

BAB II

DASAR TEORI

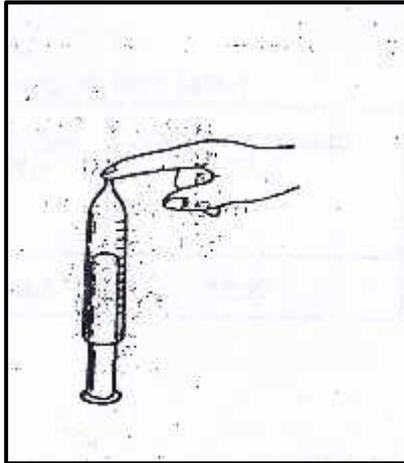
2.1. Pengertian Kompresi

Kompresi adalah pemampatan gas sehingga tekanannya lebih tinggi dari tekanan semula. Proses ini dipakai dalam banyak cabang bidang teknik. Istilah kompresi umumnya dipakai untuk proses yang melibatkan peningkatan tekanan dan kerapatan gas. Dalam praktik, sebagian besar kompresi gas adalah proses kompresi udara. Udara yang dikompresi sering disebut udara tekan atau udara kempa. Udara tekan lazim dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menggerakkan dongkrak, alat kendali otomatis, rem angin, produksi gas botol, proses teknik kimia, dan berbagai macam penggunaan lainnya.

2.2. Teori Kompresi

2.2.1. Hubungan antara Tekanan dan Volume

Hubungan antara tekanan dan volume bisa diaplikasikan pada sebuah alat penyuntik tanpa jarum dan berisi udara atau gas seperti pada gambar 2.1. Pada ujung penyuntik ditutup dengan jari telunjuk dan tangkainya didorong dengan ibu jari, maka pada jari telunjuk akan terasa adanya tekanan yang bertambah besar. Hal yang sama juga dapat dilakukan pada pompa sepeda. Bertambahnya tekanan tersebut merupakan akibat dari mengecilnya volume udara di dalam silinder karena dimampatkan oleh torak. Jika volume semakin dikecilkan, tekanan akan semakin besar.



Gambar 2.1 Kompresi

Hubungan antara tekanan dan volume gas dalam proses kompresi tersebut dapat diuraikan sebagai berikut. Jika selama kompresi, temperatur gas dijaga tetap (tidak bertambah panas) maka pengecilan volume menjadi $\frac{1}{2}$ kali akan menaikkan tekanan menjadi dua kali lipat. Jadi secara umum dapat dikatakan sebagai berikut “jika gas dikompresikan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap, maka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya”. Pernyataan ini disebut Hukum Boyle dan dapat dirumuskan pula sebagai berikut : jika suatu gas mempunyai volume V_1 dan tekanan P_1 dan dimampatkan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap hingga volumenya menjadi V_2 , maka tekanannya akan menjadi P_2 dimana :

$$P_1V_1=P_2V_2 = \text{tetap} \dots\dots\dots^1$$

¹Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT. Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 181

2.2.2. Hubungan antara Temperatur dan Volume

Seperti halnya pada zat cair, gas akan mengembang jika dipanaskan pada tekanan tetap. Dibandingkan dengan zat padat dan zat cair, gas memiliki koefisien muai jauh lebih besar. Dari pengukuran koefisien muai berbagai gas diperoleh kesimpulan sebagai berikut : “semua macam gas apabila dinaikkan temperaturnya sebesar 1°C pada tekanan tetap, akan mengalami pertambahan volume sebesar 1/273 dari volumenya pada 0°C. Sebaliknya apabila diturunkan temperaturnya sebesar 1°C akan mengalami jumlah sama.

2.2.3. Persamaan Keadaan

Hukum Boyle dan hukum Charles dapat digabungkan menjadi hukum Boyle-Charles yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$PV = GRT \quad \dots\dots\dots^2$$

Dimana P : Tekanan Mutlak (kgf/m²) atau Pa

 V : Volume (m³)

 G : Berat Gas (1,2 Kg) untuk udara

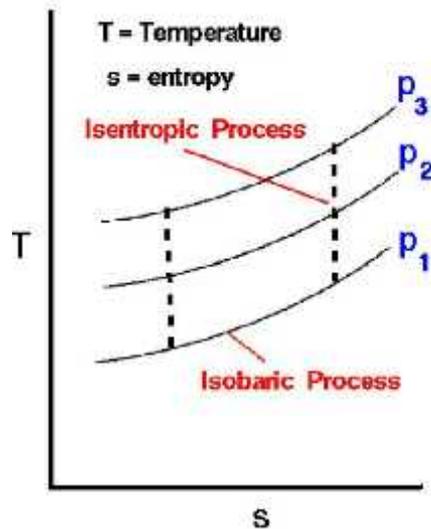
 T : Temperatur mutlak (°K)

 R : Konstanta Gas (287 J/ Kg °K) untuk udara

²Ibid, hal. 183

2.2.4. Kompresi Gas

2.2.4.1. Cara Kompresi



Gambar 2.2. Diagram T-S (aktual)

Analisa termodinamika pada kompresor dimaksudkan untuk menentukan kondisi udara masuk dan keluar kompresor. Pengambilan asumsi untuk perhitungan termodinamika kompresor adalah didasarkan pada efisiensi politropis, yaitu efisiensi isentropis dari sebuah tingkat kompresor yang dibuat konstan untuk setiap tingkat berikutnya. (Gambar 2.2. Diagram T-S aktual Siklus).

1. Kompresi Isotermal

Bila suatu gas dikompresikan, maka ada energi mekanik yang diberikan dari luar pada gas. Energi ini diubah menjadi energi panas sehingga temperatur gas akan naik, jika tekanan semakin tinggi. Namun jika proses kompresi ini dengan pendinginan untuk mengeluarkan panas yang terjadi, temperatur dapat dijaga tetap. Proses kompresi ini disebut kompresi isotermal (temperatur tetap).

Hubungan antara P dan V untuk T tetap dapat diperoleh dari persamaan :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{tetap} \quad \dots\dots\dots^3$$

2. Kompresi Adiabatik

Kompresi yang berlangsung tanpa ada panas yang keluar/masuk dari gas. Dalam praktek proses adiabatik tidak pernah terjadi secara sempurna karena isolasi di dalam silinder tidak pernah dapat sempurna pula, (dimana $k = 1,4$ untuk udara).

$$P \cdot v^k = \text{tetap} \quad \dots\dots\dots^4$$

3. Kompresi Politropik

Kompresi pada kompresor yang sesungguhnya bukan merupakan proses isothermal, namun juga bukan proses adiabatik, namun proses yang sesungguhnya ada diantara keduanya dan disebut kompresi politropik. Hubungan antara P dan V pada politropik ini dapat dirumuskan sebagai :

$$P \cdot v^n = \text{tetap} \quad \dots\dots\dots^5$$

Untuk n disebut indeks politropik dan harganya terletak antara 1 (proses isothermal) dan k (proses adiabatik), jadi $1 < n < k$. Untuk kompresor biasanya $n = 1,25-1,4$.

³Ibid, hal. 183

⁴Ibid, hal. 184

⁵Ibid, hal. 184

2.2.4.2. Perubahan Temperatur

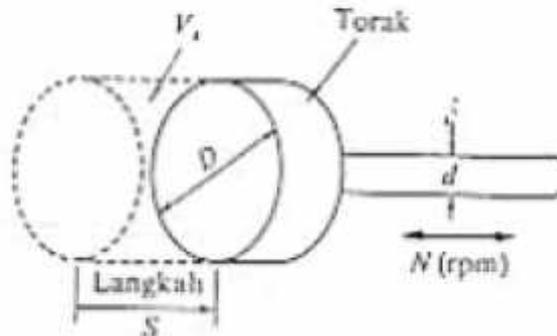
Pada waktu kompresi, temperatur gas dapat berubah tergantung pada jenis proses yang dialami. Untuk masing-masing proses, hubungan antara temperatur dan tekanan hanya terjadi perubahan pada proses adiabatik. Dalam kompresi adiabatik tidak ada panas yang dibuang keluar sendiri (atau dimasukkan) sehingga seluruh kerja mekanis yang diberikan dalam proses ini akan dipakai untuk menaikkan temperatur gas. Temperatur yang dicapai oleh gas yang keluar dari kompresor dalam proses adiabatik dapat diperoleh secara teoritis dengan rumus sebagai berikut :

$$T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1) / m k} \dots\dots\dots^6$$

- Dimana
- Td : Temperatur mutlak gas keluar kompresor (°K)
 - Ts : Temperatur isap mutlak gas masuk kompresor (°K)
 - m : Jumlah tingkat kompresi ; m = 1, 2, 3, ... dst
 - $\frac{P_d}{P_s}$: Perbandingan tekanan = $\frac{\text{Tekanan Keluar mutlak}}{\text{Tekanan Hisap mutlak}}$
 - k : Perbandingan panas jenis gas = 1,4 untuk udara.

⁶Ibid, hal. 185

2.2.4.3. Efisiensi Volumetrik



Gambar 2.3. Langkah Torak Kerja Tunggal

Pada gambar 2.3. sebuah kompresor dengan silinder D (m), langkah tolak S (m), dan putaran N (rpm) dengan ukuran seperti ini kompresor akan memampatkan volume gas sebesar $V_s = (\pi/4) D^2 \times S \text{ (m}^3\text{)}$. Untuk setiap langkah kompresor yang dikerjakan dalam setiap putaran poros engkol. Jumlah volume gas yang dimampatkan per menit disebut perpindahan torak. Jadi jika poros kompresor mempunyai putaran N (rpm) maka Perpindahan torak :

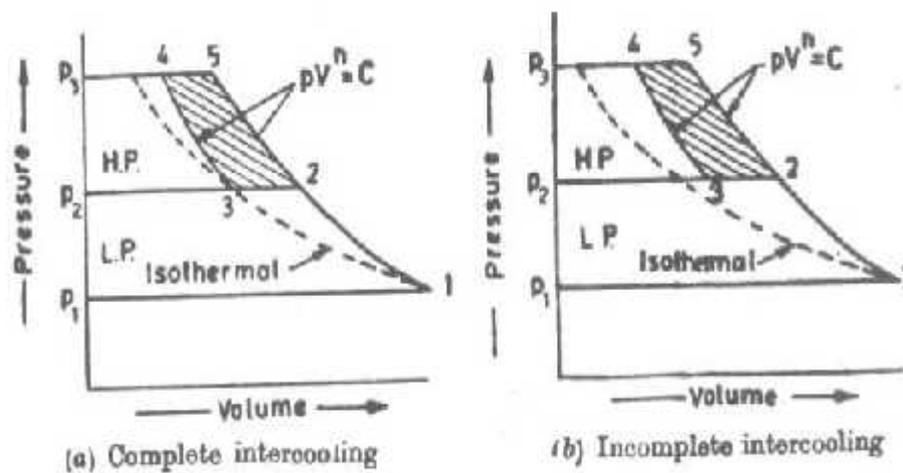
$$Q_{th} = V_s \times N = (\pi/4) D^2 \times S \times N \text{ (m}^3\text{/min)} \dots\dots\dots^7$$

Seperti pada gambar 2.4. torak memuai langkah kompresinya pada titik (1 dalam diagram P-V). Torak bergerak ke kiri dan gas dimampatkan hingga tekanan 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 (atau tangki tekan), sehingga katup keluar pada kepala silinder akan terbuka.

⁷Ibid, hal. 187

Jika torak terus bergerak ke kiri maka gas akan didorong keluar silinder pada tekanan tetap sebesar P_d di titik (3) torak mencapai titik mati atas, yaitu titik mati akhir gerakan torak pada langkah kompresi dan pengeluaran, seperti gambar di bawah ini .

Pada waktu torak mencapai titik mati atas, ada volume sisa sebesar V_c yaitu *clearance* diatas torak agar torak tidak membentur kepala silinder, sehingga pada akhir langkah kompresi masih ada sisa gas yang tidak terdorong keluar sebesar V_c dan tekanan sebesar P_d . Saat memulai langkah hisap (ke kanan) katup isap tidak dapat terbuka langsung sampai sisa gas tereksansi sampai tekanannya turun dari P_d turun ke P_s . Dan gas baru mulai masuk saat torak mencapai titik (4) ketika tekanan sudah mencapai P_s pengisian berlangsung sampai ke titik mati bawah torak (1).



Gambar 2.4. Diagram P-V dari Kompresor

Dalam suatu kompresor bertingkat banyak, udara mula-mula masuk ke dalam silinder tekanan rendah/*low pressure cylinder* (LP cylinder) untuk dimampatkan. Kemudian udara tadi masuk ke dalam silinder bertekanan

menengah/*intermediate pressure cylinder* untuk dimampatkan lagi. Akhirnya udara tersebut dikompresikan lagi ke dalam silinder bertekanan tinggi/*high pressure cylinder (HP cylinder)* untuk di *delivery*. Dengan mengabaikan *clearance* dan kemudian menggunakan hukum untuk kompresi :

$$pv^n = \text{konstan}$$

Kita dapat memperoleh suatu diagram $p-v$ untuk suatu kompresor dua tingkat seperti gambar 2.4. Pendinginan antara sempurna atau *complete intercooling* adalah ketika udara yang meninggalkan *intercooler* (T_3) adalah sama dengan temperatur udara atmosfer awal (T_1). Dalam hal ini, titik 3 terletak pada kurva isothermal seperti yang ditunjukkan gambar 2.4a. Pendinginan antara tidak sempurna adalah jika udara yang meninggalkan *intercooler* (T_3) lebih tinggi dari temperatur udara atmosfer awal. Dalam hal ini, titik 3 terletak pada sisi kanan kurva isothermal seperti yang ditunjukkan gambar 2.4b.

Berdasarkan siklus kerja kompresor tersebut dimana gas yang diisap tidak sebesar volume langkah torak sebesar V_s dapat dihitung efisiensi volumetris (ν) dengan rumus sebagai berikut :

$$\nu = \frac{Q_s}{Q_{th}} \dots\dots\dots^8$$

Dimana :

Q_s : Volume gas yang dihasilkan pada kondisi tekanan dan temperatur isap (m^3/min)

Q_{th} : Perpindahan torak (m^3/min).

⁸Ibid, hal. 189

Besar efisiensi volumetris juga dapat dihitung secara teoritis berdasarkan volume gas yang dapat diisap secara efektif oleh kompresor dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta_v = 1 - V_c \left\{ \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{1/n} - 1 \right\} \dots\dots\dots 9$$

dimana $V_c = V_c / V_s$, volume sisa (*clearance*) relatif

n = koefisien ekspansi gas yang tertinggal di dalam volume sisa untuk udara $n = 1,2$

Tanda η_v berarti “kira-kira sama dengan“, karena rumus 10 diperoleh dari perhitungan teoritis. Adapun harga η_v yang sesungguhnya adalah sedikit lebih kecil dari harga yang diperoleh dari rumus diatas karena adanya kebocoran melalui cincin torak dan katup-katup serta tahanan pada katup–katup.

2.2.4.4. Efisiensi Adiabatik

Efisiensi kompresor ditentukan oleh berbagai faktor seperti tahanan aerodinamik di dalam katup-katup, saluran-saluran, pipa-pipa, kerugian mekanis, efektivitas pendinginan serta faktor lainnya. Faktor-faktor ini digabungkan dalam efisiensi adiabatik keseluruhan.

Efisiensi adiabatik keseluruhan didefinisikan sebagai daya yang diperlukan untuk memampatkan gas dengan siklus adiabatik (perhitungan teoritis), dibagi dengan daya sesungguhnya yang diperlukan kompresor pada porosnya. Rumus dari efisiensi adiabatik adalah sebagai berikut :

$$\eta_{ad} = \frac{W_{ad}}{W_s} \dots\dots\dots 10$$

Dimana η_{ad} : Efisiensi adiabatik keseluruhan (%)

W_{ad} : Daya adiabatik teoritis (kW)

W_s : Daya yang masuk pada poros kompresor (kW)

Besarnya daya adiabatik teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$W_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s}{6120} Q_s \left\{ \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{k-1/mk} - 1 \right\} \quad (\text{kW}) \dots\dots\dots 11$$

Dimana P_s : Tekanan isap tingkat pertama (kgf / m² abs)

P_d : Tekanan keluar dari tingkat terakhir (kgf / m² abs)

Q_s : Jumlah volume gas yang keluar dari tingkat terakhir (m³/min)

Jika dipakai tekanan dalam satuan Pa maka dipakai rumus :

$$W_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{6000} \frac{P_d}{P_s} \quad (\text{kW}) \dots\dots\dots 12$$

Untuk efisiensi volumetrik dan efisiensi adiabatik keseluruhan sebenarnya tidak tetap, harganya berubah-ubah menurut konstruksi dan tekanan keluar kompresor. Karena itu perhitungan daya tidak dapat dilakukan semudah cara diatas. Namun untuk perhitungan efisiensi adiabatik dapat diambil kira-kira 80% - 85% untuk kompresor besar, 75% - 80% untuk kompresor sedang dan 65% - 70% untuk kompresor kecil.

⁹Ibid, hal. 189

¹⁰Ibid, hal. 190

¹¹Ibid, hal. 190

¹²Ibid, hal. 190

Dengan diketahuinya daya yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor (W_{comp}), kita dapat menghitung daya motor yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor.

2.2.4.5. Volume Tangki Penerima

Kapasitas kompresor adalah debit penuh aliran gas yang ditekan dan dialirkan pada kondisi suhu total, tekanan total, dan diatur pada saluran masuk kompresor. Debit aliran yang sebenarnya, bukan merupakan nilai volume aliran yang tercantum pada data alat, yang disebut juga pengiriman udara bebas/*free air delivery* (FAD) yaitu udara pada kondisi atmosfer di lokasi tertentu. FAD tidak sama untuk setiap lokasi sebab ketinggian, barometer dan suhu dapat berbeda untuk lokasi dan waktu yang berbeda. Kapasitas kompresor biasanya dinyatakan dengan volume gas yang diisap per satuan waktu (m^3/jam).

Perhitungan Volume Penerima Tangki

$$Q_s = \frac{P_d - P_s}{P_o} \cdot \frac{V}{t} \dots\dots\dots^{13}$$

Dimana

- Q_s = Volume penerimaan tangki ($m^3/menit$)
- P_o = Tekanan Atmosfir (bar)
- t = Lamanya pengisian kompresor (menit)
- V = Volume tangki

¹³ Tim Pembimbing Pretek Konversi, Buku Panduan Praktek Konversi Energi Unit Kompresor

Persamaan diatas relevan untuk suhu udara tekan sama dengan suhu udara *ambien*, yaitu kompresor isothermal sempurna. Jika suhu udara tekan aktual pada pengeluaran, t_2 °C lebih tinggi dari suhu *ambien* t_1 °C, FAD dikoreksi oleh faktor $(273 + t_1) / (273 + t_2)$.

2.3. Pengertian Kompresor

Kompresor adalah suatu mesin yang digunakan untuk memampatkan udara atau gas. Kompresor udara biasanya mengisap udara dari atmosfer. Namun ada pula yang mengisap udara atau gas yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor bekerja sebagai penguat (*booster*). Sebaliknya ada pula kompresor yang mengisap gas yang bertekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor disebut pompa vakum. Dalam keseharian, kita sering memanfaatkan udara mampat baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai contoh, udara mampat yang digunakan untuk mengisi ban mobil atau sepeda motor, udara mampat untuk membersihkan bagian-bagian mesin yang kotor di bengkel-bengkel dan manfaat lain yang sering dijumpai sehari-hari.

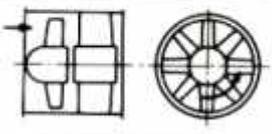
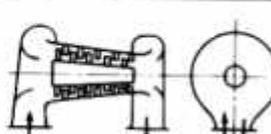
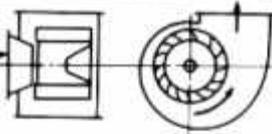
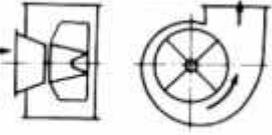
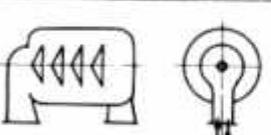
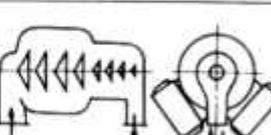
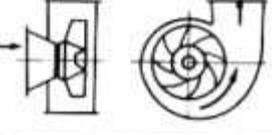
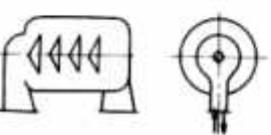
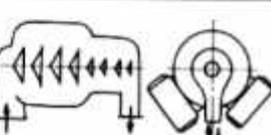
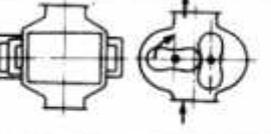
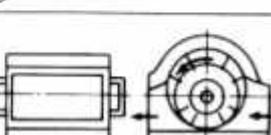
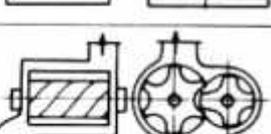
2.4. Klasifikasi Kompresor

Prinsip kerja kompresor dan pompa adalah sama, kedua mesin tersebut menggunakan energi luar kemudian diubah menjadi energi tekanan. Pada pompa, di nosel keluaranya energi kecepatan diubah menjadi energi tekanan, begitu juga kompresor pada katup keluar udara mampat mempunyai energi tekanan yang besar. Hukum-hukum yang berlaku pada pompa dapat diaplikasikan pada kompresor.

Ditinjau dari cara pemampatan (kompresi) udara, kompresor dibagi menjadi 2 jenis, yaitu jenis perpindahan positif dan jenis turbo. Jenis perpindahan positif adalah kompresor yang menaikkan tekanan dengan memperkecil atau memampatkan volume gas yang dihisap ke dalam silinder atau stator oleh torak, sedangkan jenis turbo menaikkan tekanan dan kecepatan gas dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeller atau dengan gaya angkat (*lift*) yang ditimbulkan oleh sudu.

Klasifikasi Kompresor secara umum:

1. Klasifikasi berdasarkan jumlah tingkat kompresi, yaitu terdiri atas : kompresor satu tingkat, dua tingkat dan banyak tingkat.
2. Klasifikasi berdasarkan langkah kerja, yaitu terdiri atas : kompresor kerja tunggal / *single acting* dan kerja ganda.
3. Klasifikasi berdasarkan susunan silinder “khusus kompresor torak”, yaitu terdiri atas : mendatar, tegak, bentuk L, bentuk V, bentuk W, bentuk bintang dan lawan imbang / *balance opposed*.
4. Klasifikasi berdasarkan cara pendinginan, yaitu terdiri atas : kompresor pendingin air dan pendingin udara .
5. Klasifikasi berdasarkan penempatannya, yaitu terdiri atas : kompresor permanen / stasioner dan kompresor yang dapat dipindah.

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 kPa)	Lebih dari 1 kg/cm ² (98 kPa)	
	Jenis turbo	Jenis aksial	Aksial		
Jenis sentrifugal		Sudu bunyayak			
		Radial			
		Turbo			
Jenis perpindahan (displacement)	Jenis putar (rotary)	Roots			
		Sudu lancur			
	Sekrup				
	Jenis bolak-balik	Bolak-balik			

Gambar 2.5 Klasifikasi Kompresor

2.5. Cara Kerja Kompresor

2.5.1. Cara Kerja Kompresor Satu Tingkat

Seperti diperlihatkan pada gambar 2.6 , kompresor torak atau kompresor bolak-balik pada dasarnya dibuat sedemikian rupa hingga gerakan putar dari

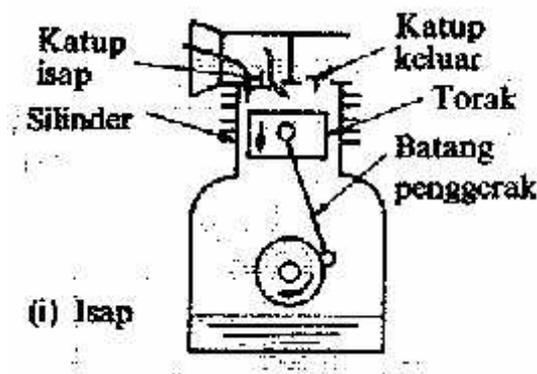
penggerak mula menjadi gerak bolak-balik. Gerakan ini diperoleh dengan menggunakan poros engkol dan batang penggerak yang menghasilkan gerak bolak-balik pada torak. Langkah kerja kompresor bolak-balik yaitu :

1. Isap

Bila poros engkol berputar dalam arah panah, torak bergerak ke bawah oleh tarikan engkol. Maka terjadilah tekanan negatif (di bawah tekanan atmosfer) di dalam silinder, dan katup isap terbuka oleh perbedaan tekanan, sehingga udara terisap.

- a. Piston bergerak dari TMA ke TMB.
- b. *Intake valve* membuka dan *exhaust valve* menutup.

Udara luar terisap (karena di kompresor kevakumannya lebih tinggi), gambar 2.6. menjelaskan tentang langkah isap pada kompresor torak satu tingkat.



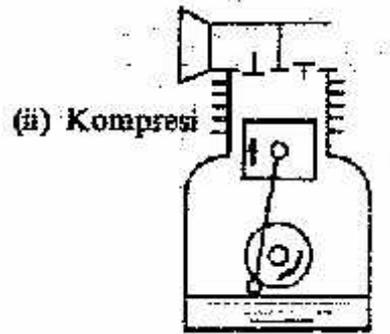
Gambar 2.6 Langkah Isap

2. Kompresi

Bila torak bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas, katup isap tertutup dan udara di dalam silinder dimampatkan.

- a. Piston bergerak dari TMB ke TMA.
- b. Kedua katup menutup.

- c. Udara dikompresikan dan menyebabkan suhu dan tekanan naik (akibat dari ruangan dipersempit), gambar 2.7 menjelaskan tentang langkah kompresi pada torak satu tingkat.

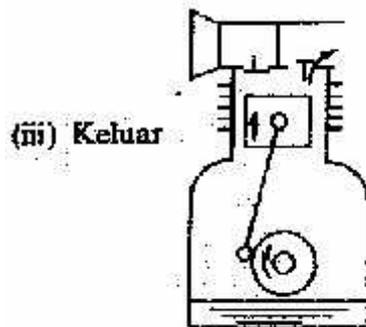


Gambar 2.7 Langkah Kompresi

3. Keluar atau Buang

Bila torak bergerak keatas, tekanan di dalam silinder akan naik. Maka katup keluar akan terbuka oleh tekanan udara/gas, dan udara/gas akan keluar.

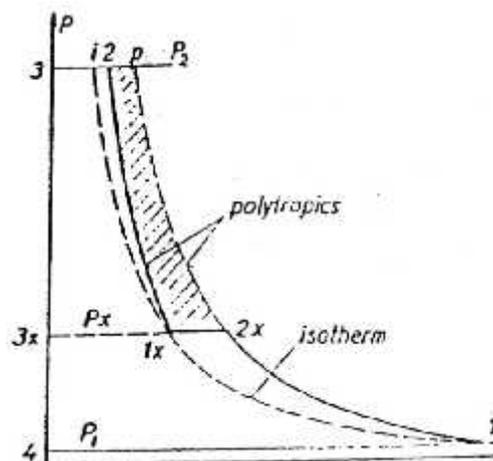
- Piston bergerak dari TMB ke TMA
- Exhaust valve* membuka
- Udara di dalam ruang kompresor keluar melalui *exhaust valve* seperti gambar 2.8.



Gambar 2.8 Langkah Keluar

2.5.2. Cara Kerja Kompresor Dua Tingkat

Tingkatan pada kompresor dapat dikembangkan dari satu tingkat silinder sampai bertingkat banyak dengan pendekatan temperatur gas dan perbandingan tekanan. Temperatur gas hasil kompresi akan makin besar bila perbandingan kompresinya makin besar, kenaikan temperatur gas akan berakibat pada kenaikan temperatur kompresor. Suhu kompresor yang terlalu tinggi harus dihindari agar kekuatan material silinder kompresor terjamin dan kerja yang diperlukan untuk kompresi dapat dihemat. Bila perbandingan kompresi lebih besar dari 8 maka perlu dibuat kompresor bertingkat. Pada kompresor bertingkat dibuat perbandingan antara tingkat (*intercooler*).



Gambar 2.9 Proses kompresi kompresor dua tingkat

Keterangan :

1-2x = kompresi politropis, I

2x-1x = pendinginan, tekanan konstan

1x-2 = kompresi politropis, II

Dari gambar 2.9, tampak bahwa dengan adanya pendinginan antara dapat mengurangi tenaga untuk proses kompresi.

Kerja untuk kompresi :

$$W = m.R.T \frac{n}{n-1} \left[\frac{P_2}{P_1} \frac{n-1}{n} + \frac{P_2}{P_x} \frac{n-1}{n} - 2 \right] \dots\dots\dots^{14}$$

Tekanan antara 2 tingkat

$$P_x = \sqrt{P_1 + P_2} \dots\dots\dots^{15}$$

Untuk kompresor bertingkat n, maka angka kompresi pertingkatnya ditentukan :

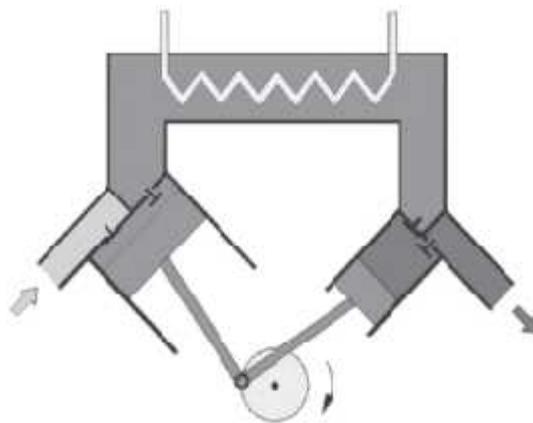
$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{P_2}{P_1} = \dots = \frac{P_n}{P_{n-1}} = \sqrt[n]{\frac{P}{P_0}} \dots\dots\dots^{16}$$

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.

¹⁴Handayani,S.U.,Bahan Ajar Pompa & Kompresor, PSD III Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Hal.20
¹⁵Ibid, hal. 20
¹⁶Ibid, hal. 20

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.

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) seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pendingin Antara

Tujuan dipasangnya *intercooler* adalah untuk menjaga agar temperatur gas pada silinder tekanan tinggi tidak terlalu tinggi, karena dapat mengakibatkan berkurangnya ketahanan material silinder tersebut. Dalam hal ini *intercooler* merupakan suatu alat untuk dapat mendekati pemampatan secara isothermal, yaitu

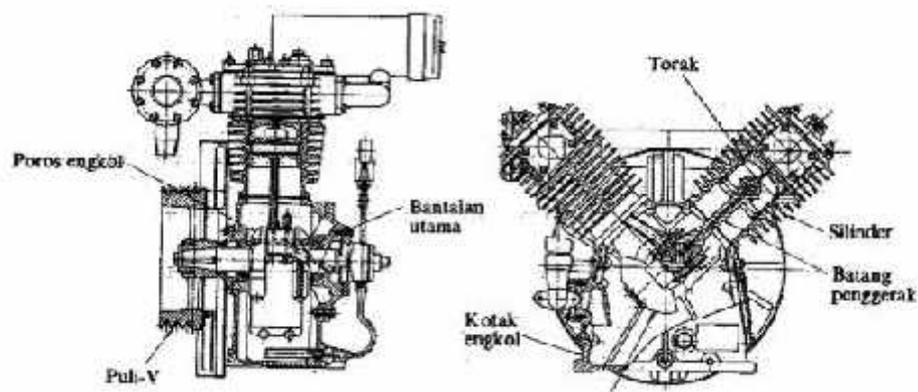
temperatur gas masuk silinder tekanan rendah sama dengan temperatur gas keluar *intercooler*. Tetapi dalam kenyataannya tidak pernah terwujud, sehingga pemampatannya bukan proses isothermal.

2.6. Konstruksi Kompresor Torak Dua tingkat

2.6.1. Komponen Utama

1. Silinder dan Kepala Silinder

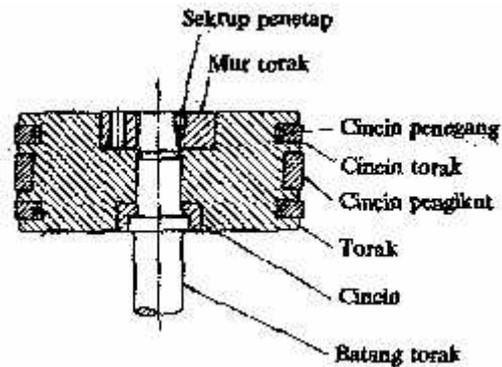
Gambar 2.11 memberikan potongan kompresor torak kerja tunggal dengan pendingin udara. Silinder mempunyai bentuk silinder dan merupakan bejana kedap udara dimana torak bergerak bolak-balik untuk menghisap dan memampatkan udara. Silinder harus cukup kuat untuk menahan tekanan yang ada. Untuk tekanan yang kurang dari 50 kgf/cm² (4,9 Mpa) umumnya dipakai besi cor sebagai bahan silinder. Permukaan dalam silinder harus disuperfinis sebab cincin torak akan meluncur pada permukaan ini. Untuk memancarkan panas yang timbul dari proses kompresi, dinding luar kompresor diberi sirip-sirip, gunanya adalah untuk memperluas permukaan yang memancarkan panas pada kompresor dengan pendinginan udara.



Gambar 2.11 Silinder dan Kepala Silinder

2. Torak dan Cincin Torak

Torak harus cukup tebal untuk menahan tekanan dan terbuat dari bahan yang cukup kuat. Untuk mengurangi gaya inersia dan getaran yang mungkin ditimbulkan oleh getaran bolak-balik, harus dirancang seringan mungkin.



Gambar 2.12 Torak dari Kompresor

Seperti pada gambar 2.12, cincin torak dipasang pada alur-alur dikelilingi torak dan berfungsi mencegah kebocoran antara permukaan torak dan silinder. Jumlah cincin torak bervariasi tergantung pada perbedaan tekanan antara sisi atas dan sisi bawah torak. Tetapi biasanya pemakaian 2 sampai 4 buah cincin dapat dipandang cukup untuk kompresor dengan tekanan kurang dari 10 kgf/cm^2 . Dalam hal kompresor kerja tunggal dengan silinder tegak, juga diperlukan cincin penyapu minyak yang dipasang pada alur paling bawah dari alur cincin yang lain. Cincin ini tidak dimaksud untuk mencegah kebocoran udara tetapi hanya untuk membersihkan minyak yang terpercik pada dinding dalam silinder.

3. Alat Pengukur Kapasitas

Kompresor harus dilengkapi dengan alat yang dapat mengatur laju volume udara yang diisap sesuai dengan laju aliran keluar yang dibutuhkan yang disebut pembebas beban (*unloader*).

Untuk mengurangi beban pada waktu kompresor *distart* agar penggerak mulai dapat berjalan lancar, maka pembebas beban dapat dioperasikan secara otomatis atau manual. Pembebas beban jenis ini disebut pembebas beban awal. Adapun ciri-ciri, cara kerja dan pemakaian berbagai jenis pembebas beban adalah sebagai berikut:

a. Pembebas beban katup isap

Jenis ini sering dipakai pada kompresor berukuran kecil/sedang. Jika kompresor bekerja maka udara akan mengisi tangki udara sehingga tekanannya akan naik sedikit demi sedikit. Tekanan ini disalurkan ke bagian bawah katup pilot dari pembebasan beban. Namun jika tekanan di dalam tangki udara naik maka katup isap akan didorong sampai terbuka. Jika tekanan turun melebihi batas, maka gaya pegas dari katup pilot akan mengalahkan gaya dari tekanan tangki udara. Maka katup pilot akan jatuh, lalu udara tertutup dan tekanan dalam pipa pembebas beban akan sama dengan tekanan atmosfer.

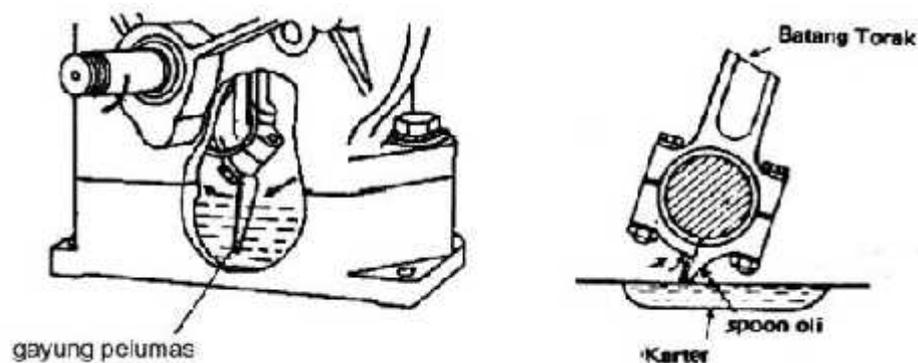
b. Pembebas beban dengan pemutus otomatis

Jenis ini dapat dipakai pada jenis kompresor yang relative kecil, kurang dari 7,5 KW. Disini dipakai tombol tekanan (*pressure switch*) yang dipasang ditangki udara. Motor penggerak akan dihentikan oleh tombol ini secara otomatis bila tekanan udara dalam tangki udara melebihi

batas tertentu. Pembebas beban jenis ini banyak dipakai pada kompresor kecil sebab katup isap pembebas beban yang ukuran kecil agak sukar dibuat.

4. Pelumasan

Bagian-bagian kompresor yang memerlukan pelumasan adalah bagian yang saling meluncur seperti silinder, torak, kepala silang, metal-metal bantalan batang penggerak.



Gambar 2.13 Pelumasan Kompresor

Tujuannya dari gambar 2.13 adalah untuk mencegah keausan, merapatkan cincin torak dan *packing*, mendinginkan bagian-bagian yang saling bergesekan dan mencegah pengkaratan. Untuk kompresor kerja tunggal yang berukuran kecil, pelumasan dalam maupun pelumasan luar dilakukan secara bersamaan dengan cara pelumasan percik atau dengan pompa pelumas jenis roda gigi. Pelumasan percik menggunakan tuas percikan minyak yang dipasang pada ujung besar batang penggerak. Metode pelumasan paksa menggunakan pompa roda gigi yang dipasang pada ujung poros engkol. Kompresor berukuran sedang dan besar menggunakan pelumas dalam yang dilakukan dengan pompa minyak jenis *plunyer* secara terpisah

2.6.2. Komponen Pembantu

1. Saringan Udara

Tidak selamanya udara yang dihisap kompresor itu bersih, terkadang udara yang dihisap mengandung banyak debu, sehingga akan mengakibatkan silinder dan cincin torak yang akan cepat aus. Maka dari itu dibutuhkan sebuah saringan udara yang berfungsi mencegah masuknya debu atau kotoran lainnya ke dalam kompresor.



Gambar 2.14 Saringan Udara

Saringan yang banyak dipakai biasanya terdiri dari tabung-tabung penyaring yang berdiameter 10 mm dan panjang 10 mm. Dengan demikian jika ada debu yang terbawa akan melekat pada saringan sehingga udara yang masuk kompresor menjadi bersih, seperti pada gambar saringan udara yang menjelaskan tentang *air filter*.

2. Kontaktor

Kontaktor (*contactor*) adalah salah satu peralatan listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik 3 fase secara otomatis. Kontaktor umumnya terdiri dari 6 buah terminal yang mana masing-masing

terdiri dari 3 buah terminal *input* dan *output* untuk fase R, S, T dan masing-masing sebuah terminal *input* dan *output* terminal bantu NO yang dapat digunakan untuk membuat rangkaian *holding* saat membuat rangkaian kontrol pada motor listrik. Jadi, total ada 8 buah terminal *in* dan *out* pada kontaktor.



Gambar 2.15 Kontaktor

3. Tangki Udara

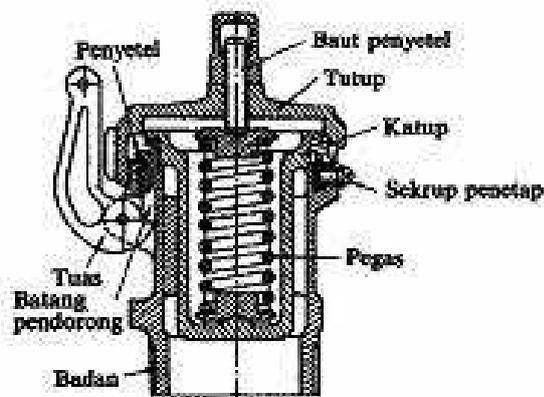
Alat ini dipakai untuk menyimpan udara tekan agar apabila ada kebutuhan udara tekan yang berubah-ubah jumlahnya dapat dilayani dengan baik dan juga udara yang disimpan dalam tangki udara akan mengalami pendinginan secara pelan-pelan dan uap air yang mengembun dapat terkumpul di dasar tangki.



Gambar 2.16 Tangki Udara

4. Katup Pengaman dan *Receiver Dryer*

Katup pengaman harus dipasang pada pipa keluar dari setiap tingkat kompresor. Katup ini harus membuka dan membuang udara keluar jika tekanan melebihi 1.2 kali tekanan normal maksimum kompresor, seperti gambar dibawah ini yang menjelaskan tentang penampang katup pengaman. *Receiver dryer* pada umumnya berfungsi sebagai pengering udara yang masuk menuju tangki, akan tetapi pada *test bed* ini *receiver dryer* digunakan untuk mengurangi getaran yang terjadi pada kompresor, agar saat pembacaan di manometer lebih akurat.



Gambar 2.17 Katup Pengaman dan *Receiver drye*