

ANALISIS PENGARUH OFFLINE WASHING KOMPRESOR DAN TURBIN TERHADAP KINERJA TURBIN GAS GT 2.3 Di PT X TANJUNG PRIOK

Indra Widarmadi

Program Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta
iwidarmadi@yahoo.com

Abstrak

Di Indonesia kebutuhan daya listrik meningkat setiap tahunnya, hal ini diakibatkan kebijakan pemerintah dalam penyediaan daya listrik yang ingin menjangkau seluruh daerah. Dalam merespon perubahan kebutuhan listrik, maka terjadi perubahan pada jumlah suplai bahan bakar, jumlah suplai udara pembakaran, serta kinerja dan efisiensi dari pembangkit. Pengaruh dari kegiatan *overhaul* menyebabkan but terjadinya perbedaan performa atau kinerja pada tiap unit turbin meskipun beroperasi dengan beban yang sama. Kinerja yang berbeda pada setiap unit turbin dapat berdampak pada perbandingan biaya produksi dan efisiensi dari pembangkit itu sendiri. Pembangkit listrik tenaga gas uap menjadi pilihan utama dalam power industri karena memiliki *efisiensi thermal* cukup tinggi hingga 55% dan cepat dalam proses penyalan awal. Permasalahan yang sering terjadi pada gas turbin berasal dari kompresor. Debu yang masuk dalam kompresor akan menjadi kerak akibat rambatan panas dari *combustor*. Untuk memperbaiki keadaan kompresor dibutuhkan pengecekan keseluruhan (inspeksi) dengan mematikan gas turbin dalam jangka waktu yang cukup panjang. Selain inspeksi, bisa dilakukan penanganan secara *offline washing*. Prosedur *offline washing* yakni menggunakan air yang dicampur dengan bahan kimia disemprotkan melalui *nozzle* ke turbin yang berputar di 20-30% dari putaran operasi normal. *Offline washing* mampu mengembalikan performa mesin yang hilang akibat kotoran dan kerak. Selain mampu memperbaiki performa, *offline washing* mampu mengurangi konsumsi bahan bakar dalam durasi cukup panjang. Untuk mengetahui lebih jauh dampak offline washing dilakukan pengamatan pada beban minimum dari Gas Turbin 2.3 di PT X Tanjung Priok.

Kata kunci : *Offline Washing*, *Gas Turbin*, Efisiensi, kinerja, *Overhaul*

1. PENDAHULUAN

Penambahan jumlah manusia yang berakibat pada penambahan tempat tinggal penduduk merupakan salah satu pemicu kenaikan besarnya permintaan akan listrik yang tersebar di seluruh wilayah. Untuk mencukupi permintaan kebutuhan tersebut, pemerintah Indonesia melakukan program pembangkitan listrik 35000 MW. Pembangunan ini tidak hanya untuk Pembangkitan Listrik Tenaga Uap (PLTU) namun juga Pembangkitan Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Nilai efisiensi pada PLTG ini akan berkurang jika tidak dilakukan perawatan yang maksimal secara berkala. Salah satu bagian yang rentan terjadi kerak dan berdebu dari PLTG yakni kompresor. Kerak dan kotoran tersebut akan mengurangi performa dan nilai efisiensi sehingga dibutuhkan treatment khusus untuk mencegah hal tersebut yakni dengan *offline washing* yang merupakan suatu proses pembersihan menggunakan air yang dicampur dengan bahan kimia disemprotkan melalui nosel ke

turbin yang berputar di rpm 20-30% dari putaran operasi normal.

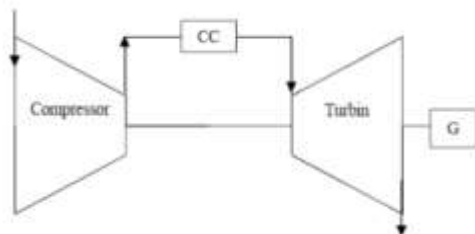


Gambar 1. Turbin Gas GT 2.3 (1)
(Sumber: FARR Company & ABB, 1992)

Prinsip kerja turbin gas yakni udara bertekanan tinggi dirubah menjadi energi mekanik yang akan menggerakkan sudu dan poros generator yang tersambung dengan turbin. Akibat perputaran poros, energi mekanik akan dikonversikan menjadi energi listrik di generator. 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.

GT 2.3 merupakan turbin gas siklus terbuka dimana fluida kerja (udara) dikompresikan dari udara bebas, kemudian mengalami proses pembakaran di ruang bakar, berekspansi di Turbin dan akhirnya keluar lagi ke udara bebas walaupun terbentuk gas sisa pembakaran atau dengan kata lain sistem ini terbuka terhadap udara bebas. Berikut adalah skema siklus terbuka:



Gambar 2. Blok Diagram Turbin siklus terbuka (Sumber: Moran, Michael J. & Shapiro, Howard N. *Fundamental of engineering*, 2006) (2)

Udara melalui kompresor dihisap dan dikompresi hingga tekanan tertentu lalu disalurkan. Dalam sistem udara bakar terdapat sistem pengambilan udara, udara yang diambil adalah bersih guna mencegah *fauling* yang akan menyebabkan penurunan daya keluaran, kerusakan mesin dan *malfunctions*. Pada kompresor ABB GT 2.3 jumlah udara yang masuk berada dikisaran 403 m³/s. Pada saat *start-up* dan *shut-down*, udara masuk ke *bleed valve* baris ke 4,8 dan 12 pada kompresor. Ini berfungsi untuk membuang sebagian udara kompresi ke udara bebas selama proses *start up* dan *shut down*. Hal ini untuk mencegah *rotating stall* (aliran terputus-putus di sepanjang sudu kompresor dimana bersamaan itu pula timbulnya tegangan kelelahan/stress pada sudu kompresor) yang menyebabkan kerusakan atau kegagalan pada kompresor.



Gambar 3. Photo sudu kompresor (3) (Sumber: *Performance Test Codes 10. Compressors and Exhausters. An American national standard*, 1997) (3)

Sistim pembakaran pada GT 2.3 sering

menggunakan bahan bakar berupa gas. Sistem bahan bakar gas telah terintegrasi ke dalam sistem proteksi pembangkit secara keseluruhan dengan demikian katup *trip* akan segera menghentikan aliran bahan bakar ke *burner* bila terjadi suatu hal yang *emergency*.



Gambar 4. Tampilan POS (Program Auto Start) Sistem bahan bakar pada GT 2.3 (sumber : Penelitian)

Dalam perhitungan gas harus diketahui terlebih dahulu berat molekul dan nilai Cp. Dari berat gas tersebut maka bisa ditentukan nilai massa jenis gas yang di dalam ASME PTC 22 [4] dinyatakan dengan:

$$\rho_{fb} = \frac{MW_{gas} \times P_{standar}}{Z_{fuel} \times R \times T_{fuel}} \quad (1.1)$$

Dimana

ρ_{fb} = Massa jenis bahan bakar (lb/ft³)

MW_{gas} = Molecular Weight gas

$P_{standar}$ = Pressure standar gas (kPa)

Z_{fuel} = Faktor kompresi bahan bakar

R = Konstanta gas (J/mol^oK)

T_{fuel} = Temperature bahan bakar gas (°K)

Setelah mengetahui nilai massa jenis gas bisa ditentukan laju aliran massa gas.

$$\dot{m}_{bahanbakar} = \text{Flowrate}_{bahanbakar} \times \rho_{fb} \quad (1.2)$$

Dimana

$\dot{m}_{bahanbakar}$ = Massa bahan bakar (kg/s)

$\text{Flowrate}_{bahanbakar}$ = Kecepatan fluida bahan bakar gas (Nm³/h)

ρ_{fb} = Massa jenis bahan bakar (lb/ft³)

Setelah mengetahui massa bahan bakar maka bisa ditentukan nilai Air Fuel Ratio (AFR). Air fuel ratio adalah perbandingan udara dengan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Bahan bakar tidak dapat terbakar tanpa adanya udara. Bahan bakar atau natural gas yang dipakai dalam pembakaran sesuai

dengan ketentuan karena jika terlalu banyak tidak bisa meningkatkan tenaga yang dihasilkan dan jika terlalu sedikit maka udara bisa memadamkan nyala api (5).

$$W_{\text{netto}} + \text{Losses} = (\dot{m}_{\text{udara}} + \dot{m}_{\text{fb}}) \times (h_3 - h_4) - \dot{m}_{\text{udara}} \times (h_2 - h_1) \dots (1.3)$$

Dimana :

W_{netto} = Daya netto (kJ/s)

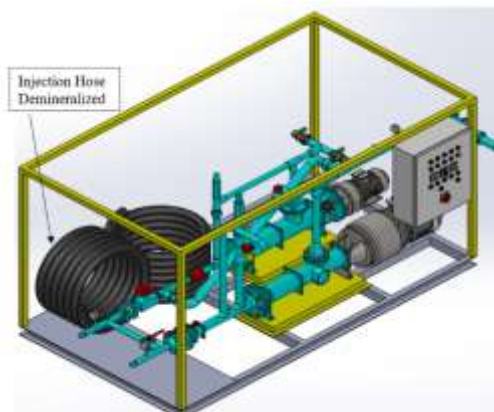
$\dot{m}_{\text{udara}}$ = Massa udara (kg/s)

$\dot{m}_{\text{fb}}$ = Massa bahan bakar (kg/s)

h_i = Heat Transfer (W/m²)

Offline Washing pada gas turbin terjadi dengan kondisi gas turbin sedang tidak beroperasi (*no load*) dan putaran turbin di kisaran rpm 20-30% dari putaran normal. Untuk pelaksanaan *Offline washing* perlu diperhatikan mengenai kondisi katup-katup di dalam Gas Turbin dan beberapa parameter antara lain:

1. Temperatur *exhaust* harus lebih rendah dari 70°C
2. Function Grup Combustion Chamber Off
3. Fuel supply gas dan liquid Off
4. Blow Off valve closed



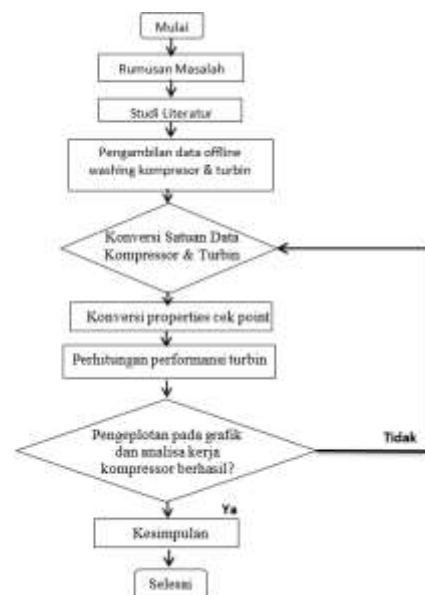
Gambar 5. Gambar *offline washing machine*
(Sumber : Digambar solidwork penelitian)

2. METODOLOGI

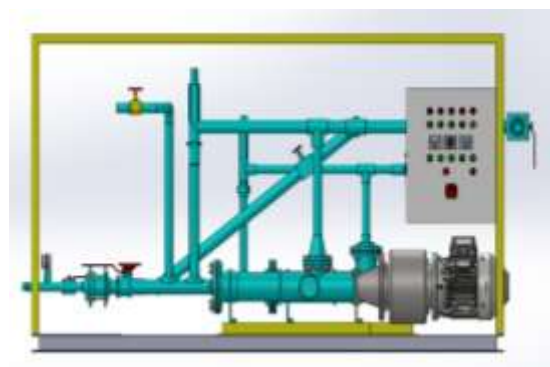
Start Gas Turbine dengan menekan Tombol ON pada panel Control Lokal Wash, poros Turbin akan berputar dan lampu tanda Start akan berkedip cepat, pada waktu putaran turbin mencapai 720 rpm lampu tanda akan berhenti berkedip (lampu menyala penuh). Kemudian tekan Tombol Off, untuk

menurunkan putaran poros turbin. Start Gas Turbine dapat dilakukan dari Modul (koordinasikan dengan Operator dan Pemeliharaan Instrumen Control). Start Injection of Cleaning pada putaran 400 rpm dengan menekan tombol Wash (pada panel Washing Trolley) sehingga Water Pump dan Chemical Cleaner Pump Running. Setting timer 30 –35 detik. Atur aliran Chemical, 40 liter/menit dengan mengatur valve. Ulangi Injection Chemical pada 200 rpm dan 100 rpm. Tunggu selama 30 menit (The Soaking Periode) (6).

Pada gambar 6 ditunjukkan diagram alir proses pengujian



Gambar 6. Diagram alir penelitian
(Sumber : Penelitian)



- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Reset | 10. Offline washing off |
| 2. Flow alarm Pump 1 | 11. Selector manual / auto offline washing |
| 3. Flow Alarm Pump 2 | |
| 4. Motor trip Alarm | |
| 5. Control Voltage | |
| 6. Pump 1 on | |
| 7. Pump 2 on | |
| 8. Offline washing time | |
| 9. Offline washing on | |

Gambar 7. Panel kontrol *Offline Washing*

Dengan tata cara prosedur yang sudah baku didapat data daya (MW) untuk jam berbeda seperti ditunjukkan pada table 1 berikut :

Tabel 1. Data Operasional GT 2.3 waktu tertentu

Parameter	Pagi (08.00)	Siang (12.00)	Malam (19.00)
Daya (MW)	85,5	114,0	84,2
Laju Gas (m ³ /h)	23,7	29,5	23,7
Gas Pressure (bar)	23,9	23,4	23,8
Temperatur Masuk Kompresor (T1 °C)	32,1	35,8	35
Tekanan Masuk Kompresor (P1 atm)	1	1	1
Temperatur Keluar Kompresor (T2 °C)	395	405	390
Tekanan Keluar Kompresor (P2 Bar (G))	9,9	11,5	9,7
Temperatur Masuk Turbin / TIT (T3 °C)	984	1071	994
Temperatur Keluar Turbin / TAT (T4 °C)	506	541	514

(sumber : Penelitian)

Dari data di atas dapat dilihat terjadi penurunan daya dari 85,5,0 MW ke 84,2 MW dengan konsumsi bahan bakar relative sama sebesar 23,7 m³/h dimana komposisi bahan bakar dapat dilihat pada table 2 berikut :

Tabel 2. Komposisi bahan bakar gas GT 2.3

Komponen	Komposisi (%)	Molecular weight	K = (Cp/Cv)	Cp (kJ/kg.K)
Methane	90,0567	16,043	1,3040	2,2200
Ethane	3,3777	30,070	1,1870	1,7500
Propane	1,0652	44,097	1,1300	1,6700
Carbon Dioxide	4,4454	44,010	1,2890	0,8440
Nitrogen	0,2805	28,013	1,4000	1,0400
i-butane	0,2731	56,108	1,0940	1,6700
n-butane	0,2537	58,124	1,0950	1,6750
i-pentane	0,1090	72,151	1,0700	0,1600
n-pentane	0,0720	72,151	1,0700	0,1670
Hexanes	0,0662	86,178	1,0600	0,1650

(sumber : Penelitian)

Dengan demikian dilakukan offline washing untuk menaikkan efisiensi daya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan offline washing, kemudian data2 dihitung menggunakan formulasi dalam tabel 3. Formulasi perhitungan mengacu kepada buku "Fundamental of engineering Thermodynamics karangan Michael J. Moran dan Howard N. Saphiro.". Dengan cara yang sama dilakukan beberapa pengambilan data kemudian dihitung dan diperbandingkan.

Tabel 3. Contoh perhitungan efisiensi daya setelah offline washing.

Perhitungan Efisiensi	Rumus	Hasil Perhitungan
State 1 & State 2	$\dot{Q}_1 = \frac{\dot{m}_{air} \cdot h_{air,2} - \dot{m}_{air} \cdot h_{air,1}}{T_2 - T_{amb,2}} + \dot{Q}_{cool,2}$	$\dot{Q}_1$ (kJ/kg) $\dot{Q}_1$ (kJ/kg)
Kompresi isentropic state 2	$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	T_{2s} (°K)
State 3 & State 4	$\dot{Q}_3 = C_p \times T_3$	$\dot{Q}_3$ (kJ/kg) $\dot{Q}_4$ (kJ/kg)
Kompresi isentropic state 4	$T_{4s} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	T_{4s} (°K)
Perhitungan $\dot{Q}_{bahan bakar}$	$\dot{Q}_{bahan bakar} = \text{Flowrate bahan bakar} \times \dot{Q}_{bb}$	$\dot{Q}_{bahan bakar}$ (kg/s)
Perhitungan perbandingan jumlah udara dengan gas	$\dot{Q}_{air} + \text{Loss} = (\dot{Q}_{air,2} + \dot{Q}_{air,3}) + (\dot{Q}_{air,4} - \dot{Q}_{air,1}) + \dot{Q}_{bb,1}$	AIR (Air Fuel Ratio)
Perhitungan $\dot{Q}_{bahan}$	$\dot{Q}_{bahan} = \text{AFR} \times \dot{Q}_{air}$	$\dot{Q}_{bahan}$ (kg/s)
Perhitungan kerja kompresor	$\dot{W}_{kompresor} = \dot{Q}_{bahan} \times (T_2 - T_{2s})$	$\dot{W}_{kompresor}$ (kJ/s)
Perhitungan kerja turbin	$\dot{W}_{turbin} = (\dot{m}_{air,2} + \dot{Q}_{bb,1}) \times (T_3 - T_{4s})$	$\dot{W}_{turbin}$ (kJ/s)
Perhitungan daya netto	$\dot{W}_{netto} = \dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{kompresor}$	$\dot{W}_{netto}$ (kJ/s)
Perhitungan losses	$\text{Losses} = \dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{netto}$	Losses (kJ/s)
Efisiensi isentropic kompresor	$\eta = \frac{T_2 - T_{2s}}{T_2 - T_1} \times 100\%$	η
Efisiensi Thermal	a. HeatInput $\text{HeatInput} = \dot{Q}_{air,2} - \text{CHV} \times \dot{Q}_{air,1}$	HeatInput (kJ/s)
	b. HeatRate $\text{HeatRate} = \frac{\text{HeatInput}}{\text{Power}}$	HeatRate
	c. $\eta_{thermal} = \frac{\dot{W}_{netto}}{\text{Power}} \times 100\%$	$\eta_{thermal}$ (%)
		11,231

Tabel 4. Data sebelum dan sesudah offline washing

Urutan	Satuan	Beban	Washing Offline		
			Sebelum	Sesudah	GAP
Pagi	Efisiensi Thermal	%	29,90	29,92	0,021
	Heat Rate	KJ/kWh	3,3439	3,3415	-0,0024
	Konsumsi Gas	kkal	25,7	24	0,3
	Beban	kWh	85500	86700	1200
Siang	Efisiensi isentropic Kompresor	%	50,167	49,933	-0,234
	Efisiensi Thermal	%	31,93	33,13	1,204
	Heat Rate	KJ/kWh	3,1317	3,0179	-0,1138
	Konsumsi Gas	kkal	29,5	30,4	0,9
Malam	Beban	kWh	114000	122900	8900
	Efisiensi isentropic Kompresor	%	51,454	52,202	0,748
	Efisiensi Thermal	%	29,44	30,211	0,791
	Heat Rate	KJ/kWh	3,3966	3,3077	-0,0889
	Konsumsi Gas	kkal	23,4	23,9	0,5
	Beban	kWh	84200	85400	1200
	Efisiensi isentropic Kompresor	%	51,6	53,16	1,56

(Sumber : Data Penelitian)

Dari perbandingan di atas diketahui bahwa nilai efisiensi setelah offline washing naik hingga 1 % untuk beban puncak (>120 MW) dan 0,7 % untuk beban rendah (84-88 MW). Meski setelah offline washing konsumsi gas bertambah namun daya hasil produksi bisa mendekati set point yang diharapkan.

Berikut dapat ditampilkan data perbandingan pemakaian bahan bakar, daya terukur, dan efisiensi kompresor turbin .



Gambar 8. Grafik daya terukur terhadap waktu pengambilan data.

Pada kondisi daya (MW) *base load*, nilai efisiensi daya (MW) setelah *offline washing* Gas Turbin bisa kembali mencapai nilai >120 MW naik hingga 1%. Untuk penerapan set point seharusnya dipertahankan dikondisi beban puncak agar mendapat keuntungan yang lebih besar akibat efisiensi yang bertambah. Begitu juga pada beban rendah 84-88 MW naik hingga 0,7% pada saat awal start (GT Online) dan malam hari ini merupakan kondisi yang baik.

Daya (MW) tertinggi terdapat pada siang hari karena kebutuhan daya (MW) jaringan dan konsumen terdapat pada siang hari, karena banyaknya aktifitas maupun produksi pabrik terjadi pada siang hari.



Gambar 9. Grafik Konsumsi bahan bakar terhadap waktu pengambilan sampel data.

Pada kondisi konsumsi bahan bakar meski setelah *offline washing* konsumsi gas bertambah namun daya hasil produksi bisa mendekati setpoint yang diharapkan. Dengan nilai yang didapat konsumsi bahan bakar menunjukkan kenaikan, itu berarti daya serap Gas Turbin bisa mencapai maksimal.



Gambar 10. Grafik efisiensi isentropik kompresor terhadap waktu pengambilan sampel data.

Pada kondisi grafik efisiensi isentropik kompresor didapat bahwa nilai efisiensi isentropik kompresor naik dengan rata-rata 1%. Hal ini berdampak pada kinerja kompresor yang lebih baik atau sedikit terjadinya losses. Losses akibat kotoran dan fouling berkurang akibat *offline washing*.

Efisiensi isentropik kompresor kenaikan tertinggi terdapat pada saat malam hari, dimana temperature keluaran kompresor semakin kecil namun tekanan *discharge* lebih besar. Sehingga kinerja kompresor untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara bekerja dengan baik, begitu juga temperature udara juga meningkat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil perhitungan dan analisa performa efisiensi daya terukur, efisiensi konsumsi bahan bakar dan efisiensi isentropik kompresor GT 2.3, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil setelah *offline washing* terdapat kenaikan efisiensi thermal hingga 1,2% dan kenaikan bahan bakar 0,9 kkal, sehingga GAP efisiensi yang didapat 8 MW sangat signifikan untuk daya terukur pembangkit.
2. Kualitas efisiensi isentropik kompresor pada malam hari sangat baik, setelah dilakukan *offline washing* terjadi kenaikan efisiensi isentropik kompresor sebesar 1,56%. Sehingga kinerja kompresor untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara bekerja dengan baik, begitu juga temperature udara juga meningkat.

3. Cara mengoptimalkan efisiensi thermal yakni melakukan offline washing secara berkala 4-6 bulan sekali dan lebih mengutamakan penggunaan gas turbin dengan beban puncak agar selisih biaya produksi dan biaya gas lebih kecil.
4. Efisiensi konsumsi bahan bakar meski setelah offline washing konsumsi gas bertambah 0,9 kkal namun daya hasil produksi bisa mendekati setpoint yang diharapkan. Dengan nilai yang didapat konsumsi bahan bakar menunjukkan kenaikan, itu berarti daya serap gas turbin bisa mencapai maximal.

DAFTAR PUSTAKA

- Gas Turbine Air intake system data sheet. FARR Company & Asea Brown Boveri (ABB), 1992.
- Moran, Michael J. & Shapiro, Howard N. Fundamental of engineering thermodynamics. John wiley & Sons Inc, 2006.
- ASME. Performance Test Codes 10. Compressors and Exhausters. An American national standard, 1997.
- Beard, P., Smith, A., and Povey, T. "Effect of Combustor Swirl on Transonic High Pressure Turbine Efficiency." ASME J. Turbomach. Vol. 136, no. 1 (2014): p. 011002.
- Boyce, Meherwan P. Gas Turbine Engineering Handbook, Second Edition. Butterworth-Heinemann, 2002.
- ABB Cleaning Instruction Compressor Wet Cleaning.
- ASME Performance Test Codes 22. Gas Turbines. An American national standard, 2014.
- EPRIGEN. "Thermal Performance of the ABB GT24 Gas Turbine in Peaking Service at the Gilbert Station of GPU Energy." EPRIGEN, Palo Alto, CA. 1998.