

## Evaluasi Kinerja *Turboexpander (KE -5601)* Berdasarkan Kondisi Minimum Feed Di Unit 56 LPG Plant PT Perta Arun Gas

Zuraihan<sup>1,2\*</sup>, Ridwan<sup>3</sup>, Suryani<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe  
24301 Lhokseumawe, Aceh, Indonesia  
<sup>2</sup>PT Perta Arun Gas

\*Koresponden email: [zuraihan88@gmail.com](mailto:zuraihan88@gmail.com)

### ABSTRACT

A turboexpander is an escrow and compressor connected in a process. The turboexpander rotates at high speed by utilizing gas expansion in the expander and gas compression in the compressor. The compressor-expander consists of wheels at each end that are gassed. The gas flow at high speed will rotate the shaft connected to the end of the compressor part. The purpose of this paper is to calculate the efficiency of equipment that is able to maximize the separation process between methane and ethane, and simulate flow and pressure variations to see changes in efficiency. The method used is to take the measured output value from the tool in the form of flow rate, pressure and temperature. Based on the calculation results obtained  $\eta=77\%$ , HpExpander=2619.40 Horsepower, shaft speed=5220.76 rpm, and QLoss=22%.

Keywords— Turboexpander, turboexpander expansion, minimum feed, power, shaft

### I. PENDAHULUAN

Feed gas yang berasal dari point-A pada PT Perta Arun Gas setiap hari mengalami penurunan kuantitas. Oleh karena itu, diperlukan sumber gas baru (sementara ini dari NSO). Tetapi gas yang berasal dari sumber baru tersebut berkondisi (tekanan) dan berkompposisi (banyak mengandung H<sub>2</sub>S) tidak sama dengan gas umpan yang berasal dari point-A [1].

Sehingga diperlukan unit-26 yang berfungsi untuk menyesuaikan kondisi (tekanan) dan menaikkan suhu gas umpan yang berasal dari NSO plant, agar dapat dicampurkan dengan gas umpan yang berasal dari point-A, dan juga diperlukan unit-5U untuk menangkap fraksi berat yang dapat mengganggu proses selanjutnya.

Dalam proses tersebut diatas, feed gas yang siap diolah untuk keperluan gas proses masih mengandung komponen-komponen etana, propana, butane, dan hidrokarbon berat lainnya yang masih tersisa setelah sistem scrubbing di Unit-4X [2]. Komponen-komponen ini dapat merusak kualitas/spesifikasi produk LNG C2 dan C3 dimanfaatkan sebagai pasokan komponen-komponen di sistem MCR, Unit-4X. MCR adalah fluida refrigerant yang terdiri dari N<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> dan C<sub>3</sub> [3].

Dengan demikian, diperlukan suatu alat yang berguna untuk menurunkan suhu gas alam untuk memaksimalkan proses separasi C<sub>1</sub> dengan C<sub>2+</sub>. Proses separasi itu sendiri prinsip utamanya adalah untuk mengkondisikan gas bumi sehingga berada pada kesetimbangan fasa gas-cair. Dimana gas bumi itu sendiri mengandung berbagai jenis hidrokarbon selain dari C<sub>1</sub>, yaitu C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> dan C<sub>5+</sub> [4]. Gas yang mengandung fasa liquid biasanya mengandung hidrokarbon yang lebih berat dibandingkan fasa uapnya cenderung mengandung senyawa hidrokarbon yang lebih ringan.

Untuk proses separasi yang diinginkan, perlu dilakukan pencapaian kondisi kesetimbangan, dimana kondisi kesetimbangan pada proses ini adalah hidrokarbon berat yang terdapat didalam gas bumi menjadi uap cair, sehingga gas bumi harus didinginkan sampai suhu tertentu pada tekanan tertentu. Beberapa jenis proses yang dapat digunakan untuk mengolah gas bumi sehingga diperoleh produk yang

diinginkan salah satunya adalah menggunakan alat turboexpander [5].

Akan tetapi dalam perjalanan proses separasi ini dengan kondisi minimum feed untuk kinerja alat turboexpander tidak lagi mampu mencapai efisiensi yang diinginkan, padahal bisa saja performa yang dimiliki masih dalam batas terbaiknya. Dengan demikian untuk mengetahui pencapaian terbaik dari alat turboexpander maka dibutuhkan peningkatan beberapa variable, seperti tekanan dan laju alir. Namun demikian hal itu tidak dapat dilakukan mengingat kondisi plant yang saat ini tidak lagi mampu menghasilkan kapasitas feed gas yang besar.

Sehingga proses perubahan feed dengan kondisi-kondisi tertentu hanya bisa dilakukan dengan proses simulasi untuk bisa memastikan apakah turboexpander tersebut akan bisa mencapai pada performa terbaiknya atau tidak, dengan menggunakan data design dan data actual di lapangan sebagai dasar perhitungan.

Kajian ini dilakukan mengingat jumlah gas umpan sekarang dalam kondisi minimum feed, tetapi desain alatnya masih dalam porsi feed gas yang besar. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kondisi optimal yang bisa dicapai pada kondisi flow dan tekanan yang bisa divariasikan. Oleh karena itu, alat tersebut sangat menarik untuk ditinjau, disebabkan fungsi dari komponen ini sangat berpengaruh dalam menghasilkan feed gas yang banyak mengandung C<sub>1</sub>.

Pada analisa ini akan dibahas mengenai bagaimana proses penurunan tekanan yang terjadi pada turboexpander, bagaimana mengubah/menggunakan energi potensial gas menjadi energi perputaran pada turboexpander, berapa efisiensi isentropik aktual dari turboexpander berdasarkan variasi nilai flow dan tekanan, berapa daya (energi potensial) yang di hasilkan turboexpander berdasarkan variasi nilai flow dan tekanan, bagaimana perhitungan neraca energi pada alat turboexpander.

Adapun tujuan yang ingin dicapai yaitu menjelaskan proses yang terjadi pada turboexpander (KE-5601), dapat mengetahui pemanfaatan energi potensial pada turboexpander (KE-5601), dapat membandingkan efisiensi isentropik aktual dengan desain berdasarkan variasi nilai flow dan tekanan, dapat mengetahui berapa daya yang dihasilkan oleh turboexpander untuk memutar poros (shaft) kompresor pada

kondisi minimum feed dan pada kondisi variasi nilai flow dan tekanan, dapat mengetahui nilai neraca energi pada alat turboexpander. Evaluasi kinerja turboexpander KE-5601 di PT. Perta Arun Gas dilakukan dengan perhitungan efisiensi turboexpander, daya yang diperlukan dan kecepatan putaran poros.

## II. METODOLOGI PELAKSANAAN

### 2.1 Data Desain Peralatan

Peralatan turboexpander KE-5601 di buat oleh Rotoflow dengan model 60R, type radial inflow turbine single stage mixed flow dengan impeller diameter 442 mm, 12 aluminium vanes. Fluida yang digunakan yaitu gas alam yang mempunyai komposisi seperti ditunjukkan dalam Tabel 1, dengan tekanan inlet 44,8 kg/cm<sup>2</sup> dan outlet 7,8 kg/cm<sup>2</sup>, temperatur inlet -36,9 °C, temperatur outlet -72,0 °C, laju alir 112,7 kg/s. Shaft Speed 11.020 rpm, tenaga 9.431,64 Horsepower, isentropic efficiency 86%, jenis loading device *expander compressor* (KE-5601) [6]. Data kondisi operasi desain dan aktual gas umpan diperlihatkan dalam Tabel 2. Pengambilan data dilakukan di ruang kontrol dan di laboratorium PT Perta Arun Gas .

Tabel 1. Komposisi gas umpan

No	Komponen	BM	Fraksi mol (x)
1	N <sub>2</sub>	28,02	0.00899
2	CH <sub>4</sub>	16,04	0.92592
3	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	0.04013
4	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,09	0.01055
5	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	0.00618
6	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	0.00818
7	iC <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	72,15	0.00005

(Sumber: Laboratorium PT Perta Arun Gas)

Tabel 2. Data kondisi desain dan aktual gas umpan

Komponen	Desain		Aktual	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Tekanan (kg/cm <sup>2</sup> )	44,8	17,8	39,4	21,2
Temperatur (°C)	-36,9	-72,0	-36,3	-56,8
Laju Alir (kg/s)	112,7		22,1	

Indikator kinerja yang diperhitungkan dalam kajian ini adalah temperatur inlet dan outlet ekspander, tekanan inlet dan outlet expander, laju alir gas umpan (feed gas flow), komposisi gas umpan, daya dan kecepatan putaran expander.

### 2.2 Tahapan Perhitungan Kinerja Peralatan

#### 2.2.1 Alat Pengambilan Data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan

Tabel 3. Data Tekanan Desain dan Aktual

Karakteristik	Desain		Aktual	
Laju Alir (kg/s)	112,7			
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Tekanan (kg/cm <sup>2</sup> )	44,8		17,8	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Temperatur (°C)	-36,9	-72,0		

Tabel 4. Data Variasi Laju Alir dan Tekanan untuk mencapai kondisi optimum

Variasi Persentase laju alir dan tekanan	Variasi laju alir pada temperature yang sama (kg/s)	Variasi Tekanan pada temperature yang sama (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Masuk	Keluar
120% >	135,24	53,76	21,36
110%	123,97	49,28	19,58
80%	90,16	35,84	14,24

#### 2.2.2 Perhitungan Kinerja alat Turboexpander

##### Perhitungan Efisiensi Isentropik Expander ( $\eta_e$ )

Perhitungan efisiensi isentropik expander dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$(\eta_e) = \frac{\Delta H_o}{\Delta H_s} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$\Delta H_o$ = Proses Aktual (Btu/lb)

$\Delta H_s$ = Proses Ideal (Btu/lb)

##### Perhitungan Daya Turboexpander

Perhitungan daya turboexpander dilakukan dengan menggunakan data  $\Delta H_s$  dan ( $\eta_e$ ) yang telah diketahui nilainya, serta laju alir massa gas yang juga di ketahui (m), untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh *expander* dengan persamaan:

$$HP_{EXPANDER} = (778/550) \times \Delta H_s \times m \times \eta_e \dots\dots\dots (2)$$

##### Perhitungan Kecepatan Putaran Aktual Turboexpander

Untuk menghitung kecepatan putaran (*speed*) turboexpander digunakan rumus:

$$N_s = \frac{N\sqrt{ACFS}}{(778 \times \Delta h_s)^{0.75}} \dots\dots\dots (3)$$

##### Perhitungan Neraca Energi

Besarnya panas yang dilepaskan dan panas yang diterima adalah sama. Persamaannya dituliskan sebagai berikut:

$$Q = n \int_{T_{referensi}}^{T_{aktual}} cp \times \Delta T \dots\dots\dots (4)$$

Dimana Q adalah panas yang dilepas atau diterima dalam Btu/jam, n adalah jumlah aliran massa fluida dalam lb/jam, Cp adalah panas jenis fluida dalam Btu/lb °F, dan  $\Delta T$  adalah beda temperatur masuk dan keluar fluida panas dalam °F[9].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Hasil Perhitungan

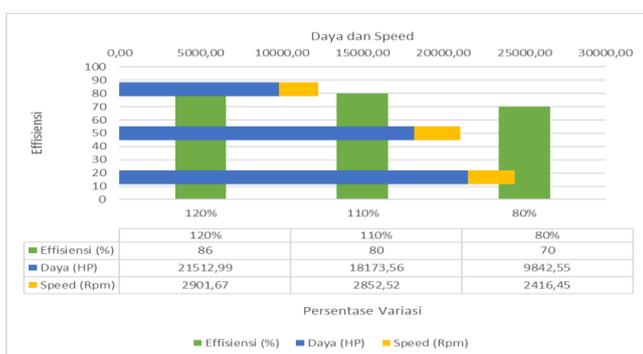
Nilai keluaran pada alat turboexpander dilakukan perhitungan seperti pada tabel dibawah ini. Data penelitian yang dihasilkan di ambnil pada alat kinerja yang ada di plant Petra Arun Gas. Adapun data yang digunakan merupakan parameter pada alat turboexpander yang dianalisa evaluasi kinerja dari alat tersebut.

Tabel 5. Data Variasi Laju Alir Massa dan Tekanan pada temperature yang sama

Tekanan (kg/cm <sup>2</sup> )		Tekanan (atm)		Tekanan (psia)		Flow (Kg/s)	Flow (Kg/Jam)
Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
				779,17	318,44	135,24	486864
53,76	21,36	52,03	20,67				
				715,46	293,13	123,97	446292
49,28	19,58	47,69	18,95				
				524,34	217,19	90,16	324576
35,84	14,24	34,69	13,78				
				574,97	316,16	22,1	79560
39,40	21,20	38,13	20,52				

Tabel 6. Perbandingan nilai efisiensi, daya, dan kecepatan Poros

Variasi Persentase laju alir dan tekanan	Variasi Tekanan pada temperature yang sama (kg/cm <sup>2</sup> )			Hasil simulasi		
	Laju Alir Kg/s	Masuk	Keluar	Efisiensi (%)	Daya (HP)	Speed (Rpm)
120% >	135,24	53,76	21,36	135,24	21512,99	2901,67
110%	123,97	49,28	19,58	123,97	18173,56	2852,52
80%	90,16	35,84	14,24	90,16	9842,55	2416,45
Actual	22,1	39,4	21,2	22,1	2619,40	5220,76



Gambar 1. Perbandingan nilai efisiensi, daya, dan kecepatan Poros

### 3.1 Pembahasan

*Turboexpander* adalah sebuah peralatan berputar yang berfungsi mengubah energi potensial (dalam bentuk tekanan) menjadi usaha perputaran, sehingga terjadi penurunan temperatur sebagai akibat dari penurunan tekanan, dimana antara temperatur dan tekanan berbanding lurus.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari perhitungan, perbandingan data desain dengan data aktual sangat jauh berbeda, disebabkan kondisi cadangan gas yang mulai menipis, dan perhitungan yang dilakukan pun juga berdasarkan kondisi *minimum feed*. Dan dilakukan pula proses simulasi untuk melihat perbandingan dari setiap tekanan dan flow yang diinput. Dimana dari hasil diperoleh, jika tekanan yang diinput semakin tinggi maka efisiensi semakin bertambah akan tetapi daya dan kecepatan putaran semakin menurun. Perbedaan yang signifikan tersebut dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan di atas meliputi efisiensi isentropik, daya dan putaran yang dihasilkan *turboexpander*.

Daya dan putaran yang dihasilkan sangat jauh berbeda disebabkan laju alir gas yang berkurang, karena perhitungan daya dan putaran *turboexpander* sangat bergantung pada laju alir, dimana berdasarkan prinsip Bernouli, pada suatu aliran fluida peningkatan kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut.

Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi dari suatu peralatan bisa ditambahkan booster untuk memaksimalkan kerja *turboexpander* dengan tujuan menambahkan tekanan. Atau jika kondisi flow yang semakin rendah bisa menggunakan JT valve luntuk memaksimalkan proses separasi antara metana dan etana dari pada *turboexpander*, mengingat kondisi gas umpan yang menipis.

Dimana prinsip kerja JT valve sama halnya dengan *turboexpander* yaitu mengekspansikan gas dengan proses penurunan tekanan yang juga menurunkan temperatur. Sehingga bisa menghemat dana penggunaan *lube oil* untuk melumasi *bearing turboexpander*.

Pada perhitungan neraca energi, diperoleh energi yang hilang sebesar 22%. Perhitungan ini dilakukan guna mengetahui berapa energi yang bebas, karena energi bebas inilah yang dipergunakan oleh *turboexpander* untuk memampatkan gas di ujung kompresor. Sehingga tidak ada energi yang hilang, disebabkan proses yang terjadi pada alat *turboexpander* adalah proses adiabatik reversible, tidak ada kalor yang masuk maupun keluar sistem, jadi  $Q = 0$ .

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Efisiensi isentropik *turboexpander* untuk kondisi aktual sebesar 78% dan efisiensi desainnya adalah 86%
2. Daya yang dihasilkan *turboexpander* saat ini adalah sebesar 2619,40 *horsepower*, sedangkan desainnya adalah sebesar 9431,64 *horsepower*.
3. *Shaft speed* (putaran poros) yang dihasilkan adalah sebesar 5220,76 rpm, sedangkan desainnya adalah sebesar 11020 rpm.
4. Energi yang bebas dimanfaatkan untuk memampatkan gas di ujung kompresor sebesar 20 %.
5. Daya, putaran poros, dan efisiensi yang berbeda nilainya dengan desain disebabkan kondisi cadangan gas yang menipis. Sehingga adanya kesinambungan antara laju alir, tekanan, dan temperatur gas umpan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonymous. 1986. "Operating Manual Process IV And LPG Storage And Loading," PT Arun : Lhokseumawe
- [2] Atkins, P.W. 1990. *Physical Chemistry*. University Lecturer and Fellow of Lincoln College: Oxford.
- [3] E. Doubert, Thomas. 1985. *Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw-Hill Chemical Engineering Series : New York.
- [4] Frank G, Kerry. 2007 . *Industrial Gas Handbook : Gas Separation and Purification*. CRC Press.
- [5] Himmelblau, D.M. 1999. *Prinsip-prinsip Dasar dan Kalkulasi Dalam Teknik Kimia*. PT Prenhallindo : Jakarta.
- [6] J. Moran, Michael, Howard N. Shapiro. 1998. *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics 4<sup>th</sup> Edition*. John Wiley & Sons, Inc : New York.