

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Kompresor

Kompresor adalah alat pemampat atau pengkompresi udara dengan kata lain kompresor adalah penghasil udara mampat. Karena proses pemampatan, udara mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara lingkungan (1atm). Dalam keseharian, kita sering memanfaatkan udara mampat baik secara langsung atau 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.

Pada industri, penggunaan kompresor sangat penting, baik sebagai penghasil udara mampat atau sebagai satu kesatuan dari mesin-mesin. Kompresor banyak dipakai untuk mesin pneumatik, sedangkan yang menjadi satu dengan mesin yaitu turbin gas, mesin pendingin dan lainnya.

Dengan mengambil contoh kompresor sederhana, yaitu pompa ban sepeda atau mobil, prinsip kerja kompresor dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika torak pompa ditarik keatas, tekanan di bawah silinder akan turun sampai di bawah tekanan atmosfer sehingga udara akan masuk melalui celah katup hisap yang kendur. Katup terbuat dari kulit lentur, dapat

mengencang dan mengendur dan dipasang pada torak. Setelah udara masuk pompa kemudian torak turun kebawah dan menekan udara, sehingga volumenya menjadi kecil.

2.2 Klasifikasi Kompresor

Prinsip kerja kompresor dan pompa adalah sama, kedua mesin tersebut menggunakan energi luar kemudian diubah menjadi energi fluida. Pada pompa, di nosel keluarnya 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.

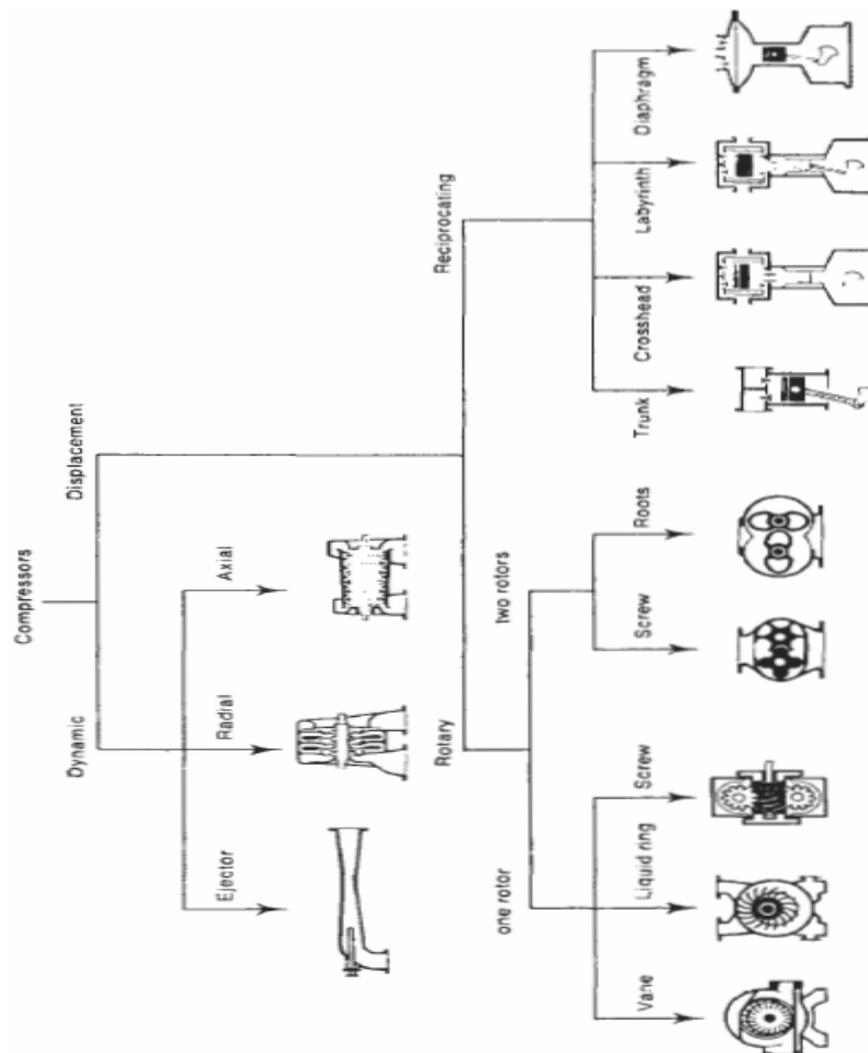
Berbeda dengan pompa yang klasifikasinya berdasarkan pola aliran, klasifikasi kompresor biasanya berdasarkan tekanannya atau cara pemampatannya. Pada gambar 2.1 adalah klasifikasi dari kompresor. Secara umum penjelasannya sebagai berikut.

Kompresor berdasarkan cara pemampatannya dibedakan menjadi dua, yaitu jenis *turb* dan jenis perpindahan.

Jenis *turb* menggunakan gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh putaran *impeler* sehingga udara mengalami kenaikan energi yang akan diubah menjadi energi tekanan. Sedangkan jenis perpindahan, dengan memperkecil volume udara yang dihisap ke dalam silinder atau *stator* dengan torak atau sudu. Kompresor yang diklasifikasikan berdasarkan tekanannya adalah kompresor untuk pemampa

t (tekanantinggi), *blower* untuk peniup (tekanan sedang) dan fan untuk kipas (tekanan rendah).

Padangambar di bawah terlihat, kompresor jenis *turbo* (dynamic) berdasarkan pola alirannya dibagi menjadi tiga, yaitu *ejector*, *radial*, dan *aksial*. Kompresor jenis ini hampir semuanya dapat beroperasi pada tekanan dari yang rendah sampai tinggi. Kompresor turbo dapat dibuat banyak tingkat untuk menaikkan tekanan dengan kapasitas besar.



Gambar 2.1. Klasifikasi Kompresor

Kompresor terdapat dalam berbagai jenis dan model, tergantung pada volume dan tekanan yang dihasilkan. Istilah kompresor banyak dipakai pada tekanan yang tinggi, *blower* untuk tekanan menengah dan *fan* untuk tekanan rendah.

Ditinjau dari cara pemampatan (kompresi) udara, kompresor dibagi menjadi 2 jenis, yaitu jenis perpindahan dan jenis *turbo*. Jenis perpindahan 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. Seperti tabel 2.1 yang menjelaskan klasifikasi kompresor untuk menentukan kompresor yang akan digunakan.

Tabel 2.1. Klasifikasi Kompresor

Tipe Kompresor	Kompresor Piston Balas	Kompresor Piston
		Kompresor Diaphragma
	Kompresor Gerak Putar Piston	Kompresor Geser
		Kompresor Poros Sekrup
		Kompresor Roots
	Kompresor Alir	Kompresor Alir Radial
		Kompresor Alir Aksial

Sularso Haran Tahara, 2004

Klasifikasi kompresor secara umum adalah :

1. Klasifikasi berdasarkan jumlah tingkat kompresi, kompresor terdiri atas: kompresor satu tingkat, dua tingkat,, banyak tingkat.

2. Klasifikasi berdasarkan langkah kerja, kompresor terdiri atas : kompresor kerja tunggal / *single acting* dan kerja ganda.
3. Klasifikasi berdasarkan susunan silinder “khusus kompresor torak”, kompresor terdiri atas: mendatar, tegak, bentuk L, bentuk V, bentuk W, bentuk bintang dan lawanimbang / *balans opposed*.
4. Klasifikasi berdasarkan cara pendinginan, kompresor terdiri atas: kompresor pendinginan air dan pendinginan udara).
5. Klasifikasi berdasarkan penempatannya, kompresor terdiri atas: kompresor permanen / *stationary* dan kompresor yang dapat dipindah-pindah / *portable*.

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			

Gambar 2.2. Klasifikasi kompresor udara

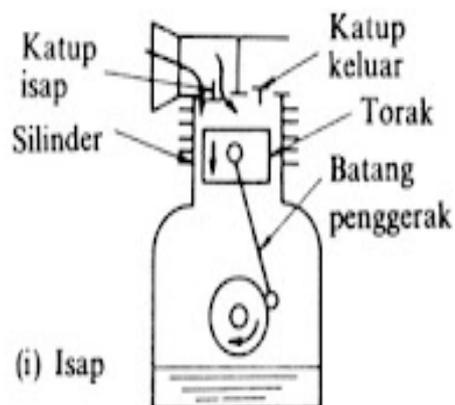
2.3 Cara Kerja Kompresor Torak

Seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini, 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.

1. Hisap

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

- a. Piston bergerak dari TDC ke BDC
- b. Intake valve membuka & exhaust valve menutup
- c. Udara luar terisap (karena didalam ruang bakar kevakumannya lebih tinggi), seperti gambar 2.3. yang menjelaskan tentang langkah isap pada kompresor torak satu tingkat.



Gambar 2.3. Kompresor Langkah Isap

2. Efisiensi Volumetrik

Efisiensi volumetrik adalah persentase pemasukan udara yang diisap terhadap volume ruang bakar yang tersedia.

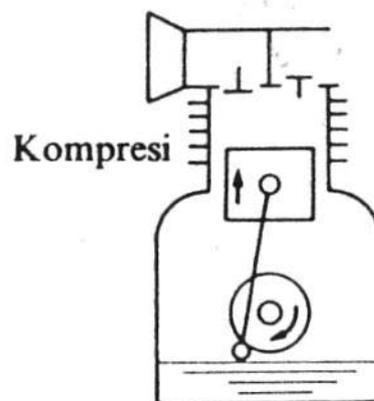
a. Kompresi

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

b. Piston bergerak dari BDC ke TDC

c. Kedua valve menutup

d. Udara dikompresikan dan menyebabkan suhu dan tekanan naik(akibat dari ruangnya dipersempit), seperti gambar 2.4. yang menjelaskan tentang langkah kompresi pada kompresor torak satu tingkat.



Gambar 2.4. Kompresor Langkah Kompresi

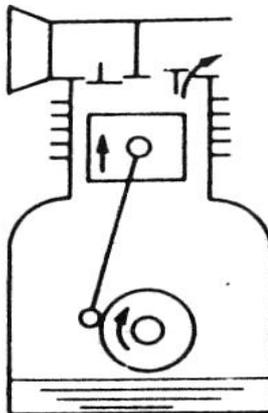
3. Power Stroke

- a. Gas sisa pembakaran mengembang (ekspansi karena panas, yang menyebabkan gaya dorong)
- b. Kedua valve menutup
- c. Piston terdorong turun ke BDC

4. Keluar atau Buang

Bila torak bergerak keatas, tekanan didalam silinder akan naik, maka katup keluar akan terbuka oleh tekanan udara atau gas, dan udara atau gas akan keluar.

- a. Piston bergerak dari BDC ke TDC
- b. Exhaust valve membuka
- c. Sisa pembakaran terbuang (melalui exhaust valve & exhaust manifold), seperti gambar 2.5. yang menjelaskan tentang langkah isap pada kompresor torak satu tingkat.

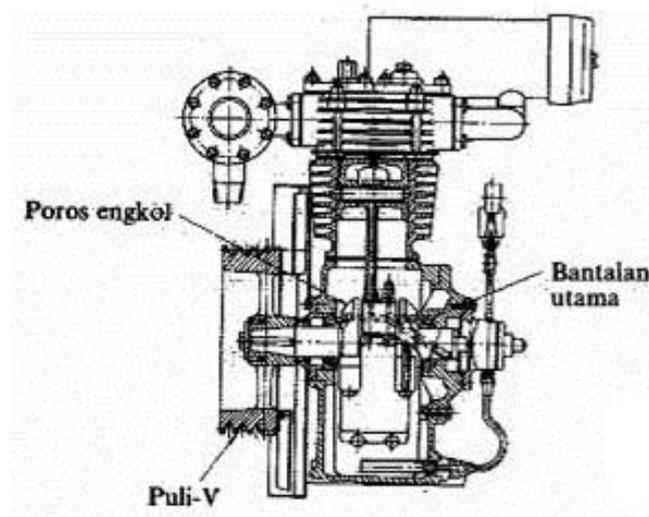


Gambar 2.5. Kompresor Langkah Keluar

2.4 Konstruksi Kompresor Torak

2.4.1 Silinder dan Kepala Silinder

Gambar berikut memberikan potongan kompresor torak kerja tunggal dengan pendinginan 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/cm^2 (4.9 Mpa) umumnya dipakai besi cor sebagai bahan silinder. Permukaan dalam silinder harus disuperfinis sebab licin torak akan meluncur pada permukaan ini. Untuk memancarkan panas yang timbul dari proses kompresi, dinding luar silinder diberi sirip-sirip. Gunanya adalah untuk memperluas permukaan yang memancarkan panas pada kompresor dengan pendinginan udara.

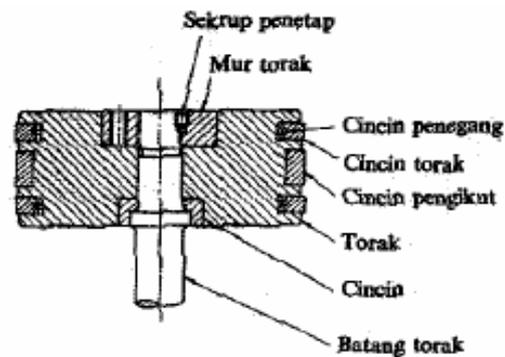


Gambar 2.6. Silinder dan Kepala Silinder

Tutup silinder terbagi atas 2 ruangan, satu sebagai sisip isap dan sebagai sisip keluar. Pada kompresor kerja ganda terdapat tutup atas silinder dan tutup bawah silinder, seperti gambar 2.6. Sebagai mana pada silinder, tutup silinder harus kuat, maka terbuat dari besi cor dan dinding luarnya diberi sirip- sirip pemancar panas/ selubung air pendingin.

2.4.2 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 2.7. Torak dari Kompresor Bebas Minyak

Seperti pada gambar 2.7. Cincin torak dipasang pada alur-alur dikeliling 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/ cm². 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 dan melulu untuk menyeka minyak yang terpercik pada dinding dalam silinder.

2.4.3 Alat Pengatur 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). Pembebas beban dapat digolongkan menurut azas kerjanya yaitu pembebas beban katup isap, pembebas beban celah katup, pembebas beban trolel isap dan pembebas beban dengan pemutus otomatis.

Untuk mengurangi beban pada waktu kompresor distart agar penggerak mula 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 :

1. Pembebas Beban Katup Isap

Jenis ini sering dipakai pada kompresor berukuran kecil/sedang. Jika kompresor bekerja maka udara akan

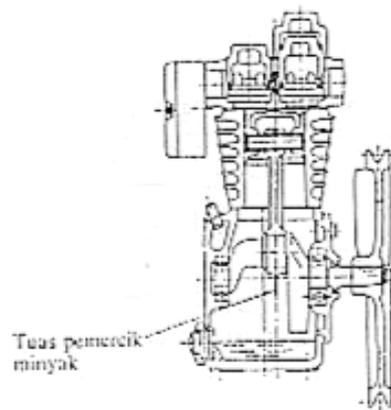
mengisi tanki udara sehingga tekanannya akan naik sedikit demi sedikit. Tekanan ini disalurkan kebagian bawah katup pilot dari pembebas beban. Namun jika tekanan didalam tanki udara naik maka katup isap akan didorong sampai terbuka. Jika tekanan turun melebihi batas maka gaya pegas dari katup pilot akan mengalahkan gaya dari tekanan tanki udara. Maka katup pilot akan jatuh, laluan udara tertutup dan tekanan dalam pipa pembebas beban akan sama dengan tekanan atmosfer.

2. Pembebas Beban dengan Pemutus Otomatik

Jenis ini dipakai untuk kompresor yang relative kecil, kurang dari 7.5 KW. Disini dipakai tombol tekanan (pressure switch) yang dipasang ditanki udara. Motor penggerak akan dihentikan oleh tombol ini secara otomatis bila tekanan udara dalam tanki udara melebihi batas tertentu. Pembebas beban jenis ini banyak dipakai pada kompresor kecil sebab katup isap pembebas beban yang berukuran kecil agak sukar dibuat.

2.4.4 Pelumasan

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



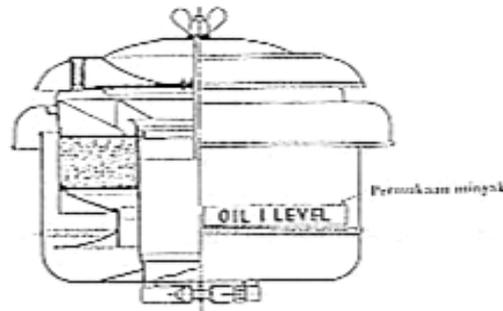
Gambar 2.8. Pelumasan Percik

Tujuannya dari gambar 2.8. adalah untuk mengecek keausan, merapatkan cincin torak dan paking, mendinginkan bagian- bagian yang saling bergeser dan mencegah pengkaratan. Untuk kompresor kerja tunggal yang berukuran kecil, pelumasan dalam maupun pelumasan luar dilakukan secara bersama 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.

2.4.5 Peralatan Pembantu

2.4.5.1 Saringan Udara

Jika udara yang diisap kompresor mengandung banyak debu maka silinder dan cincin torak akan cepat aus.



Gambar 2.9. 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 2.9. yang menjelaskan tentang air filter.

2.4.5.2 Katup Pengaman dan Receiver

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 digunakan untuk

mengurangi getaran yang terjadi pada kompresor, agar saat pembacaan di gauge lebih valid.



Gambar 2.10. Receiver dryer

2.4.5.3 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 didasar tanki.



Gambar 2.11. tangki kompresor

2.5 Teori Kompresi

2.5.1 Hubungan antara tekanan dan volume

Jika selama gas, 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 temperature 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 temperature tetap hingga volumenya menjadi V_2 , maka tekanan akan menjadi P_2 dimana :

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

2.5.2 Hubungan antara temperature 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

¹Sularso, Haruo Tahara, Pompda dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 181

sebesar $1/273$ dari volumenya pada 0°C . Sebaliknya apabila diturunkan temperaturnya sebesar 1°C akan mengalami jumlah sama.

2.5.3 Persamaan Keadaan

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

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

Di mana P : Tekanan Mutlak (kgf/m^2) atau Pa

V : Volume (m^3)

G : Berat gas (1,2 Kg) untuk udara.

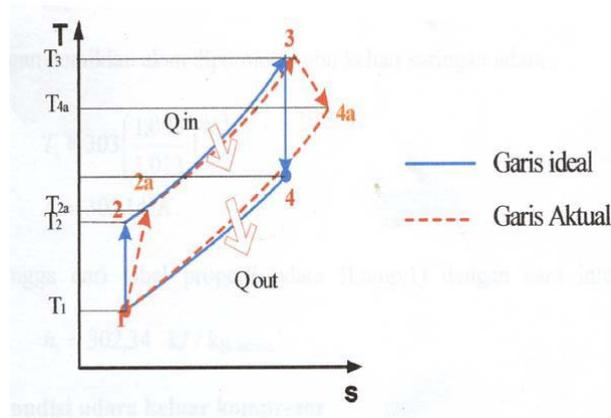
T : Temperatur mutlak ($^{\circ}\text{K}$)

R : Konstanta gas ($287 \text{ J}/\text{Kg } ^{\circ}\text{K}$) untuk udara

2.6 Proses Kompresi Gas

2.6.1 Cara Kompresi

²Ibid, hal. 183



Gambar 2.12. Diagram T-S (aktual) Siklus Brayton

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 dan turbin yang dibuat konstan untuk setiap tingkat berikutnya. (Gambar 2.12.).

1. Kompresi Isotermal

Bila suatu gas dikompresikan, maka ini ada energi mekanik yang diberikan dari luar pada gas. Energi ini diubah menjadi energi panas sehingga temperature gas akan naik jika tekanan semakin tinggi. Namun jika proses kompresi ini juga dengan pendinginan untuk mengeluarkan panas yang terjadi, temperature dapat dijaga tetap. Kompresor secara ini disebut kompresor Isotermal (temperatur tetap). Hubungan antara P dan V untuk T tetap dapat diperoleh dari persamaan :

$$^3 P_1 v_1 = P_2 v_2 = \text{tetap} \dots\dots\dots 4$$

³Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 184

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 didalam silinder tidak pernah dapat sempurna pula, dimana $k = 1,4$ untuk udara

$${}^4P \cdot v^k = \text{tetap} \quad \dots\dots\dots 5$$

3. Kompresi Politropik

Kompresi pada kompresor yang sesungguhnya bukan merupakan proses Isotermal, 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 :

$${}^5P \cdot v^n = \text{tetap} \quad \dots\dots\dots 6$$

Untuk n disebut indek politropik dan harganya terletak antara 1 (proses isotermal) dan k (proses adiabatik). Jadi $1 < n < k$. Untuk kompresor biasanya, $n = 1,25 - 1,4$. yaitu kompresor yang terjadi karena adanya panas yang dipancarkan keluar.

2.6.2 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

⁴Sularso, Haruo Tahara, *loc. cit*

⁵Sularso, Haruo Tahara, *Pompda dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 184

proses adiabatik. Dalam ompresi 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 teoritik rumus sebagai berikut :

$${}^6T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/m k} \dots\dots\dots 7$$

Di mana,

T_d : Temperatur mutlak gas keluar kompresor ($^{\circ}\text{K}$)

T_s : Temperatur isap mutlak gas masuk kompresor ($^{\circ}\text{K}$)

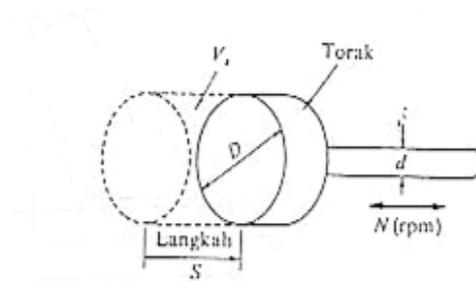
m : Jumlah tingkat kompresi ; $m = 1, 2, 3, \dots$ dst

$\frac{P_d}{P_s}$: Perbandingan tekanan = $\frac{\text{Temperatur keluar mutlak}}{\text{Temperatur isap mutlak}}$

k : Perbandingan panas jenis gas = 1,4 untuk udara

2.7 Efisiensi Volumetrik

⁶Sularso, Haruo Tahara, Pompda dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 185



Gambar 2.13. Langkah Torak Kerja Tunggal

Pada gambar 2.13, sebuah kompresor dengan silinder D (m), langkah tolak S (m), dan putaran N (rpm) dengan ukuran seperti ini kompresor akan memampatkan volume gas sebesar $V_s = (\pi/4) D^2 \times S$ (m³). Untuk setiap langkah kompresor yang dikerjakan dalam setiap putaran poros engkol. Jumlah volume gas yang dimampatkan per menit disebut perpindahan tolak. Jadi jika poros kompresor mempunyai putaran N (rpm) maka

Perpindahan tolak :

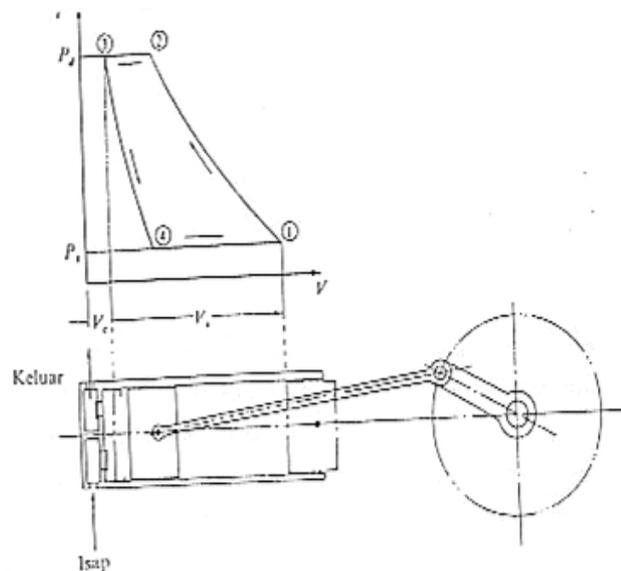
$${}^7Q_{th} = V_s \times N = (\pi/4) D^2 \times S \times N \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \dots\dots\dots 8$$

Seperti pada gambar 2.14, torak memuai langkah kompresinya padatitik (1 dalam diagram P-V). Torak bergerak ke kiri dan gas dimampatkan hingga tekanan naik ketitik (2). Pada titik ini tekanan di dalam silinder mencapai harga tekanan P_d yang lebih tinggi dari pada tekanan di dalam pipa keluar (atau tanki tekan), sehingga katup keluar pada kepala silinder akan terbuka. 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

⁷Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 187

atas, yaitu titik mati akhir gerakan torak pada langkah kompresi dan pengeluaran, seperti gambar dibawah ini.

Pada waktu torak mencapai titik mati atas, ada volume sisa sebesar V_c yaitu clearance di atas 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 terekspansi samapi 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 samapi titik ke mati bawah torak (1).



Gambar 2.14. Diagram P-V dari Kompresor

Berdasarkan siklus kerja kompresor di atas dimana gas yang diisap tidak sebesar volume langkah torak sebesar V_s , dapat dihitung efisiensi volumetris (η_v) dengan rumus senbagai berikut :

$${}^8\eta_v = \frac{Q_s}{Q_{th}} \dots\dots\dots 9$$

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

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

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

$${}^9\eta_v \approx 1 - \varepsilon \left\{ \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{1/n} - 1 \right\} \dots\dots\dots 10$$

di mana $\varepsilon = V_c/V_s$, volume sisa (clearance) relatif,

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

Tanda \approx 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 di atas karena adanya kebocoran melalui cincin torak dan katup-katup serta tahanan pada katup-katup.

2.8 Efisiensi Adiabatik

Efisiensi kompresor ditentukan oleh berbagai faktor seperti tahanan aerodinamik di dalam katup-katup, saluran-saluran, pipa-pipa, kerugian

⁸Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 189

⁹Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 189

mekanis, 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 adiabatis adalah sebagai berikut :

$$^{10}\eta_{ad} = \frac{L_{ad}}{L_s} \dots\dots\dots^{11}$$

di mana η_{ad} : Efisiensi adiabatis keseluruhan (%)

W_{ad} : Daya adiabatis teoritis (kW)

W_s : Daya yang masuk pada poros kompresor (kW)

Besarnya daya adiabatis teoritis dapat dihitung dengan rumus:

$$^{11}W_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s}{6120} Q_s \left\{ \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{k-1/mk} - 1 \right\} \quad (\text{kW}) \dots\dots\dots^{12}$$

di mana 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 :

$$^{12}W_{ad} = \frac{m \cdot k}{k-1} \cdot \frac{P_s \cdot Q_s}{60000} \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{m \cdot k}} - 1 \right] \quad (\text{kW}) \dots\dots\dots^{13}$$

Atau dapat dipakai rumus sebagai berikut jika tekanan dalam **Pa** dan Q_s dalam satuan (**m³/detik**) :

¹⁰Sularso, Haruo Tahara, Pompda dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradya Paramita, Jakarta, Cetakan ke 9, 2006, hal. 190

¹¹Ibid, hal. 190

¹²Ibid, hal. 190

$$W_{ad} = \frac{m \cdot k}{k-1} \cdot P_s \cdot Q_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{m \cdot k}} - 1 \right] \quad (\text{Watt})$$

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% sampai 80% untuk kompresor sedang dan 65 – 70% untuk kompresor kecil.

Dengan diketahuinya daya yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor (W_c), kita dapat menghitung daya motor yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor.

2.9 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 volum 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 Penerimaan Tangki (Q_s) :

$$Q_s = \frac{P_d - P_s}{P_0} \cdot \frac{V}{t}$$

Dimana Q_s = Volume penerimaan tangki (m^3 /menit)

P_0 = Tekanan Atmosfer (bar)

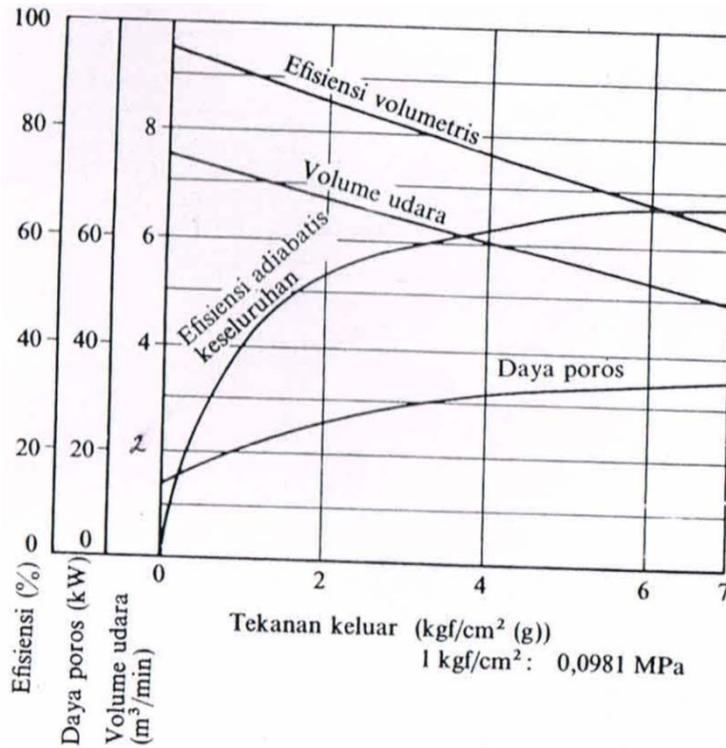
t = Lamanya pengisian kompresor (menit)

V = Volume tangki (m^3)

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

2.10 PerformansiKompresor

Apabila kapasitas dan tekanan udara atau gas yang diperlukan sudah ditetapkan, maka kompresor yang sesuai harus dipilih. Apabila terdapat beberapa kompresor yang dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan, maka untuk menentukan mana yang akan dipilih perlu dilakukan pertimbangan ekonomis. Performansi kompresor dapat digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas (volume), daya poros, efisiensi volumetris, dan efisiensi adiabatik keseluruhan, terhadap tekanan keluar, seperti dalam gambar 2.15 kurva performansi kompresor 1 tingkat. Kurva seperti ini sangat berguna untuk membandingkan performansi satu kompresor terhadap yang lain.



Gambar 2.15 Kurva perfomansi kompresor 1 tingkat

2.11 Pemasangan dan Operasional

2.11.1 Penempatan

Dalam memilih tempat yang sesuai untuk instalasi kompresor yang akan dipasang perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Instalasi kompresor harus dipasang sedekat mungkin dengan tempat yang memerlukan udara. Jika tempat-tempat ini terpecah letaknya maka kompresor sedapat mungkin dipasang di tengah-tengah. Dengan maksud agar mengurangi tahanan gesek dan kebocoran pada pipa penyalur disamping untuk menghemat ongkos-ongkos.

2. Di daerah sekitar kompresor tidak boleh ada gas yang mudah terbakar/ meledak. Pengamanan harus dilakukan sebab gas- gas yang berbahaya yang terisap oleh kompresor dapat menimbulkan reaksi kimia akan meledak dan kebakaran. Selain itu bahan yang mudah terbakar harus diajuhkan dari kompresor.
3. Pemeliharaan dan pemeriksaan harus dapat dilakukan dengan mudah. Meskipun kompresor merupakan salah satu dari sumber tenaga yang besar tetapi sering ditempatkan di sudut ruangan/ tempat yang menyulitkan untuk pemeriksaan. Karena itu pelumasan harian/ pengurasan air sering terlupakan sehingga kompresor rusak. Berhubungan dengan hal tersebut harus disediakan ruangan yang cukup untuk memudahkan pengawasan pemeliharaan dan perbaikan.
4. Ruangan kompresor harus terang, cukup luas dan berventilasi baik. Bila sebuah kompresor besar dipasang disebuah ruang kompresor, maka kondisi lingkungan yang menyangkut cahaya, luar dan ventilasi harus memenuhi persyaratan. Dengan cahaya yang cukup apabila terjadi kelainan (kebocoran) akan segera diketahui. Luas ruangan yang cukup akan memudahkan pemeriksaan, pemeliharaan dan mempertinggi keamanan kerja. Ventilasi yang baik berguna untuk menghindari akibat buruk dari kebocoran gas apabila kompresor bekerja dengan jenis gas khusus. Untuk kompresor udarapun ventilasi sangat penting

untuk mencegah kenaikan temperature yang tinggi di dalam ruangan.

5. Temperature ruangan harus lebih rendah 40°C . Kompresor mengeluarkan panas pada waktu bekerja. Jika temperature ruangan naik. Hal ini mengakibatkan kompresor bekerja pada temperature diatas normal yang dapat memperpendek umur kompresor. Sebaliknya jika temperature ruangan sangat rendah sampai dibawah 40°C , seperti keadaan pada musim dingin, maka sebelum dijalankan kompresor perlu dipanaskan dahulu. Hal ini perlu supaya kompresor tidak mengalami kerusakan pada saat start atau jalan karena pembekuan air pendingin atau air kurasan.
6. kompresor harus ditempatkan didalam kerangka yang sesuai. Dan hindari dari panas matahari dan air hujan, supaya badan kompresor atau motor dapat cepat rusak atau kecelakaan.

2.11.2 Pemasangan

Sebelum kompresor dipasang pondasi beton harus dipastikan sudah mengerah seluruhnya dan letak dan ukuran lubang baut diperiksa apakah sesuai dengan gambar kerja. Baut jangkar pondasi dapat ditanam pada posisi yang tepat jika penetapannya dilakukan pada waktu pemasangan kompresor. Namun jika baut- baut ini harus ditanam mendahului pemasangan kompresor, penempatan baut harus dilakukan sesuai gambar kerja pondasi dengan menggunakan plat pola bila perlu. Setiap baut harus muncul dengan panjang tertentu

diatas permukaan pondasi. Dalam hal ini sepertiga bagian atas baut dibiarkan tidak dicor dengan beton untuk memungkinkan sedikit penyesuaian pada waktu pemasangan kompresor. Kompresor dan motor yang akan dihubungkan dengan sabuk V harus sejajar dan rata, dengan tegangan sabuk tepat. Kompresor dan motor yang akan dihubungkan dengan kopling secara langsung memerlukan pelurusan.

Pemasangan kabel- kabel listrik harus menggunakan bahan kabel yang memenuhi standart yang berlaku, yaitu:Ukuran dan kapasitas kabel, sekering dan tombol- tombol harus ditentukan dengan hati- hati, jika kabel terlalu panjang atau ukuran yang terlalu kecil dapat terjadi penurunan tegangan yang terlalu besar. Hal ini dapat menimbulkan kesulitan atau kerusakan pada waktu start dimana motor dapat terbakar. Tegangan listrik pada terminal motor tidak boleh kurang dari 90% harga normalnya.