

Pengujian Unjuk Kerja (*Performance*) Kompresor Torak Multi Stage Dengan Tabung Tambahan Pada Saluran Keluaran Pada Silinder Pertama

Ignatius Gunawan widodo¹⁾, Ampala K²⁾, Agus Pramono³⁾ Gutomo⁴⁾ Eni Safriana⁵⁾
¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Semarang
*E-mail: ignatius.gunawan.widodo@polines.ac.id

Abstrak

Dengan berkembangnya teknologi industri 4.0, yang bersumber pada peningkatan efisiensi produksi meliputi efisiensi bidang produksi, material, dan sumber daya manusia. Penggunaan otomatisasi industri dan penggunaan dan modifikasi peralatan-peralatan produksi yang lebih efisien menjadi keharusan. Kompresor merupakan salah satu peralatan penghasil udara bertekanan yang dipakai di semua industri manufaktur, sehingga penggunaan yang lebih efisien sangat diperlukan. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengujian unjuk kerja (*performance*) kompresor torak multi stage dengan modifikasi peralatan tambahan berupa reservoir tambahan pada saluran keluaran dari silinder pertama. Data hasil pengujian diolah untuk menganalisa tingkat efisiensi volumetric dan efisiensi overall pada unjuk kerja kompresor torak multi stage. Metode dalam penelitian ini melakukan pertama melakukan pengujian karakteristik kompresor torak multi stage secara normal pada berbagai putaran, membuat instalasi pipa dan reservoir tambahan dan menambah peralatan control tekanan dan suhu, melakukan pengujian unjuk kerja kompresor torak multi stage yang telah menggunakan reservoir tambahan, menganalisa hasil pengujian dengan membandingkan kedua pengujian. Hasil pengujian kondisi normal dan kondisi pengembangan pada kompresor torak multi stage ini, menunjukkan tidak terjadi perubahan yang signifikan, sehingga tidak direkomendasikan untuk dilakukan modifikasi.

Kata kunci : *modifikasi, pengujian, efisien*

1. PENDAHULUAN

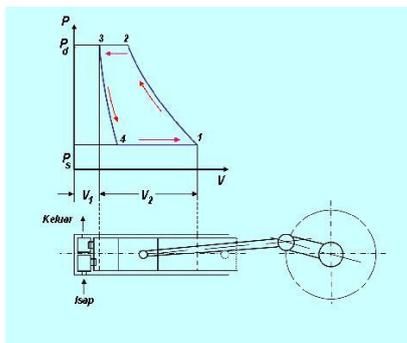
Alat peraga atau media pembelajaran dalam mengajar memegang peranan penting sebagai alat bantu untuk menciptakan proses belajar mengajar yang efektif. Proses belajar mengajar ditandai dengan adanya beberapa unsur antara lain tujuan, bahan, metode dan alat, serta evaluasi [2]. Kompresor torak resiprokal adalah jenis mesin yang dirancang khusus untuk meningkatkan tekanan gas. Difusi besar kompresor reciprocating dan biaya perawatan yang tinggi, bersama dengan meningkatnya permintaan dunia akan efisiensi yang lebih tinggi, memerlukan proses perancangan yang lebih akurat dan terperinci, yang berorientasi baik pada optimasi kinerja dan peningkatan kehandalan. Beberapa alat simulasi bisa diadopsi, sesuai dengan tingkat spesifikasi yang diperlukan untuk analisis dan aspek yang diperlukan (misalnya termodinamika, akustik, dinamis, dll.) [3] Terkait dengan hal tersebut, alat uji kompresor torak sebagai media pembelajaran kompresor torak diharapkan dapat memudahkan mahasiswa dalam memahami mata kuliah teori dan praktik yang berhubungan dengan kompresor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kompresor Resiprokal (*Reciprocating Compressor*) Kompresor resiprokal dikenal juga disebut juga dengan kompresor torak, karena dilengkapi dengan torak yang bekerja bolak-balik atau gerak resiprokal. Siklus kerja kompresor resiprokal ditandai dengan panas, terutama karena proses kompresidan fenomena gesek [4].Pemasukan udara diatur oleh katup masuk dan dihisap oleh torak yang gerakannya menjauhi katup. Pada saat terjadi pengisapan, tekanan udara di dalam silinder mengecil, sehingga udara luar akan masuk ke dalam silinder secara alami. Pada saat gerak kompresi torak bergerak ke titik mati bawah ketitik mati atas, sehingga udara di atas torak bertekanan tinggi, selanjutnya di masukkan ke dalam tabung penyimpanan udara. Tabung penyimpanan (*reservoir*) dilengkapi dengan katup satu arah, sehingga udara yang ada dalam tangki tidak akan kembali ke silinder. Proses tersebut berlangsung terus- menerus hingga diperoleh tekanan udara yang diperlukan. Gerakan mengisap dan mengkompresi ke tabung penampung ini berlangsung secara terus menerus, pada umumnya bila tekanan dalam tabung telah melebihi kapasitas, maka katup pengaman akan terbuka, atau mesin penggerak akan mati secara otomatis [5].

Kompresor Torak Dua Tingkat Kompresor torak bertingkat digunakan untuk menghasilkan tekanan udara yang lebih tinggi. Udara masuk akan dikompresi oleh torak pertama, kemudian didinginkan, selanjutnya dimasukkan dalam silinder kedua untuk dikompresi oleh torak kedua sampai pada tekanan yang diinginkan. Pemampatan 170 (pengompresian) udara tahap kedua lebih besar, temperature udara akan naik selama terjadi kompresi, sehingga perlu mengalami proses pendinginan dengan memasang sistem pendingin. Metode pendinginan yang sering digunakan misalnya dengan sistem udara atau dengan sistem air bersirkulasi.

Prinsip Kerja Kompresor Torak Kompresor merupakan mesin untuk menaikkan tekanan udara dengan cara memampatkan udara dari atmosfer. Secara sederhana prinsip kerja, perubahan tekanan dan volume dalam suatu kompresor torak dapat diuraikan dalam bentuk diagram P-V seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

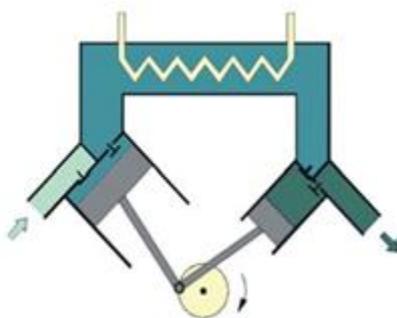


Gambar 2.1. Diagram P-V Kompresor Torak

Torak memulai langkah kompresi pada titik (1), torak bergerak ke kiri dan gas dimampatkan sehingga tekanannya naik ke titik (2). Pada titik ini tekanan di dalam silinder mencapai harga tekanan P_d yang lebih tinggi dari pada tekanan di dalam pipa keluar, sehingga katup keluar pada kepala silinder akan terbuka. Jika torak bergerak terus ke kiri, gas akan didorong keluar silinder pada tekanan tetap sebesar P_d . Dititik (3) torak mencapai titik mati atas, yaitu titik akhir gerakan torak pada langkah kompresi dan pengeluaran [5].

2.1. Kompresor Torak Dua Tingkat Sistem Pendingin Udara

Kompresor udara bertingkat digunakan untuk menghasilkan tekanan udara yang lebih tinggi. Udara masuk akan dikompresi oleh torak pertama, kemudian didinginkan, selanjutnya dimasukkan dalam silinder kedua untuk dikompresi oleh torak kedua sampai pada tekanan yang diinginkan. Pemampatan (pengompresian) udara tahap kedua lebih besar, temperatur udara akan naik selama terjadi kompresi, sehingga perlu mengalami proses pendinginan dengan memasang sistem pendingin. Metode pendinginan yang sering digunakan misalnya dengan sistem udara atau dengan sistem air bersirkulasi. Batas tekanan maksimum untuk jenis kompresor torak resiprokal antara lain, untuk kompresor satu tingkat tekanan hingga 4 bar, sedangkan dua tingkat atau lebih tekanannya hingga 15 bar.



Gambar 2.2. Kompresor Dua Tingkat Sistem Pendingin Udara
(sumber : http://www.academia.edu/8695661/makalah-kompresor_2)



Gambar 2.3. Kompresor torak dengan tiga silinder

Pada lazimnya, kompresor torak banyak jenjang lazim diaplikasikan untuk memampatkan udara demi menempuh tekanan yang cukup tinggi, yaitu sekitar 1000 kgf/cm². Akan melainkan, kompresor torak banyak jenjang ini justru mempunyai laju aliran udara yang cukup rendah. Malah sampai menempuh 5 m³/detik. Kompresor tipe ini berprofesi dengan mengkompresi udara mengaplikasikan sebuah silinder yang mempunyai tekanan rendah. Kemudian berikutnya, udara hal yang demikian akan dikompresikan kembali untuk kedua kalinya melainkan dengan mengaplikasikan silinder yang bertekanan tinggi. Demi menghasilkan taksiran kekuatan yang minimum, pelaksanaan kompresi yang dilaksanakan bahkan akan berlangsung secara isothermis melewati pelaksanaan pendinginan udara tekan yang keluar melewati silinder bertekanan rendah mengaplikasikan sebuah alat pendingin (*intercooler*) untuk menerima temperatur permulaan, sebelum pada alhasil udara tekan hal yang demikian masuk menuju silinder bertekanan tinggi.

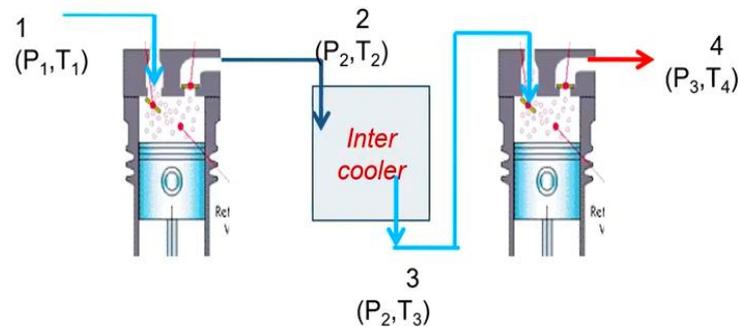
Sementara itu mengaplikasikan kompresor udara tipe torak dengan banyak jenjang ini, karenanya Anda akan menerima banyak profit antara lain :

- 1) Akan menerima 85% efisiensi volumetrik yang lebih baik sekiranya dibandingi dengan kompresor udara tipe lainnya. Mempunyai ini diakibatkan oleh tekanan rendah yang terdapat dalam volume sisa dari sebuah silinder tekanan rendah.
- 2) Mempunyai temperatur mesin yang jauh lebih rendah. Dengan kesanggupan ini akan membikin pelumasan mesin menjadi lebih bagus serta potensi keausan dan keretakan yang lebih rendah.
- 3) Mempunyai pendinginan yang lebih bagus dengna mengaplikasikan pendingin udara serta pendinginan dinding silinder
- 4) Potensi kebocoran yang rendah berkat pelumasan yang berprofesi secara maksimal, serta perbedaan tekanan antara atas dan bawah torak juga lebih kecil.
- 5) Mempunyai berat silinder yang lebih ringan sekiranya dibandingi dengan bermacam kompresor udara lainnya.
- 6) Mempunyai cara keseimbangan mekanis yang lebih baik.

Perhitungan rasio kompresi pertahap untuk mendapatkan kerja kompresi minimum yaitu

$$\frac{P_n}{P_{n-1}} = \left(\frac{P_n}{P_1}\right)^{1/N_s} \text{dimana , } N_s = \text{Jumlah tahap}$$

Pada kompresor bertingkat perbandingna setiap silinder adalah sama ($P_2/P_1=P_3/P_2$) dan pada kompresor torak setiap tahanan dilengkapi dengan pendingin antara (interkuler), sebagaimana pada gambar 2.2. dibawah ini.



Gambar 2.2.gambar siklus pada kompresor dua tingkat.

Udara bebas dengan tekanan atmospir (P_1, T_1) diisap masuk ke silinder tekanan rendah, setelah itu dikompresikan hingga mencapai titik 2 (P_2, T_2) secara politropik. Dari titik 2 udara masuk kedalam intercooler pada tekanan tetap P_2 sehingga temperature turun menjadi T_3 , dan setelah udara keluar dari intercooler masuk kedalam silinder tekanan tinggi dan keluar pada titik 4 dengan tekanan P_3 dan temperatur T_4 .

Sedangkan peningkatan kerja karena kompresi dapat dihitung dengan rumus dibawah ini .

$$T_d = T_s (P_d/P_s)^{(k-1)/k} = T_s R^{(k-1)/k}$$

- T_s Suction temperature °R (K)
- P_s Suction pressure psia (Bar-a)
- P_d Discharge pressure psia (Bar-a)
- R Compression Ratio (P_d/P_s)
- k specific heat ratio of the gas (C_p/C_v).

Sedangkan perhitungan kerja kompresor dua tingkat adalah

Kerja kompresor silinder-1
(Low Pressure)

$$W_1 = \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Kerja kompresor silinder-2
(High Pressure)

$$W_2 = \frac{n}{n-1} P_2 V_2 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Kerja total yang dibutuhkan kompresor per siklus

$$W_C = W_1 + W_2$$

Efisiensi volumetrik adalah perbandingan antara kapasitas yang masuk ke dalam silinder dengan kapasitas perpindahan torak. Efisiensi volumetrik dipengaruhi oleh:

- Clearance silinder.
- Perbandingan tekanan.
- Faktor kompresibilitas.

Untuk kondisi sesungguhnya dimana terjadi losses pada katup masuk dan keluar sebesar 3 %, maka efisiensi volumetrik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Efisiensi volumetrik pada sisi head end

$$VE_{HE} = 97 - r - C_{HE} \times \left[\frac{Z_s}{Z_d} \times \left(r^{\frac{1}{k}} - 1 \right) \right], \%$$

- Efisiensi volumetrik pada sisi crank end

$$VE_{CE} = 97 - r - C_{CE} \times \left[\frac{Z_s}{Z_d} \times \left(r^{\frac{1}{k}} - 1 \right) \right], \%$$

Keterangan:

r = Perbandingan tekanan.

dapat dihitung dengan persamaan:

$$r = \frac{P_d}{P_s}$$

Dimana:

P_s = Tekanan gas masuk (*suction*), Psia.

P_d = Tekanan gas keluar (*discharge*), Psia.

C_{HE} = Clearance (volume sisa) silinder sisi *head end*, %.

C_{CE} = Clearance (volume sisa) silinder sisi *crank end*, %.

k = Eksponen adiabatik, dihitung atau dari grafik.

Untuk gas campuran (*gas mixture*) dihitung dengan persamaan

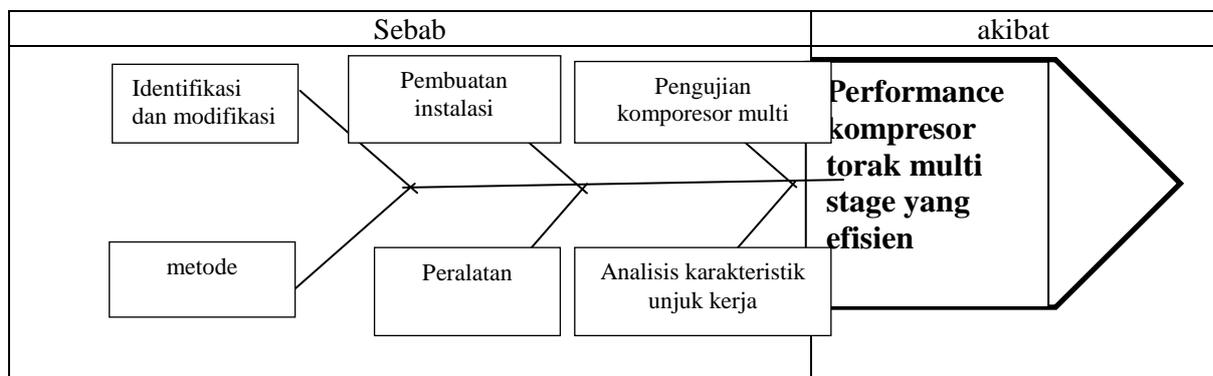
$$k_{mix} = \frac{M_{cp_{mix}}}{M_{cp_{mix}} - 1,99}$$

Dimana:

$C_{p_{mix}}$ = Molal heat specific, BTU/lb mol °R.

3. METODE PENELITIAN

Metodologi dalam penelitian ini mengikuti diagram alir penelitian sebagaimana pada fishbone diagram dibawah ini.



Gambar 3.1 Fishbone diagram penelitian

Dari diagram diatas gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pertama melakukan identifikasi karakteristik yang diperlukan dalam mengevaluasi unjuk kerja kompresor torak multi stage, melalui referensi dan jurnal-jurnal untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam menghitung dan menganalisa unjuk kerja kompresor torak multi stage

Kedua mengidentifikasi kebutuhan komponen modifikasi instalasi kompresor multi stage dengan peralatan reservoir tambahan pada saluran keluaran silinder pertama , reservoir dibuat tiga variasi volume

Ketiga melakukan pengujian pada kondisi kompresor normal dan pengujian kompresor multi stage dengan modifikasi, untuk mendapatkan data kedua kondisi tersebut.

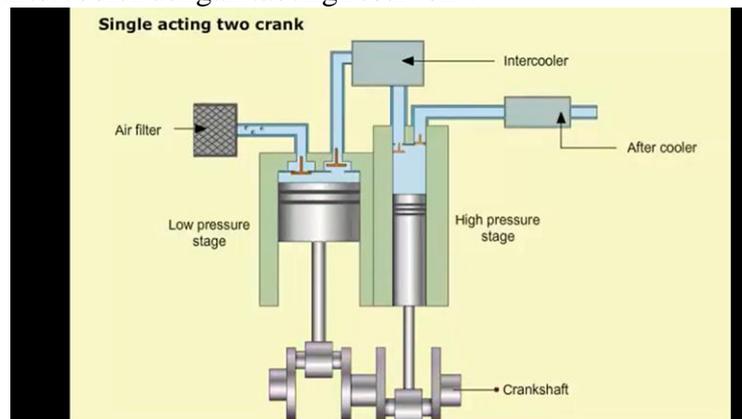
Keempat melakukan analisa data –data hasil pengujian untuk mendapatkan tingkat efisiensi waktu dan daya yang diperlukan pada kedua kondisi.

3.HASIL YANG DICAPAI

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian unjuk kerja kompresor torak dua tingkat pada dua kondisi yaitu :

- 1) Kompresor torak dua tingkat pada kondisi normal tanpa menggunakan tabung reservoir
- 2) Kompresor torak dua tingkat dengan menggunakan tabung reservoir yang dipasang pada saluran keluaran kompresor torak tingkat pertama , kemudian setelah masuk ke dalam tabung dialirkan kembali ke kompresor torak tingkat ke dua.

Pengujian pada dua kondisi seperti pada gambar 4.1.adalah kompresor torak dengan 2 tingkat yang menggunakan intercooler , sedangkan pada kondisi dua dengan memodifikasi intercooler dengan tabung reservoir .



Gambar 3.2. Kondisi normal Kompresor torak 2 tingkat

Pada pengujian kompresor torak dua tingkat pada kondisi normal menunjukkan data-data pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1.

Pengujian unjuk kerja kompresor torak 2 tingkat pada kondisi normal

No.	Putaran (n) rpm	Waktu (t) detik	Efisiensi volumetric (%)	Efisiensi overall (%)
1	1000	210	68,83	2,37
2	1250	183	56	2,63
3	1500	157	25,5	2,89
4	1750	131	38	3,14
5	2000	105	36	3,44

Pada tabel 3.1. tersebut menunjukkan data data menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mendapataka efisiensi volumetric paling tinggi sebesar 68,83% pada putaran 1000 rpm dengan waktu 210 detik , sedangkan efisiensi overalnya sebesar 2,37%.. Untuk putaran 2000

rpm memiliki waktu 105 detik dengan efisiensi volumetric sebesar 36% dengan efisiensi overalnya tertingi sebesar 3,44%.

Pengujian Kompresor torak dua tingkat dengan menggunakan tabung reservoir yang dipasang pada saluran keluaran kompresor torak tingkat pertama , kemudian setelah masuk ke dalam tabung dialirkan kembali ke kompresor torak tingkat ke dua belum dapat dilaksanakan karena kendala dalam instalasinya.

Tabel 3.2.
Pengujian unjuk kerja kompresor torak 2 tingkat pada kondisi modifikasi dengan tabung.

No.	Putaran (n) rpm	Waktu (t) detik	Efisiensi volumetric (%)	Efisiensi overall (%)
1	1000	212	67,3	2,25
2	1250	185	56	2,43
3	1500	158	24,5	2,69
4	1750	131	34	3,04
5	2000	105	36	3,24

Pada tabel 3.2.tersebut menunjukkan data data menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mendapatkan efisiensi volumetric paling tinggi sebesar 67,3% pada putaran 1000 rpm dengan waktu 212 detik , sedangkan efisiensi overalnya sebesar 2,25%. Untuk putaran 2000 rpm memiliki waktu 105 detik dengan efisiensi volumetric sebesar 36% dengan efisiensi overalnya tertingi sebesar 3,24%.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini ternyata tidak terjadi perbedaan yang signifikan hasil pengujian kompresor kondisi normal dan kondisi dilengkapi dengan tabung , selisihnya sangat kecil dan bahkan mengalami penurunan .

Jadi kompresor dua tingkat dengan modifikasi tabung tidak direkomendasikan.

4. KESIMPULAN

1. Pada pengujian kondisi kompresor tidak menggunakan tabung tambahan (normal) menunjukkan data data menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mendapatkan efisiensi volumetric paling tinggi sebesar 68,83% pada putaran 1000 rpm dengan waktu 210 detik , sedangkan efisiensi overalnya sebesar 2,37%.. Untuk putaran 2000 rpm memiliki waktu 105 detik dengan efisiensi volumetric sebesar 36% dengan efisiensi overalnya tertingi sebesar 3,44%.
2. Pada pengujian dengan penambahan tabung menunjukkan data data menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mendapatkan efisiensi volumetric paling tinggi sebesar 67,3% pada putaran 1000 rpm dengan waktu 212 detik , sedangkan

efisiensi overalnya sebesar 2,25%. Untuk putaran 2000 rpm memiliki waktu 105 detik dengan efisiensi volumetric sebesar 36% dengan efisiensi overalnya tertinggi sebesar 3,24%.

3. Hasil penelitian ini ternyata tidak terjadi perbedaan yang signifikan hasil pengujian kompresor kondisi normal dan kondisi dilengkapi dengan tabung , selisihnya sangat kecil dan bahkan mengalami penurunan, sehingga kompresor dua tingkat dengan modifikasi tabung tidak direkomendasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balduzzi, Francesco, et al. (2014). *Reciprocating Compressor Cylinder's Cooling: A Numerical Approach Using CFD With Conjugate Heat Transfer*. Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference. Anaheim, California, USA.
- Stiaccini, Isacco, et al. (2016). *A Reciprocating Compressor Hybrid Model With Acoustic FEM Characterization*. University of Florence. Italy. ScienceDirect- International Journal of Refrigeration 63, pp 171–183.
- Sularso, Takahara, Haruo. (2006). *Pompa dan Kompresor - Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. cetakan kesembilan, Jakarta: PT. Pradaya Paramitha.
- Sularso dan Suga, Kuyokatsu. (2014). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT Praditya Paramita, 2008. [7] Mitsuboshi Belting, Ltd. Design Manual-V-Belt.