

Analisa Performa Kompresor Sentrifugal C160 R Sebelum dan Setelah Overhaul

Aulia Djasman^{1*}, Rudi Hermawan¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

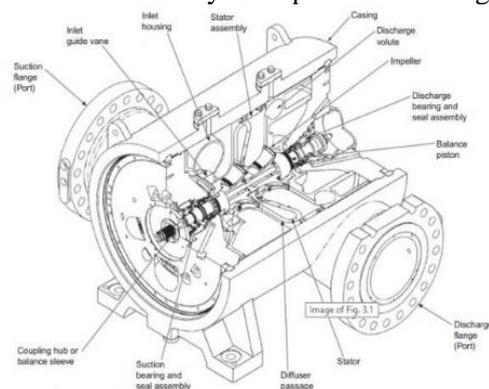
* *Corresponding author*: auliadj@gmail.com

Abstrak. Pada industri-industri besar seperti minyak dan gas bumi serta petrokimia, kompresor sentrifugal adalah salah satu mesin vital yang turut menggerakkan keberlangsungan sebuah *plant*, penulis melakukan kajian terhadap sebuah kompresor sentrifugal C160 R Solar untuk mengetahui performa dari kompresor sentrifugal sebelum dan setelah *overhaul*, dimana kompresor sentrifugal ini diketahui mengalami gangguan kenaikan suhu tinggi pada *inboard and outboard bearing* juga terjadi kenaikan trend vibrasi pada sisi *after side* kompresor secara konsisten pada salah satu dari tiga *tandem* kompresor yaitu IP kompresor, keputusan *overhaul* kemudian diambil untuk melakukan *internal inpection*, penulis melakukan pengumpulan data operasi, membuat statistik, serta melakukan analisa dari data yang sudah dikumpulkan, dalam hasil kajian penulis menemukan *head isentropic* kompresor sebelum *overhaul* adalah 140,76389 kJ/kg dengan *head polytropic* 187,79821 kJ/kg serta kompresor efisiensi 74,9 % sementara itu hasil olah data kompresor setelah *overhaul* adalah *head isentropic* 143,56239 kJ/kg dengan *head polytropic* 157,12193 kJ/kg serta kompresorefisiensi di 91,3 % atau ada kenaikan kompresor efisiensi pada 21,8 %, hasil penelitian penulis juga mendapati kompresor sentrifugal ini sudah beroperasi jauh dibawah *best efficiency point* (BEP) rekomendasi OEM (*Original Equipment Manufacturer*) dikarenakan kondisi produksi operasi yang rendah, hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk melakukan evaluasi kondisi performa dari kompresor sentrifugal dengan membandingkan hasil kajian ini terhadap data dari manufaktur kompresor sentrifugal.

Kata kunci—kompresor sentrifugal, performa kompresor sentrifugal, kompresor sentrifugal C 160 R

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal memiliki kekayaan alam minyak dan gas bumi yang melimpah sejak ratusan tahun yang lalu dan juga pernah menjadi bagian dari kelompok negara penghasil minyak terbesar didunia [1] walaupun dalam beberapa tahun terakhir produksi nasional kita dari minyak dan gas bumi terus mengalami penurunan. Banyak sekali mesin-mesin berteknologi tinggi yang digunakan dalam memproduksi minyak dan gas bumi salah satunya kompresor sentrifugal.



Gambar 1. Kompresor Sentrifugal *Cut View*

Gambar 1 memperlihatkan tipikal kompresor sentrifugal yang banyak ditemukan di lapangan produksi minyak dan gas bumi ataupun industri petrokimia, kompresor sentrifugal adalah salah satu mesin yang sangat vital terkait dengan kegiatan produksi di suatu *plant*, oleh karena itu kegiatan *maintenance* berkelanjutan dan terkontrol menjadi hal yang sangat kritis untuk dipenuhi demi kehandalan kerja dari mesin itu sendiri, kemampuan untuk melakukan analisa performa dari suatu mesin juga merupakan bagian dari proses panjang kegiatan *maintenance* sehingga aktifitas perawatan yang dilakukan terhadap

kompresor sentrifugal akan menjadi lebih efisien dan sesuai sasaran, ada beberapa parameter-parameter operasi umum yang dapat digunakan sebagai *key point* evaluasi performa dari suatu kompresor sentrifugal, menurut penelitian yang dilakukan oleh team *solar turbine* sebagai manufaktur dari kompresor sentrifugal ini terdapat beberapa parameter – parameter utama [2] yang dapat dimonitor dari kompresor sentrifugal yaitu P_1 (Tekanan masuk), T_1 (Suhu Masuk), Gas, Debit Alir, P_2 (Tekanan Keluar) dan T_2 (Suhu keluar), yang kemudian dapat di sempurnakan menjadi 3 parameter utama yaitu:

- a. *Head* mengindikasikan rasio tekanan dan energi
- b. Kompresor Sentrifugal Efisiensi
- c. *Flowrate* atau Debit Aliran (Gas)

dengan menggunakan formula berikut ini kita dapat menghitung nilai [3]:

Head Isentropic (kerja ideal)

$$H_{isen} = \frac{0.287}{SG} \cdot Z_{avg} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] \quad (1)$$

Head polytropic (kerja aktual)

$$H_{poly} = \frac{0.287}{SG} \cdot Z_{avg} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right] \quad (2)$$

Parameter lain seperti debit aliran digunakan untuk mengetahui besaran aliran atau jumlah aliran gas yang terkirim melalui kompresor sentrifugal dimana dalam hal ini kita menggunakan formula berikut:

$$M = 3.483 \cdot \frac{P_1 \cdot SQ \cdot Q_1}{Z_1 \cdot T_1} \quad (3)$$

Dan parameter penting lainnya yang kita gunakan adalah kompresor efisiensi dengan menggunakan formula berikut ini:

$$\eta_{comp} = \frac{\text{kerja ideal}}{\text{kerja aktual}} \quad (4)$$

Dimana:

H_{isen}	= kJ/kg	M	= kg/s
H_{poly}	= kJ/kg	Q_1	= (m^3/s)
0.287	= Konstanta Gas, J/(kg/K)	P_1	= (kPa)
T_1	= Suhu masuk, (K)	T_1	= (K)
P_1	= Tekanan masuk absolut (psia)	SG	= <i>Specific Gravity</i>
P_2	= Tekanan keluar absolut (psia)	Z	= Faktor kompresibilitas gas
k	= <i>Isentropic/adiabatic</i> eksponen, C_p/C_v	η_{comp}	= Efisiensi kompresor
n	= Polytropic eksponen	Z_1	= Faktor kompresibilitas gas rata-rata (tekanan rendah)

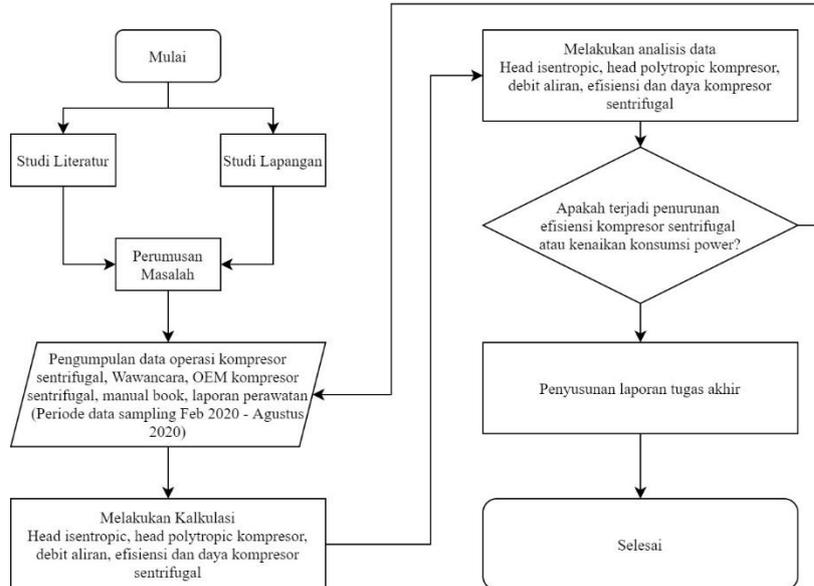
Pada jurnal ini penulis melakukan analisa performa dari sebuah kompresor sentrifugal dengan tandem 3, dimana salah satu kompresor sentrifugal (IP Compressor) mengalami indikasi kenaikan *suhu* pada sisi *inboard* dan *outboard bearing* secara konsisten yang juga diikuti oleh kenaikan trend vibrasi dan oleh team *maintenance* diputuskan untuk dilakukan kegiatan *overhaul*, analisa performa kompresor fokus dengan menggunakan 3 parameter utama operasi yaitu : *head*, kompresor efisiensi, dan *flowrate*, seluruh sampling data operasi seperti gas komponen, *daily gas flowrate*, dan beberapa parameter operasi lain yang telah dikumpulkan dibuatkan data statistiknya dengan menggunakan model data *time series* dan metode *least square*[4].

Fokus dari tulisan ini adalah menghitung performa kompresor sentrifugal menggunakan data dari parameter operasi *head*, kompresor efisiensi dan *flowrate* aktual yang nantinya akan dibandingkan dengan data dari manufaktur berupa *technical datasheet* kompresor sentrifugal sehingga kita bisa memperoleh informasi terkait kondisi performa kompresor sentrifugal yang nantinya dapat digunakan *team operation* ataupun *maintenance* dalam melakukan evaluasi kondisi kompresor sentrifugal yang mereka operasikan.

2. METODOLOGI

Fokus pembahasan pada jurnal ini menitikberatkan untuk menganalisis performa dari sebuah kompresor sentrifugal sebelum dan setelah dilakukan kegiatan *overhaul*, dengan menggunakan data data perhitungan empiris terkait dengan kondisi operasional kompresor sentrifugal yaitu data proses

isentropic dan proses *polytropic* kompresor dan membandingkan dengan data data spesifikasi dari manufaktur kompresor sentrifugal itu sendiri, data data yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari data aktual operasi sebelum kegiatan *overhaul* kompresor sentrifugal di lakukan, langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir

3. METODOLOGI

Hasil Perhitungan Kompresor Sentrifugal Sebelum Overhaul

Data operasional kompresor sentrifugal sebelum Overhaul adalah

- Suhu masuk (T_s) = 80.06 F → 273.15 K
- Suhu keluar (T_d) = 172.90 F → 351.42 K
- Tekanan masuk (P_s) = 170.13 psia (1173.00 kPa)
- Tekanan keluar (P_d) = 500.99 psia (3454.20 kPa)
- Q = 337.76 acfm
- Qstd = 5.425 mmscfd
- SG = 0.666
- k = 1.27
- Z = 0.985

Head isentropic:

$$H_{isen} = \frac{0.287}{SG} \cdot Z_{avg} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right]$$

$$H_{isen} = \frac{0.287}{0.666} \cdot 0.985 \cdot \frac{1.27}{1.27-1} \cdot 273.15 \cdot \left[\left(\frac{500.99}{170.13} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} - 1 \right]$$

$$H_{isen} = 140.7638961 \text{ kJ/kg}$$

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}} = \frac{1}{1 - \frac{\ln\left(\frac{172.90}{80.6}\right)}{\ln\left(\frac{500.9}{170.13}\right)}} = 3.4$$

Head polytropic:

$$H_{poly} = \frac{0.287}{SG} \cdot Z_{avg} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right]$$

$$H_{poly} = \frac{0.287}{0.666} \cdot 0.985 \cdot \frac{3.41}{3.41-1} \cdot 273.15 \cdot \left[\left(\frac{500.99}{170.13} \right)^{\frac{3.41}{3.41-1}} - 1 \right]$$

$$H_{poly} = 187.798210 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi kompresor:

$$\eta_{comp} = \frac{\text{kerja ideal}}{\text{kerja aktual}} = \frac{140.76389}{187.79821} \cdot 100 = 74.9\%$$

Debit aliran kompresor (*flowrate*)

$$M = 3.483 \cdot \frac{P_1 \cdot S \cdot Q_1}{Z_1 \cdot T_1} = 3.483 \cdot \frac{1173 \cdot 0.666 \cdot 0.1593}{0.985 \cdot 273.15} = 1.611 \text{ kg/sec} \rightarrow 337.76 \text{ cfm}$$

Hasil Perhitungan Kompresor Sentrifugal Setelah Overhaul

Data operasional kompresor sentrifugal sebelum Overhaul adalah

- Suhu masuk (T_s) = 70.49 F \rightarrow 294.53 K
- Suhu keluar (T_d) = 206.07 F \rightarrow 369.85 K
- Tekanan masuk (P_s) = 147.26 psia (1015.32 kPa)
- Tekanan keluar (P_d) = 413.73 psia (2852.56 kPa)
- Q = 452.54 acfm
- Qstd = 6.405 mmscfd
- SG = 0.670
- k = 1.27
- Z = 0.985

Head isentropic:

$$H_{isen} = \frac{0.287}{SG} \cdot Z_{avg} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right]$$

$$H_{isen} = \frac{0.287}{0.670} \cdot 0.985 \cdot \frac{1.27}{1.27-1} \cdot 294.53 \cdot \left[\left(\frac{413.73}{147.26} \right)^{\frac{1.27}{1.27-1}} - 1 \right]$$

$$H_{isen} = 143.56239 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai besar eksponen dari n:

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}} = \frac{1}{1 - \frac{\ln\left(\frac{206.07}{70.49}\right)}{\ln\left(\frac{413.73}{147.26}\right)}} = 1.61$$

Head polytropic:

$$H_{poly} = \frac{0.287}{SG} \cdot Z_{avg} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right]$$

$$H_{poly} = \frac{0.287}{0.670} \cdot 0.985 \cdot \frac{1.61}{1.61-1} \cdot 294.53 \cdot \left[\left(\frac{413.73}{147.26} \right)^{\frac{1.61-1}{1.61}} - 1 \right]$$

$$H_{poly} = 157.1219324 \text{ kJ/kg}$$

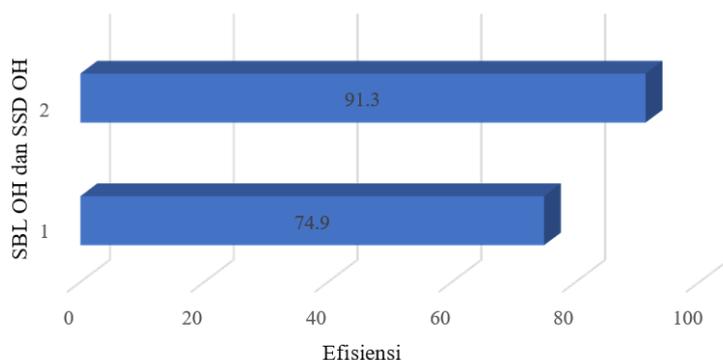
Efisiensi kompresor:

$$\eta_{comp} = \frac{\text{kerja ideal}}{\text{kerja aktual}} = \frac{143.56239}{157.12193} \cdot 100 = 91.3\%$$

Debit aliran kompresor (*flowrate*)

$$M = 3.483 \cdot \frac{P_1 \cdot S \cdot Q_1}{Z_1 \cdot T_1} = 3.483 \cdot \frac{1015 \cdot 0.670 \cdot 0.213}{0.985 \cdot 294.53} = 1.739 \text{ kg/sec} \rightarrow 452.54 \text{ cfm}$$

Efisiensi SBL OH vs SSD



Gambar 3. Efisiensi kompresor sentrifugal sebelum dan setelah *overhaul*

Tabel 1. Komparasi Data Desain dan Hasil Perhitungan Kompresor Sentrifugal[5]

Parameter Operasi	Data Desain	Data Restage IP	Data SBL OH	Data SDH OH
Head Isentropic (kJ/kg)	136.87910	125.145362	140.76389	143.56239
Head Polytropic (kJ/kg)	182.50547	158.411848	187.79821	157.12193
Compressor Efisiensi (η)	75.0	79	74.9	91.3
Daya (HP)	1609.7	1398	344.7	355.84
Daya gas (kW)	1176.3	1022	251.9	260.05
Debit Alir (cfm)	1494.2	1224.3	337.76	452.54
Putaran (rpm)	21872	20036	20036	20036
Suhu Masuk (F)	86.9	86.9	80.06	70.49
Suhu Keluar (F)	255.4	238.4	172.90	206.07
Tekanan Masuk ($psia$)	156.8	190.5	170.13	147.26
Tekanan Keluar ($psia$)	444.31	499.46	500.99	413.73

Analisis Data

Unit kompresor sentrifugal ini, diketahui sudah mengalami *restage impeller* kompresor dikarenakan kebutuhan operasi, sehingga pada tabel dibawah ini penulis mencantumkan data desain awal, kondisi setelah *restage*, dan hasil perhitungan kompresor sentrifugal sebelum dan setelah Overhaul, dikarenakan ketiadaan data screenshot kurva performa kompresor dari panel pada saat sebelum dan setelah Overhaul, maka pembahasan hanya menyandingkan data perhitungan dengan *technical datasheet* dari kompresor sebagaimana tertera pada Tabel 1 dan Gambar 3.

4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan dari kompresor sentrifugal ini mendapatkan fakta bahwa, efisiensi kompresor telah berhasil diperbaiki dari angka sebelum *overhaul* sebesar 74,9 % menjadi 91,3 % setelah *overhaul* atau ada selisih kenaikan sebesar 21,8 % dengan kenaikan debit aliran dari 337,76 acfm menjadi 452,54 acfm atau kenaikan sekitar 33,9 %, namun juga data juga menunjukkan bahwa kompresor sentrifugal ini sudah beroperasi jauh dibawah kapasitas terpasang dari kompresor, berdasarkan catatan produksi harian kompresor sentrifugal pada saat data ini diambil hanya berkisar 36,9 % dari desain *restage* terpasang atau sekitar 6,4 mmscfd, kondisi ini menyebabkan kompresor dioperasikan dengan pola operasi menggunakan sistem *open recycle valve* untuk mengkompensasi kekurangan pasokan gas pada jalur *suction* kompresor, tentunya kondisi operasi ini harus segera diperbaiki dengan menambah pasokan gas atau melakukankajian *restage* kompresor ulang terkait rendahnya produksi gas untuk menghindari kompresor beroperasi secara terus pada *recycle mode* dimana ada potensi kompresor sentrifugal beroperasi mendekati surge margin level (*reversal effect due to surge condition*) [6] hal-hal diatas berpotensi mempercepat keausan bagian bagian kompresor sebagaimana ditemukannya beberapa *parts* disisi *outboard bearing* yang mengalami keausan. [7]

5. REFERENSI

- [1] Skkmigas, "Laporan Tahunan SKKMigas 2019," 2019.
- [2] K. W. / S. T. David Garcia, Avneet Singh, Rainer Kurz, Donghui Zhang and T. P. Matthew Stork, Energy Transfer, "Restage of Centrifugal Gas Compressor for Changing Pipeline Landscapes," 2015, [Online]. Available: www.iagtcommittee.com.
- [3] L. Saphiro, *Performance Formulas for centrifugal Compressor*, 1st Editio. Solar Turbine A CaterpillarCompany, 1997.
- [4] B. U. P. Manurung, "Implementasi Least Square Dalam Untuk Prediksi Penjualan Sepeda Motor (Studi Kasus : Pt . Graha Auto Pratama)," *J. Ris. Komput. (JURIKOM)*, ISSN 2407-389X, vol. 2, no. 6, pp. 21–24, 2015.
- [5] Aulia, "ANALISA PERFORMA KOMPRESOR SENTRIFUGAL C 160 R (444,31 PSIA)," Universitas Pancasila, 2021.
- [6] M. T. Gresh, *Compressor Performance Aerodynamic for user*. Newnes, 2nd Edition, 2001.
- [7] P. Pakarti Tirtoagung, "IP Gas Compressor Overhoule," no. 4, 202