

Analisis Unjuk Kerja Kompresor Sentrifugal Pada Unit *Flare Gas Recovery* PT. ArunNGL

Teuku Juliadi¹, Ahmad Syuhada², Hamdani²

¹ Fakultas Teknik, Universitas Samudera, Kampus Meurandeh Kota Langsa, Aceh Timur 21495

² Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jln. Tgk. Syech Abdul Rauf. No 7. Banda Aceh 23111

Email: hamdani_umar@yahoo.com

Abstract

PT. Arun NGL has made various efforts to recover losses of energy and water resources during the production process. One of the main focuses for energy conservation is flare gas recovery unit. The flare gas recovery system proposed is skid-mounted type. The primary equipments consists of two compressors that compress the gas from the flare header gas upstream liquid seal drum. The gas is then cooled for reuse in the fuel gas system. The flare gas compressor often experience surge problem due to compressor operating at low flow so that the pressure decreased dramatically while compressor head system stays at high pressure. The compressor plays an important role in generating high-pressure fuel gas. If the compressor is not able to produce enough pressure as required, the production of fuel gas will be disrupted. This analysis focused on the calculation the compressor performance, head, capacity efficiency, and compressor power. Based on the analysis, it is obtained that the flow capacity is 3500 m³/hr, head compressor is 5700 kJ/kg, and the compressor power is 9000 kW. The results show that the operating condition is still within the surge limitation.

Keywords: Job Performance, Centrifugal Compressors, Flare Gas, Surge

1. Pendahuluan

PT. Arun NGL telah melakukan berbagai upaya pemanfaatan kembali (*recovery*) sumber daya energi dan air yang hilang/terbuang selama proses produksi. Program konservasi energi pada beberapa unit produksi dan utilitas dalam rangka *recovery* sumber daya energi dan air yang hilang atau terbuang seperti pada *recovery Marine Boil off Gas (MaBOG)*, dan *recovery Flared and Vented Gas*, telah memberikan penghematan biaya produksi dan pengurangan emisi CO₂ yang signifikan.

Konservasi energi adalah upaya sistematis terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatannya. Efisiensi penggunaan energi memberi banyak keuntungan, diantaranya adalah untuk mengurangi biaya operasional dan biaya produksi. Konservasi energi menjadi penting di Indonesia, dimana aktivitas penggunaan energi pada kebanyakan industri dianggap tidak efisien. Untuk memulai program konservasi energi perlu dilakukan identifikasi terhadap pola pemanfaatan energi melalui kegiatan audit energi.

Kegiatan audit energi adalah kegiatan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pola pemanfaatan energi pada suatu proses, fasilitas atau peralatan pengguna energi dan aspek-aspek yang mempengaruhinya. Kegiatan penghematan energi telah mempunyai landasan yang kuat dengan telah diterbitkannya UU Energi No. 30 Tahun 2007, khususnya Pasal 25 tentang Konservasi Energi dan

Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009, khususnya Pasal 12 dan 13 tentang Konservasi dalam Pemanfaatan Energi. Selain itu kegiatan konservasi energi akan memberikan dampak langsung terhadap penurunan produksi emisi CO₂ yang telah menjadi target pemerintah saat ini.

Salah satu unit yang menjadi sasaran untuk konservasi energi adalah unit *flare gas recovery*. *Flare Gas Recovery System (FGRS)* yang diusulkan adalah paket *skid-mounted*, peralatan utamanya terdiri dari 2 (dua) kompresor yang mengkompresi gas dari *flare gas header upstream liquid seal drum*, dan mendinginkannya untuk digunakan kembali di fuel gas system.

Secara normal gelembung *flare gas* melalui *water seal* dalam *seal drum upstream flare stack*. Level liquid dalam *seal drum* menentukan *positive back pressure* dalam *flare header* dan menjamin bahwa udara tidak masuk atau tertarik ke dalam *flare system*. Untuk penyediaan tekanan *suction* yang lebih baik sementara menghindari masuknya udara ke *suction flare gas compressor*, modifikasi diperlukan untuk menaikkan level air dalam *water seal drum*. FGRS diletakkan pada *downstream knockout drum flare gas* dari berbagai unit dalam *refinery*. Suar gas (*Flare gas*) masuk ke kompresor pada tekanan 1,1 kg/cm² Abs dan 38 °C. Resirkulasi *flow air* proses secara kontinyu masuk kompresor untuk kompresi, *sealing* dan pendinginan gas. Oleh karena itu, gas bertekanan yang dihasilkan dari kompresor gas suar bakar mempunyai pengaruh yang sangat besar untuk menghasilkan bahan bakar gas.

Pada kondisi operasinya, kompresor gas sering terjadi gangguan *surging* dimana kompresor beroperasi pada *flow* yang rendah sehingga tekanan kompresor akan menurun drastis sedangkan *head* sistem mempunyai tekanan yang sangat tinggi. Hal ini mengakibatkan terjadi *backflow* atau aliran balik yang terjadi secara berulang-ulang pada frekuensi yang sangat tinggi, akibat dari fenomena ini maka kompresor beroperasi pada kondisi yang tidak stabil dan menimbulkan getaran yang tinggi. Apabila operasi ini dilanjutkan dan tidak cepat ditindak lanjuti, maka mengakibatkan kerusakan yang sangat fatal pada kompresor, sehingga harus dianalisa maupun diperhitungkan unjuk kerjanya.

Seperti yang diketahui bahwa penyebab *surge* pada kompresor gas suar bakar adalah pembatasan aliran pada sisi *suction* maupun *discharge* kompresor, perubahan kondisi pada temperatur, tekanan atau komposisi gas, penyumbatan kotoran pada aliran kompresor, penurunan kecepatan karena turunnya putaran penggerak. Namun, besar kemungkinan terjadinya *surge* diakibatkan oleh tidak berfungsinya *control valve* dengan baik yang mengakibatkan katup tidak bisa membuka sepenuhnya. Sehingga *flow* yang dihasilkan semakin menurun sampai kompresor tersebut melewati batas stabil kompresor yang akhirnya kompresor beroperasi pada kondisi *surge*.

Kompresor gas suar bakar mempunyai peranan penting didalam menghasilkan fuel gas bertekanan tinggi. Apabila kompresor tidak mampu menghasilkan cukup tekanan sesuai dengan yang dibutuhkan maka produksi fuel gas sebagai bahan bakar turbin gas akan terganggu. Sehingga diharapkan melalui perhitungan unjuk kerja kompresor dapat diketahui *head*, kapasitas, efisiensi dan daya kompresor serta apakah kompresor tersebut masih bisa menghasilkan unjuk kerja yang optimum.

Tujuan dari analisis ini antaranya adalah memahami karakteristik kompresor gas suar bakar, mengevaluasi unjuk kerja dari kompresor gas sintesa dan menganalisa terjadinya *surging* pada kompresor gas sintesa serta pengaruhnya terhadap unjuk kerja kompresor.

1.1 Gas Suar Bakar

Perjanjian praktis antara semua perusahaan pengolahan minyak dan gas adalah menghilangkan semua gas yang tidak diinginkan yang terbebaskan dari kilang pengolahan minyak dan gas. Pelaksanaan perencanaan *no-flare* akan memiliki dampak yang besar dalam mengurangi emisi dari produksi. Dengan meningkatnya kesadaran dari dampak lingkungan dan ratifikasi protokol Kyoto oleh sebagian besar negara-negara anggota, diharapkan pembakaran gas secara bebas tidak akan terjadi lagi.

Hal ini akan membutuhkan perubahan signifikan dalam produksi minyak dan gas dan pengolahan saat

ini [1]. Xu et al., menyelidiki metodologi umum pada minimisasi gas suar untuk pabrik kimia pada saat start-up operasi melalui simulasi *plant wide* dinamis [2]. Zadakbar, mempresentasikan hasil dari dua studi kasus mengurangi, menggunakan kembali gas suar pada unit pengolahan minyak Iran [3].

1.2 Gas Suar Bakar PT. Arun, NGL

Volume *Flare* dan *vented* lebih dari 3MMSCFD dipandang sebagai kesempatan untuk meningkatkan efisiensi thermal kilang dan dapat dijadikan bagian dari upaya konservasi energi perusahaan dengan meminimalkan kerugian kehilangan energi kilang.

Tujuan keberhasilan program konservasi energi *flare* dan *vented* adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh kembali 3 MMSCFD gas *vented* yang dihasilkan dari segel kompresor, kebocoran proses dan akan dimanfaatkan sebagai kebutuhan gas bahan bakar kilang.
2. Memperoleh kembali 10 MMSCFD gas yang akan dibakar di flare yang dihasilkan dari sistem operasional normal seperti *depressurizing activities*, *deriming* kilang, proses pendinginan, *venting* selama *shutdown* atau start up dan *flare* gas lainnya saat plant upset.

1.3 Kompresor Sentrifugal

Unjuk kerja kompresor sentrifugal ditentukan dengan tiga parameter utama yaitu: *Head*, Kapasitas dan Daya. Untuk dapat mengetahui harga masing-masing parameter berdasarkan kondisi operasi, maka digunakan berbagai rumus perhitungan dan proses pendekatan. Kompresor sentrifugal didalam proses kerjanya dapat ditinjau dengan menggunakan dua pendekatan:

1. Proses adiabatik (isentropik), yaitu proses dengan menggunakan asumsi ideal, dimana proses berlangsung pada entropi konstan (tidak ada panas yang masuk dan keluar) meskipun pada kenyataannya energi panas tidak bisa dirubah secara keseluruhan menjadi kerja, karena ada kerugian.
2. Proses Politropik adalah proses kerja aktual yang dihasilkan oleh kompresor itu sendiri.

Head isentropik adalah kerja per satuan massa yang diperlukan oleh kompresor pada proses isentropik, yang ditujukan dalam rumus :

$$H_{isen} = C_p \times T_1 \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right\} \times \left(\frac{K}{K-1} \right)$$

Dimana :

.....(1)

$$C_p = \frac{53,35}{56} \times Z \times \left(\frac{K}{K-1} \right) \quad \text{atau} \quad C_p = \frac{1545}{MW} \times Z \times \left(\frac{K}{K-1} \right) \dots (2)$$

Untuk mencari harga eksponen politropik (n) digunakan persamaan:

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)}{\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)} \dots (3)$$

Dimana :

T1 = Temperaturpadasisi suction

T2 = Temperaturpadasisi discharge.

P1 = Tekananpadasisi suction.

P2 = Tekananpadasisi discharge.

Proses kompresi dalam kompresor dapat diasumsikan berlangsung secara isentropic, dimana gas masuk pada suhu dan tekanan tertentu (P1 dan T1), sehingga diperoleh harga entropi masuk (S1). Pada proses isentropic dimana S1 = S2-1, dapat ditentukan suhu gas keluar kompresor yaitu T2-1 sedangkan pada proses aktual gas keluar kompresor pada suhu T2.

Efisiensi politropik dari sebuah kompresor merupakan perbandingan antara head politropik dengan head isentropik. Rumus efisiensi politropik adalah:

$$\eta_{\text{isen}} = \frac{H_{\text{isentropic}}}{H_{\text{polytropic}}} \cdot \eta_{\text{poly}} = \frac{ZRT_1 \cdot \frac{k}{k-1} \left[r_p^{(K-1)/K} - 1 \right]}{ZRT_1 \cdot \frac{n}{n-1} \left[r_p^{(n-1)/n} - 1 \right]} \cdot \eta_{\text{poly}}$$

$$= \frac{ZRT_1 \cdot \frac{k}{k-1} \left[r_p^{(K-1)/K} - 1 \right]}{ZRT_1 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \eta_{\text{poly}} \left[r_p^{(n-1)/n} - 1 \right]} \cdot \eta_{\text{poly}}$$

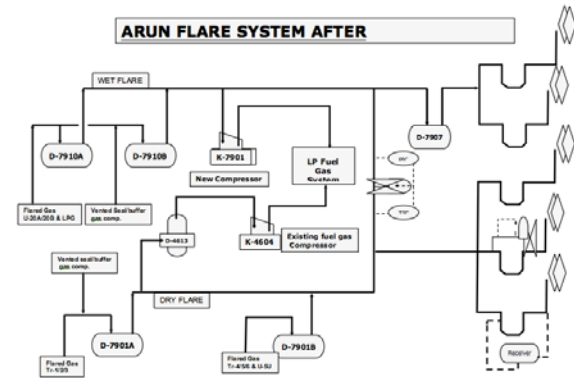
$$= \frac{\left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right\}}{\left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}}$$

... (4)

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada unit amonia PT. Arun, NGL Lhokseumawe. Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap. Tahap pertama diisi dengan pengumpulan literatur mengenai pengembangan model matematis perhitungan kompresor. Tahap kedua dilakukan pengambilan data operasional kompresor yang dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan model matematis yang telah dikembangkan pada tahap pertama.

Peralatan utama penelitian ini adalah kompresor sentrifugal, yang terdapat pada unit suar bakar gas PT. Arun Lhokseumawe.



Gambar 1 Diagram proses unit gas suar bakar PT Arun, NGL setelah modifikasi

Pengambilan data operasional kompresor dilakukan dalam rentang waktu 2 jam selama 10 hari. Kemudian dilanjutkan dengan analisa ketepatan data hasil pengamatan dengan menerapkan analisa statistik untuk menentukan beda terkecil dari nilai rata-rata. Data yang dianggap terbaik akan digunakan sebagai data input untuk pemodelan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan yang dilakukan selama pelaksanaan penelitian diperoleh data bahwa selama tahun 2010 sampai dengan tahun 2012, kapasitas flare gas yang *directcovery* rata-rata berkisar pada 2500 s/d 3200 m³/hr, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. *Recovery flare gas* dilakukan dengan menambahkan kompresor sentrifugal, dengan data design sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2

3.1 Analisis Unjuk Kerja Kompresor

Berdasarkan data pengamatan terlihat adanya variasi kapasitas aliran flare yang *directcovery*, hal ini tentu akan mempengaruhi unjuk kerja dari kompresor tersebut. Analisis unjuk kerja yang dilakukan pada penelitian ini meliputi : Head, Daya, dan Efisiensi kompresor. Head kompresor ditentukan dari :

$$H_p = Z_{\text{avg}} \cdot \bar{R}_{\text{aktual}} \cdot T_{\text{in}} \cdot \frac{n}{n-1} \left(r_{\text{total}}^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \dots (5)$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh Head kompresor sebesar 5700kJ/Kg.

Dengan demikian daya dapat ditentukan berdasarkan persamaan 6, sebesar 9000 kW

$$\text{Daya} = \text{massa aliran} \times \text{Head} \dots (6)$$

Tabel 1 Kapasitas flare gas recovery tahun 2010 s/d tahun 2012

	Flare Gas recovery (MMSCF)		
	Tahun		
	2010	2011	2012
Jan	68.71	91.00	103.63
Peb	59.90	68.00	83.46
Mar	89.00	50.00	105.99
Apr	73.07	44.00	91.46
May	53.14	95.00	109.14
Jun	40.00	108.00	92.08
Jul	44.00	92.00	92.08
Agt	41.00	80.00	94.12
Sep	42.00	77.00	90.00
Oct	43.00	47.00	102.20
Nov	45.00	78.00	101.10
Dec	54.00	102.00	100.50

Sumber : PT. Arun NGL

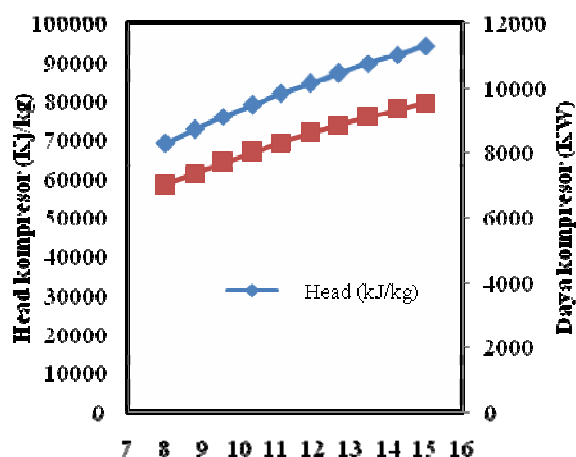
Tabel 2 Spesifikasi Teknik Kompresor Flare Gas

Design	Besar	Satuan
Tekanan masuk (abs)	0,984	Bar
Tekanan keluar (abs)	6,065	Bar
Temperatur masuk	27,2	oC
Temperatur Keluar	177	oC
Kapasitas Aliran	3.947	M3/hr
Mol. Weight	27,218	Kg/kmol
Gas constant	305,475	kJ/kg K

Analisis dilakukan dengan memvariasikan volume laju aliran, temperatur flare masuk kompresor dan perbandingan tekanan. Hasil perhitungan untuk kondisi perbandingan tekanan yang berbeda pada temperatur masuk dan massa aliran yang konstan diberikan dalam Gambar 2.

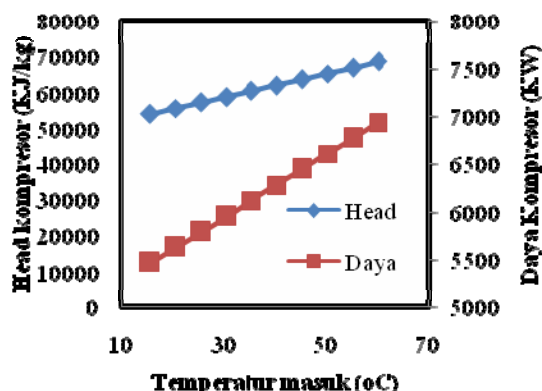
Dari Gambar 2 terlihat bahwa head dan daya kompresor meningkat seiring dengan meningkatnya perbandingan tekanan kompresor. Analisis ini dilakukan pada kondisi temperatur gas masuk kompresor konstan. Hasil perhitungan untuk kondisi temperatur masuk yang berbeda pada perbandingan tekanan dan massa aliran yang konstan diberikan dalam Gambar 3.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa daya kompresor akan meningkat dengan cepat sebanding dengan meningkatnya temperatur masuk flare gas ke kompresor, sedangkan head meningkat dengan lambat. Hal ini juga diakibatkan adanya perubahan komposisi berat gas akibat perubahan temperatur yang mempengaruhi berat mol gas.



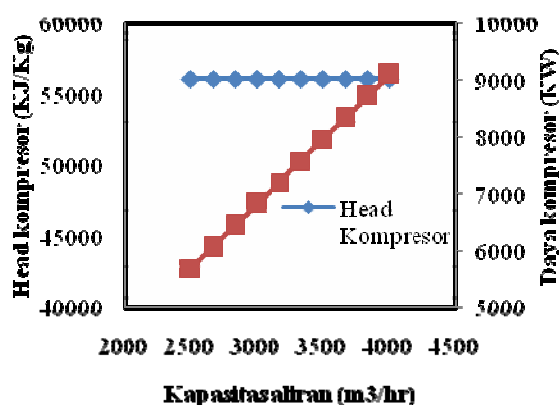
Perbandingan Tekanan

Gambar 2 Pengaruh perubahan perbandingan tekanan terhadap unjuk kerja



Temperatur masuk (oC)

Gambar 3 Pengaruh perubahan temperatur masuk terhadap unjuk kerja kompresor



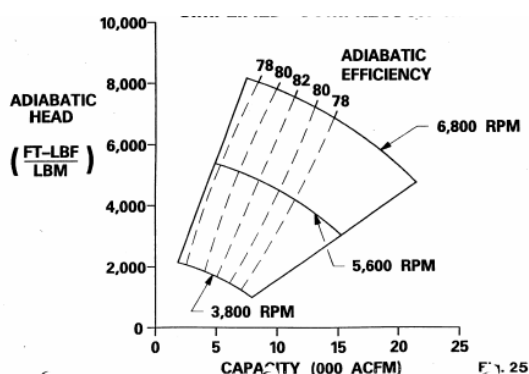
Kapasitas aliran (m3/hr)

Gambar 4 Perubahan kapasitas aliran terhadap unjuk kerja kompresor

Hasil perhitungan untuk kondisi laju aliran gas masuk yang berbeda pada perbandingan tekanan dan massa aliran yang konstan diberikan dalam Gambar 4. Dari gambar terlihat bahwa perubahan laju aliran massa tidak mempengaruhi head dari kompresor, hal ini disebabkan perubahan laju massa tidak

mengakibatkan perubahan perbandingan tekanan dari kompresor. Dari hasil analisis ini juga dapat disimpulkan bahwa kompresor sensitif terhadap perubahan temperatur gas masuk. Hal ini perlu mendapat perhatian pada pengoperasian kompresor.

Perbandingan analisis unjuk kerja berdasarkan data kondisi operasi kompresor terhadap unjuk kerja hasil design, yang nantinya dibandingkan dengan grafik unjuk kerja kompresor yang diperoleh dari PT. Arun, LNG sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Performan kompresor berdasarkan design

Berdasarkan hasil analisis diperoleh pada kapasitas aliran $3500 \text{ m}^3/\text{hr}$, head kompresor 5700 Kj/kg . Data ini kemudian diplot kedalam grafik unjuk kerja. Sehingga berdasarkan perbandingan antara grafik unjuk kerja yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa kompresor belum melewati batas kondisi batas unjuk kerja surge.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data operasional unit produksi dan penerapan manajemen pengurangan emisi gas rumah kaca di PT. Arun NGL, pada kapasitas aliran gas suar bakar $3500 \text{ m}^3/\text{hr}$, diperoleh head kompresor 5700 Kj/kg , dan daya kompresor sebesar 9000 kW .

Daftar Pustaka

- [1] Bjorndalen, N., Mustafiz, S., Rahman, M.H., Islam, M.R., 2005. No-flare design: converting waste to value addition. *Energy Sources* 27, 37.
- [2] Xu, Q., Yang, X., Liu, C., Li, K., H Lou, H., L Gossage, J., 2009. Chemical plant flare minimization via plantwide dynamic simulation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48, 3505-3512.
- [3] Zadakbar, O., Vatani, A., Karimpour, K., 2008. Flare gas recovery in oil and gas refineries. *Oil Gas Sci. Technol. e Rev. IFP* 63, 705-711.

[4] Brown, R.N., 2005. *Compressors: Selection and Sizing*, third ed. Elsevier Science & Technology Books.

[5] Lapina, Ronald P. *Estimating Centrifugal Compressor Performance*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1982.

[6] Philip P. Walsh, Paul Fletcher, *Gas Turbine Performance*, 2nd edition, Blackwell Science (2004)

[7] Siemens Power Generation - Automation Systems Combined Cycle Power Facility, www.siemens.com, as accessed 5.7.2010