

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 PENGERTIAN KOMPRESOR

Kompresor merupakan suatu unit yang dapat memindahkan udara yang bertekanan rendah menjadi bertekanan lebih tinggi, selama perpindahan ini udara dimampatkan. Udara yang mampat yang dihasilkan oleh kompresor ini menghisap udara bebas bertekanan satu atmosfer hingga tekanan kerja yang diinginkan. Dalam hal ini kompresor bekerja sebagai penguat (*booster*). Udara mampat ini biasanya tidak langsung digunakan, melainkan kadang-kadang dialirkan melalui satu saluran sampai ke tempat pemakaian, dapat juga disimpan ke tempat tangki penyimpanan udara terlebih dahulu, baru kemudian dari tangki tersebut dialirkan ke unit-unit yang membutuhkan udara mampat.

2.2 KLASIFIKASI KOMPRESOR

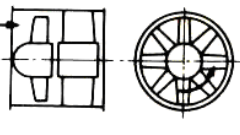
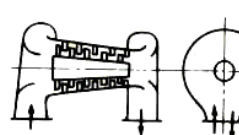
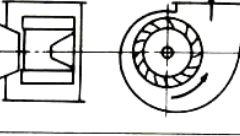

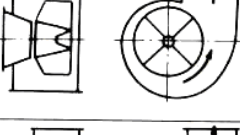
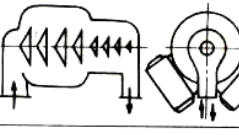

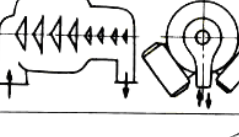
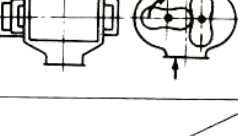
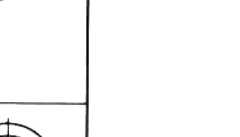
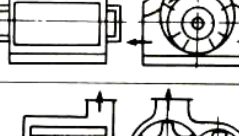
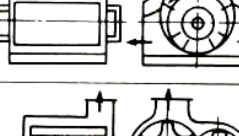


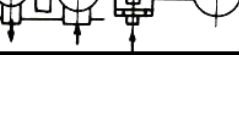
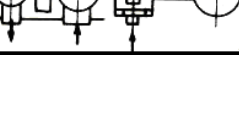
Kompresor terdapat dalam beberapa jenis dan model, tergantung pada volume dan tekanannya. Berdasarkan cara pemampatannya, dibagi atas dua jenis, seperti terlihat pada gambar 2.1 yang diambil dari [12] :

1. Kompresor Turbo

Kompresor ini menaikkan tekanan dan kecepatan udara dengan hanya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeller dan dengan gaya angkat (lift) yang ditimbulkan oleh sudu. Kompresor turbo ini dibagi atas kompresor aksial dan kompresor sentrifugal.

2. Kompresor Perpindahan Positif (*Positiv Displacement*)

Kompresor ini menaikkan tekanan dan kecepatan udara dengan memperkecil atau memampatkan volume gas yang dihisap kedalam silinder atau stator oleh torak atau sudu. Kompresor ini juga dibagi atas kompresor bolak-balik (*reciprocating*) dan kompresor putar (*rotary*)

Nama	Fan dan blower		Kompresor	
	Fan (kipas)	Blower (peniup)		
Jenis	Tekanan	Kurang dari 1000 mm Air (9800 Pa)	1-10 m Air (9800 Pa - 98 Pa)	Lebih dari 1 kg/cm ² (98 kPa)
Jenis turbo	Jenis aksial	Aksial		
	Jenis sentrifugal	Sudu banyak		
		Radial		
		Turbo		
Jenis perpindahan (displacement)	Roots			
	Jenis putar (rotary)	Sudu lurus		
	Sekrup			
	Bolak-balik	Bolak-balik		

Gambar 2.1 Klasifikasi Kompresor

Berdasarkan konstruksinya, maka kompresor menurut [12] dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

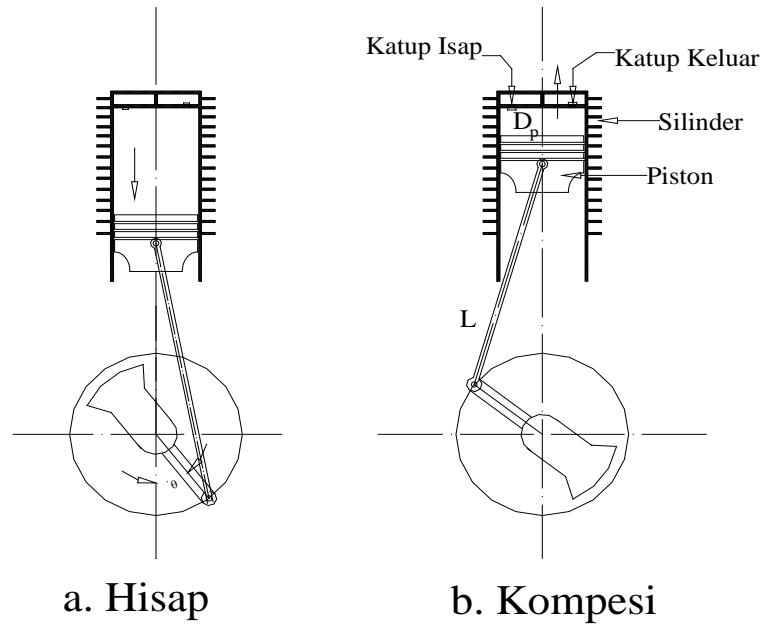
1. Berdasarkan jumlah tingkat kompresi : satu tingkat, dua tingkat, sampai banyak tingkat.
2. Berdasarkan langkah kerja (pada kompresor torak) : kerja tunggal dan kerja ganda.
3. Berdasarkan susunan silinder (pada kompresor torak) : mendatar, tegak, bentuk L, bentuk V, bentuk W, bentuk bintang, dan bentuk lawan berimbang.
4. Berdasarkan media pendinginan : pendinginan air dan pendinginan udara.
5. Berdasarkan transmisi penggerak : langsung, sabuk, dan roda gigi.
6. Berdasarkan penempatannya : permanen dan dapat dipindahkan.

2.3 KOMPRESOR TORAK

Kompresor torak merupakan suatu kompresor bolak balik yang menggunakan torak (piston) di dalam silinder yang bergerak bolak-balik untuk menghisap, menekan dan mengeluarkan udara secara terus-menerus. Dalam hal ini udara yang ditekan tidak boleh bocor melalui celah antara piston dan silinder yang saling bergesekan. Untuk mencegah kebocoran ini maka pada piston dilengkapi dengan ring piston yang fungsinya sebagai perapat sekaligus penyalur oli sebagai pelumasan pada piston dan silinder.

2.3.1 Prinsip Kerja Kompresor Torak

Adapun cara kerja kompresor torak ini dapat dijelaskan seperti terlihat pada gambar 2.2 yang diambil dari [12] :



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Kompresor Torak

1. Langkah Isap

Pada langkah isap, piston bergerak ke bawah dan tekanan udara di dalam silinder lebih kecil dari tekanan atmosfer, sehingga udara bebas yang terhisap akan mendorong katup isap sampai ke titik mati bawah. Oleh karena itu udara bebas tersebut akan masuk ke silinder.

2. Langkah Kompresi

Ketika piston mulai naik dari titik mati bawah, maka katup masukpun tertutup sehingga udara dalam silinderpun termampatkan sampai tekanan tertentu karena katup keluar masih tertutup.

3. Langkah Keluar

Bila torak terus-menerus bergerak ke atas hingga titik mati atas maka katup keluar akan terbuka akibat tekanan udara tersebut, sehingga udara keluar dari silinder melalui katup keluar. Besarnya tekanan udara untuk membuka katup keluar ini sama dengan besar tekanan udara pada akhir langkah kompresi.

Pada waktu piston mencapai titik mati atas, antara sisi atas piston dan kepala silinder masih ada volume sisa yang besarnya V_c . Volume ini idealnya adalah nol, agar udara dapat didorong seluruhnya keluar, tetapi dalam prakteknya harus ada jarak atau *clearance* agar sisi atas piston tidak berbenturan dengan kepala silinder, karena hal ini dapat merusak piston itu sendiri maupun kepala silindernya.

Akibat adanya volume sisa ini, maka ada sejumlah udara dengan tekanan p_d dan volume V_c di akhir kompresi. Jika piston memulai langkah isap, maka katup isap tidak dapat terbuka sebelum sisa udara tersebut berekspansi hingga tekanannya turun menjadi p_i . Katup isap akan mulai terbuka ketika tekanan sudah mencapai tekanan isap p_i .

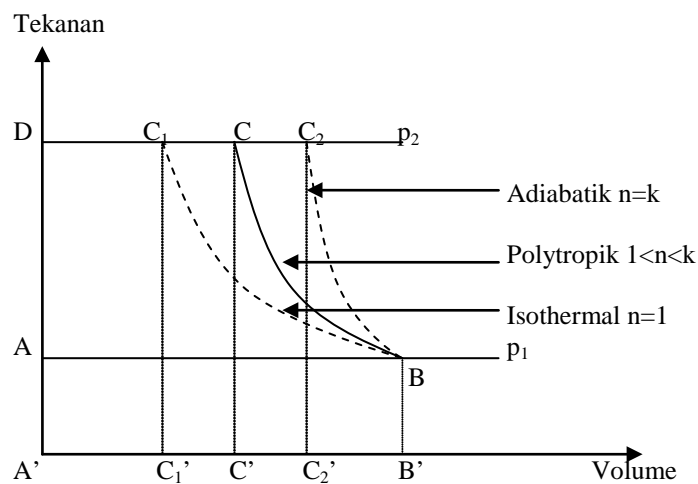
Untuk mendapatkan tekanan yang lebih tinggi, maka kompresor yang digunakan adalah kompresor bertingkat. Dalam hal ini semakin banyak tingkatannya, maka tekanan udara yang dihasilkan juga semakin tinggi, Akan tetapi harus juga diperhatikan untuk kapasitas berapa suatu kompresor tersebut digunakan.

2.3.2 Kompresor Torak Satu Tingkat

Diagram P-V dan T-S untuk kompresor torak satu tingkat dapat dilihat pada gambar 2.3 yang diambil dari [1] dengan dianggap volume *clearance* adalah nol.

Udara dikompresikan dapat berupa proses isothermal, polytropik, ataupun adiabatik. Dalam hal ini kerja yang dilakukan per siklus (W) dinyatakan dengan luas diagram P-V tersebut, sehingga dari gambar tersebut dapat terlihat kerja yang dilakukan per siklus terbesar adalah bila proses kompresi udara secara adiabatik dan yang paling kecil adalah proses isothermal.

Pada keadaan aktualnya dalam kompresi udara ini proses isothermal dan adiabatik tidak pernah terjadi secara sempurna, sehingga dalam hal ini proses kompresi yang sesungguhnya berada diantara keduanya, yaitu proses polytropik. Hubungan antara P dan V pada proses polytropik ini dapat dirumuskan sebagai :



Gambar 2.3 Diagram P-V Kompresor Torak Satu Tingkat

$PV^n = \text{konstan}$, atau

$$P_1V_1^n = P_2V_2^n$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Disini n adalah indeks polytropik dan harganya terletak antara 1 (proses isothermal) dan k (proses adiabatik), jadi $1 < n < k$. Untuk kompresor udara harga $n = 1,3$.

Kerja yang dilakukan per siklus menurut [1] adalah :

$$\begin{aligned} W &= \text{Luas ABCD} \\ &= \text{Luas A'C'CD} + \text{Luas C'CBB}' - \text{Luas ABB'A}' \\ &= P_2V_2 + \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{n-1} - P_1V_1 \\ &= \frac{(n-1)P_2V_2 + P_2V_2 - P_1V_1 - P_1V_1(n-1)}{n-1} \\ &= \frac{n}{n-1}(P_2V_2 - P_1V_1) \\ &= \frac{n}{n-1}P_1V_1 \left[\left(\frac{P_2V_2}{P_1V_1} \right) - 1 \right] \\ &= \frac{n}{n-1}P_1V_1 \left[\frac{P_2}{P_1} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \\ W &= \frac{n}{n-1}P_1V_1 \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \end{aligned}$$

2.3.3 Kompresor Torak Bertingkat Banyak

Tingkatan pada kompresor dapat dikembangkan dari satu tingkat silinder sampai bertingkat banyak dengan pendekatan temperatur gas dan perbandingan tekanan. Temperatur gas yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya pembakaran pada oli atau dekomposisi pada oli. Penambahan perbandingan tekanan akan mengakibatkan semakin besarnya ekspansi pada celah gas, sehingga akan mengakibatkan berkurangnya efisiensi volumetrik kompresor. Oleh sebab itu untuk memperoleh gas dengan tekanan yang lebih tinggi, maka kompresor harus disusun bertingkat dengan dilengkapi dengan *intercooler* (pendingin antara) antar tingkat. Gas didinginkan antar tingkat dimaksudkan untuk menjaga agar temperatur gas tetap aman dalam operasinya. Temperatur udara ini dimaksudkan akan kembali sama dengan temperatur masuk, dalam hal ini *intercooler* bekerja dengan sempurna tetapi dalam prakteknya hal ini tidak akan pernah dijumpai.

Pada kompresor yang bertingkat, perbandingan tekanan setiap silinder adalah sama, sehingga walau perbandingan tekanan pada kompresor tinggi, tetapi efisiensi volumetrik setiap tingkat akan menjadi lebih baik. Tekanan gas keluar untuk kompresor bertingkat banyak akan lebih besar daripada kompresor bertingkat satu. Misalnya untuk kompresor dua tingkat tekanannya dapat mencapai 2000 kPa gauge sedangkan untuk tiga, empat, dan lima tingkat, tekanannya tidak dapat disebutkan secara spesifik, tetapi bagaimanapun untuk kompresor lima tingkat, tekanan keluar dapat dicapai hingga 35 MPa dengan tekanan masuk satu atmosfer.

Jadi dapat dikatakan bahwa kompresor bertingkat banyak memiliki beberapa keuntungan, diantaranya :

1. Efisiensi volumetrik lebih tinggi
2. Tekanan keluar lebih besar
3. Pelumasan yang lebih efektif
4. Konstruksinya relatif kecil

2.4 KOMPRESOR TORAK DUA TINGKAT DENGAN INTERCOOLER

2.4.1 Prinsip Kerja Kompresor Torak Dua Tingkat Dengan Intercooler

Untuk kompresor torak dua tingkat akan dilengkapi dengan satu unit *intercooler*. *Intercooler* ini diletakkan diantara silinder tekanan rendah atau *Low Pressure* (L.P) dan silinder tekanan tinggi atau *High Pressure* (H.P). Tujuan dipasangnya *intercooler* adalah untuk menjaga agar temperatur gas pada silinder tekanan tinggi tidak terlalu tinggi, karena dapat mengakibatkan berkurangnya ketahanan silinder tersebut. Dalam hal ini *intercooler* merupakan suatu alat untuk dapat mendekati pemampatan secara isothermal, yaitu temperatur gas masuk silinder tekanan rendah sama dengan temperatur gas keluar *intercooler*. Tetapi dalam kenyataannya tidak pernah terwujud, sehingga pemampatannya bukan proses isothermal.

Gambar 2.4 yang diambil dari [6] menunjukkan aliran proses pada kompresor torak dua tingkat yang dilengkapi dengan *intercooler*.

Gambar 2.4 Diagram T-S dan P-V Kompresor Torak Dua Tingkat

Udara bebas dengan tekanan atmosfer (P_1, T_1) diisap dan masuk kedalam silinder tekanan rendah, setelah itu dikompresikan hingga mencapai titik 2 secara polytrofik. Dari titik 2 udara dialirkan ke *intercooler* sampai titik 3 hingga temperaturnya turun hingga T_3 dengan tekanan konstan. Setelah udara keluar *intercooler* lalu masuk silinder tekanan tinggi sampai titik 4 dengan tekanan P_4 dan temperatur T_4 .

Sebelum udara bertekanan ini digunakan maka terlebih dahulu disimpan dalam tangki tekan dan sebelum digunakan untuk kebutuhan pneumatik maka udara ini juga didinginkan lagi karena temperatur T_4 masih terlalu tinggi.

2.4.2 Kerja Kompresor Dua Tingkat

Proses yang terjadi dalam proses kompresi adalah proses polytropik, $P.V^n = \text{konstan}$, karena pada saat T_2 didinginkan maka temperaturnya tidak akan kembali ke T_1 dan ada panas yang dipancarkan keluar yaitu pada *intercooler*.

Kerja pemampatan atau kerja kompresor per siklus pada silinder *Low Pressure* menurut [1] :

$$W_1 = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Kerja pemampatan atau kerja kompresor per siklus pada silinder *High Pressure* menurut [1] :

$$W_2 = \frac{n}{n-1} p_2 V_2 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Kerja total yang dibutuhkan kompresor per siklus menurut [1] :

$$W_C = W_1 + W_2$$

$$W_C = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] + \frac{n}{n-1} p_2 V_2 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Perbandingan kompresi untuk setiap tingkat adalah sama, sehingga :

$$\frac{p_4}{p_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$p_2^2 = p_1 p_4$$

$$p_2 = \sqrt{p_1 p_4}$$

$$\text{Jadi : } W_C = \frac{n}{n-1} \left[\left(r_p \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] (p_1 V_1 + p_2 V_2)$$

Dimana : V_1 = Volume silinder pertama

V_2 = Volume silinder kedua

Apabila pendinginan sempurna (*intercooler* bekerja dengan sempurna), artinya terjadi proses isothermal, maka $p_1 V_1 = p_2 V_2$, sehingga :

$$W_C = \frac{2n}{n-1} \left[(r_p)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Bila \dot{m} adalah massa aliran udara yang dihasilkan kompresor per siklus, maka daya yang diperlukan untuk melakukan proses kompresi menurut [1] adalah :

$$P_K = \dot{m} \cdot W_C$$

Sedangkan daya yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor menurut [6] adalah :

$$P = \frac{P_K}{\eta_a \eta_m}$$

Dimana : η_a = Efisiensi adiabatik yang besarnya tergantung pada perbandingan tekanan (r_p).

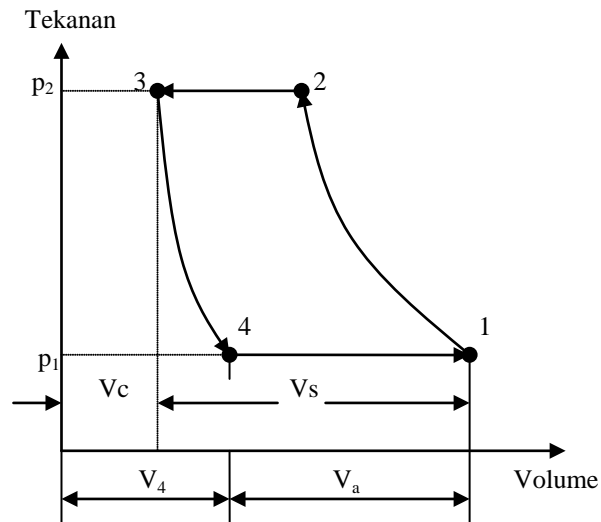
η_m = Efisiensi mekanis kompresor.

2.5 EFISIENSI VOLUMETRIK

Dalam prakteknya setiap kompresor akan menghasilkan udara yang lebih sedikit dari pada yang dihisap dari udara bebas. Nilai perbandingan inilah yang disebut sebagai efisiensi volumetrik (η_v). Efisiensi volumetrik juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume udara aktual masuk silinder dengan volume langkah atau perpindahan piston.

Besarnya efisiensi volumetrik yang paling baik tentunya adalah satu, tetapi hal ini tidak mungkin dapat dicapai karena adanya kebocoran-kebocoran dan

kerugian-kerugian dalam instalasi kompresor tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.5 yang diambil dari [6].



Gambar 2.5 Proses Kompresi Dengan Volume Sisa

- Dimana :
- 1-2 = Proses kompresi
 - 2-3 = Proses pendorongan keluar dari silinder
 - 3-4 = Proses ekspansi
 - V_a = Volume udara yang dihisap = $V_1 - V_4$
 - V_s = Volume langkah = $V_1 - V_3$
 - V_c = Volume *clearance* = V_3
 - V_4 = Volume udara yang dihisap dari ruang sisa silinder
hingga pergerakan piston dari titik mati atas hingga titik 4.

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_s} = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3}$$

$$= \frac{(V_1 - V_3) - (V_4 - V_3)}{(V_1 - V_3)}$$

$$= 1 - \frac{V_4 - V_3}{V_1 - V_2}$$

$$= 1 + \frac{V_3}{V_1 - V_3} - \frac{V_4}{V_1 - V_3}$$

Dimana :

$$\frac{V_4}{V_3} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$V_4 = V_3 \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1}{n}} = V_3 (r_p)^{\frac{1}{n}}$$

Jadi :

$$\eta_v = 1 + \frac{V_c}{V_s} - \frac{V_c}{V_s} (r_p)^{\frac{1}{n}}$$

$$= 1 - \frac{V_c}{V_s} \left[(r_p)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

$\frac{V_c}{V_s}$ merupakan faktor sisa yang besarnya antara 3 % sampai 10 %

.(engineering thermo with applct sec edtion,M.david Burghard...hal 347)

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa semakin besar (r_p), maka η_v semakin kecil, sehingga untuk menaikkan η_v maka (r_p) harus diperkecil dengan membuat kompresor bertingkat.

2.6 PEMILIHAN JENIS KOMPRESOR

Untuk menentukan jenis kompresor harus diperhatikan keuntungan, kerugian, maupun sifat-sifat kompresor yang akan digunakan pada suatu perencanaan. Dalam perencanaan ini kompresor yang dipakai untuk kebutuhan udara tekan pada sistem pneumatik burner PLTU.

Sesuai dengan pemakaiannya kompresor yang paling menguntungkan adalah kompresor torak, karena kompresor torak memiliki kelebihan-kelebihan dibandingkan dengan kompresor jenis lain, diantaranya :

1. Kompresor torak mempunyai efisiensi volumetrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kompresor yang lain, sehingga kompresor ini akan menghasilkan kapasitas udara yang lebih besar.
2. Debu dan pasir tidak mudah masuk ke dalam silinder karena udara yang dihisap harus melalui saringan udara sebelum udara tersebut masuk silinder melalui katup isap. Dalam hal ini silinder dan piston tidak akan cepat rusak akibat kotoran yang masuk ke dalam silinder.
3. Kompresor torak memiliki konstruksi yang lebih sederhana, sehingga penggunaannya lebih ekonomis.
4. Memiliki rasio kompresi yang lebih besar.

Adapun kekurangan dari kompresor torak adalah :

1. Pada tekanan yang tinggi dan udara tekan yang dihasilkan rendah diperlukan pondasi yang kuat dan dijaga keamanannya terhadap lingkungan sekitar dan diperlukan penggunaan saluran pipa yang tahan terhadap getaran yang timbul.
2. Pada tekanan yang tinggi dan udara tekan yang dihasilkan rendah kompresor torak membutuhkan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi pada kapasitas yang sama.

Bila kompresor torak dibandingkan dengan kompresor sentrifugal maka kelebihan yang dimiliki oleh kompresor sentrifugal adalah sebagai berikut :

1. Pada tekanan yang rendah dan massa aliran udara yang dihasilkan besar biaya pemeliharaan yang dibutuhkan relatif kecil.

2. Hasil atau kapasitas merata (pengukuran volume dapat dipercaya).
3. Udara mampat sama sekali bebas minyak (dimanapun tidak ada kontak dengan minyak pelumas).
4. Efisiensi tidak berubah selama bekerja.
5. Keausan komponen kecil.