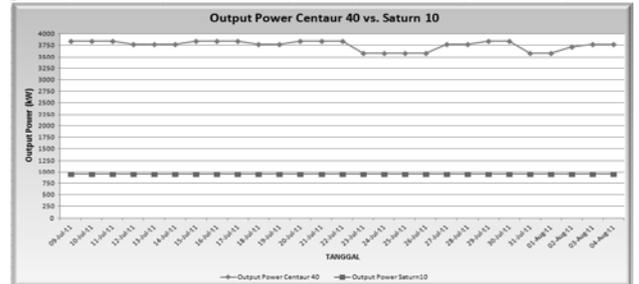
3.3 Perbandingan Karakteristik Centaur 40 dan Saturn 10

Perbandingan fuel gas flow antara Centaur 40 dan Saturn 10 terdapat perbedaan yang cukup besar dimana untuk mesin gas turbin Centaur 40 fluktuasi konsumsi bahan bakar gas lebih teratur seiring dengan berubahnya temperatur udara masuk dan daya yang dihasilkan, sedangkan untuk mesin gas turbin Saturn 10 fluktuasi konsumsi bahan bakar gas lebih tidak teratur karena harus mempertahankan daya keluaran untuk penggerak generator agar putaran dan frekwensi yang dihasilkan dari turbin tetap.



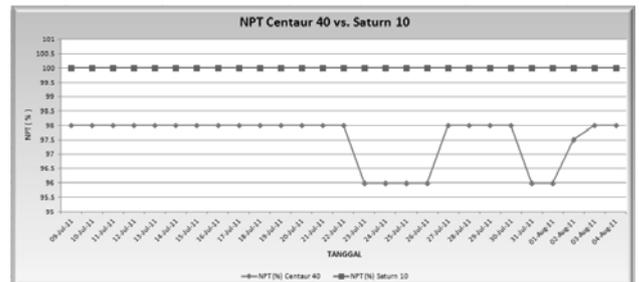
Gambar 12. Grafik Gas Fuel Flow Centaur 40 vs. Saturn 10.

Dalam hal daya yang dihasilkan, bila dilihat dari data maka untuk mesin gas turbin Centaur 40 lebih fluktuatif menyesuaikan dengan beban yang ada dari kompresor booster yang terhubung dengan proses produksi sesuai dengan jumlah gas yang dihasilkan dari sumur – sumur produksi serta perubahan dari temperatur udara masuk, sedangkan untuk mesin gas turbin Saturn 10 daya yang dihasilkan cenderung stabil sebagai penggerak generator.



Gambar 13. Grafik Output Power Centaur 40 vs. Saturn 10.

Ditinjau dari besaran NPT yang dihasilkan dari grafik dibawah akan terlihat bahwa putaran dari mesin gas turbin Centaur 40 lebih sering mengalami perubahan, sedangkan untuk mesin gas turbin Saturn 10 NPT yang dihasilkan lebih stabil.



Gambar 14. Grafik NPT Centaur 40 vs. NPT Saturn 10.

Proses pembakaran adalah ekivalen dengan proses pemasukan kalor pada siklus Brayton. Jadi, proses pembakaran diharapkan terjadi pada tekanan konstan dan menghasilkan gas pembakaran yang bertemperatur tinggi. Tekanan ruang bakar berkisar antara 2,5÷10 atm. Sedangkan temperatur gas pembakar keluar dari ruang bakar berkisar antara 500–1100⁰C. Untuk membatasi temperatur gas pembakar keluar dari ruang bakar maka sistem turbin gas menggunakan jumlah udara berlebihan.

Perbandingan berat bahan bakar-udara dapat berkisar antara $f = \frac{1}{50} \div \frac{1}{200}$. Jadi, perbandingan berat bahan bakar-udara stoikiometrik untuk proses pembakaran hidrokarbon kira-kira $\frac{1}{14} \div \frac{1}{16}$. Selain dari pada itu, jumlah udara berlebihan tersebut diatas diperlukan untuk menyempurnakan proses pembakaran dalam waktu yang sangat singkat, mendinginkan bagian-bagian ruang bakar dan mengusahakan distribusi temperatur gas pembakaran keluar ruang bakar yang homogen. Hal tersebut terakhir ini perlu diperhatikan agar suhu turbin tidak dikenai tegangan thermal yang terlalu besar.

4. KESIMPULAN

1. Temperatur udara masuk sangat berpengaruh terhadap *output power* dari mesin. Ketika temperature udara masuk menurun, dan dengan semua faktor-faktor lainnya tetap konstan, maka pemadatan udara akan meningkat dan akan menghasilkan *mass flow* yang lebih tinggi kedalam turbin, atau akan menghasilkan energi output yang lebih tinggi.
2. Kapasitas bahan bakar berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh mesin turbin, semakin besar pemakaian bahan bakar maka semakin besar pula daya yang dihasilkan.
3. Pemakaian bahan bakar gas untuk mesin turbin Centaur 40 adalah 1274,184 MSCFD atau 0.0024% dari jumlah produksi total gas, sedangkan untuk mesin turbin Saturn 10 membutuhkan 403,272 MSCFD atau 0.00076% dari jumlah produksi total gas.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, W., 1988,
Penggerak Mula Turbin, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
Bathie, William, 1995,
Fundamental Of Gas Turbines, 2nd Edition,
John Willey & Sons Inc, New York.
Cengel, Yunus A. & Boles, Michael A., 1989,

Thermodynamics An Engineering Approach, Mc Graw Hill Book Company, New York

Cohen, H, G.F.C, Roger, H.I.H, Sravanamoto, 1989, *Gas Turbin Theory*, 3th Edition, Jhon Willey and Sons, New York.

Dietzel, Fritz., 1988, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Alih bahasa, Sriyono, Dakso, Erlangga, Jakarta.

El-Wakil, M-M., 1992, *Instalasi Pembangkit Daya*, Alih bahasa Jasjfi, Erlangga, Jakarta.

Maido Saarl., 1977, *Steam and Gas Turbines For Marine Propulsion*, Naval Institute Press Annapolis, Maryland.

Marsudi, Djiteng., 2005, *Pembangkit Energi Listrik*, Erlangga, Jakarta.

Moran, Michael J dan Howard, N Shapiro., 2004, *Termodinamika Teknik*, Alih bahasa, Nugroho, Yulianto Sistyo, Erlangga, Jakarta.

Muin, Syamsir A. 1988, *Pesawat-Pesawat Konversi Energi 1*, Edisi Pertama, CV.Rajawali, Jakarta.

Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati., 2006, *"Mesin Konversi Energi"* Andi, Yogyakarta.

Stodola A. 1955, *Steam and Gas Turbines*, Volume 1, Mc Geaw Hill Book Company Inc, New York.