

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pengertian Kompresor

Kompresor merupakan mesin fluida yang menambahkan energi ke fluida kompresibel yang berfungsi untuk menaikkan tekanan. Kompresor biasanya bekerja dengan perbedaan tekanan antara tekanan atmosfer dan didalam kompresor dimana tekanan didalam kompresor lebih rendah dari tekanan atmosfer. Jika kompresor bekerja pada tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer maka kompresor disebut sebagai penguat (*booster*), dan jika kompresor bekerja dibawah tekanan atmosfer maka disebut pompa vakum.

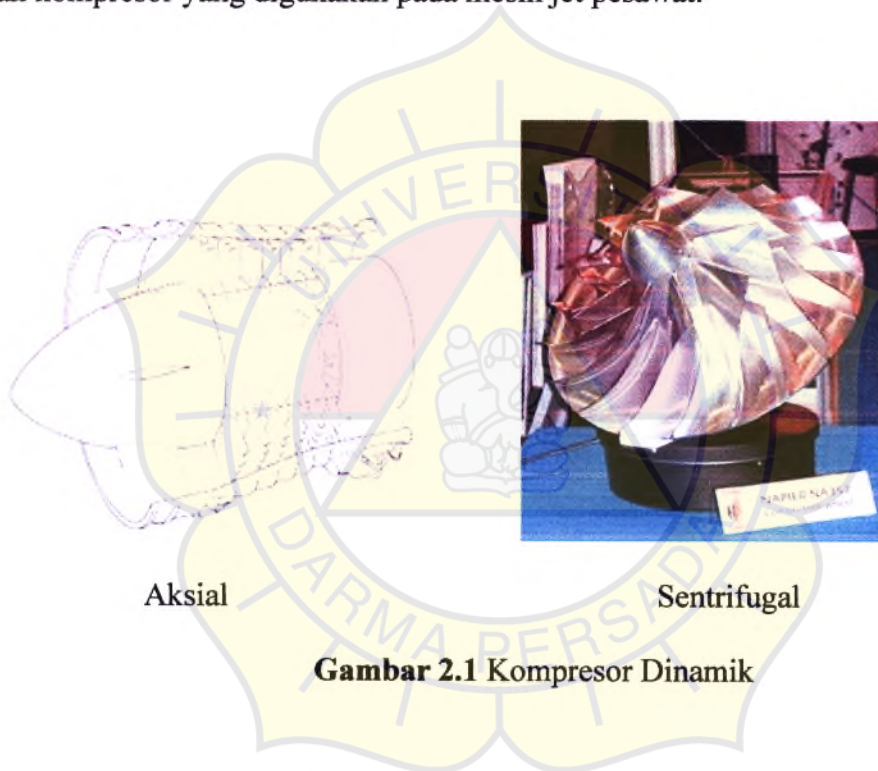
Gas mempunyai kemampuan besar untuk menyimpan energi persatuan volume dengan menaikkan tekanannya, namun ada hal-hal yang harus diperhatikan yaitu : kenaikan temperatur pada pemampatan, pendinginan pada pemuain, dan kebocoran yang mudah terjadi.

#### 2.2 Jenis-jenis Kompresor

Kompresor dibagi atas 2 tipe dasar yaitu kompresor perpindahan positif dan dinamik. Kompresor perpindahan positif dibagi atas kompresor torak dan kompresor rotary. kompresor dinamik juga dibagi atas kompresor sentrifugal dan axial.

### 2.2.1 Kompresor Dinamik

Kompresor Dinamik merupakan mesin alir udara yang berputar secara kontinu, dengan menggunakan suatu elemen yang berputar dengan cepat sehingga menghasilkan gaya sentrifugal yang arahnya keluar, membuat udara tersebut akan termampatkan sehingga tekanannya akan naik. Kompresor Dinamik terbagi atas 2 tipe yaitu : Kompresor Sentrifugal dan Kompresor Axial. Contoh aplikasi dari kompresor dinamik ini adalah kompresor yang digunakan pada mesin jet pesawat.



Aksial

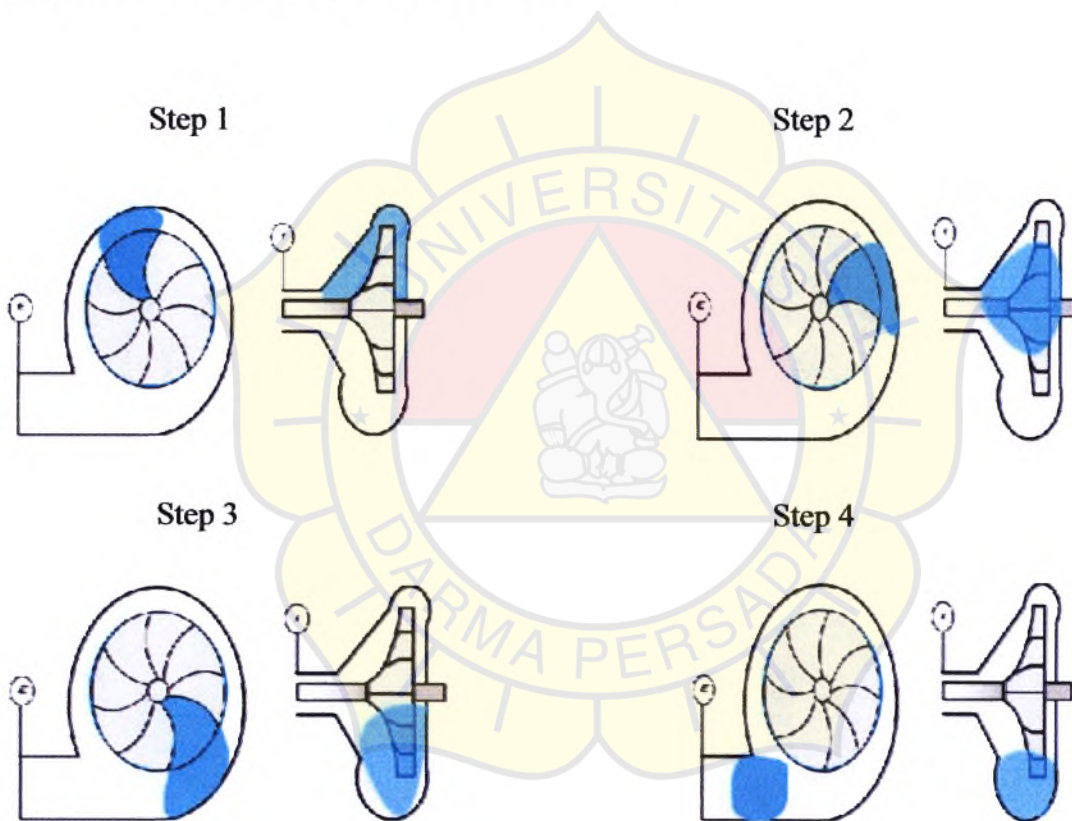
Sentrifugal

**Gambar 2.1** Kompresor Dinamik

### 2.2.2 Kompresor Sentrifugal

Kompresor Sentrifugal menghasilkan tekanan yang tinggi melalui perputaran *impeller* dengan kecepatan tinggi, ekspansi udara yang masuk menyebabkan pertambahan massa yang nantinya menimbulkan gaya sentrifugal yang mementalkan udara tersebut ke luar, ditambah dengan adanya pembesaran penampang pada diffuser yang menyebabkan tekanan menjadi tinggi.

Kompresor sentrifugal sering juga disebut orang dengan Kompresor Radial, artinya arah masukan udara tegak lurus terhadap hasil udara keluarannya. Agar lebih efisien Kompresor Sentrifugal berputar sangat cepat bila dibandingkan dengan tipe kompresor lainnya. Kompresor ini juga dirancang untuk kapasitas yang lebih besar karena aliran udara yang melewati kompresor kontinu. Contoh aplikasinya adalah pada kompresor untuk *chiller* pada gedung atau bangunan.



**Gambar 2.2** Skema kerja dari kompresor sentrifugal



Pada skema kerja diatas dapat kita lihat bahwa :

Step 1 : Udara luar masuk diputar oleh *impeller* dengan kecepatan tinggi.

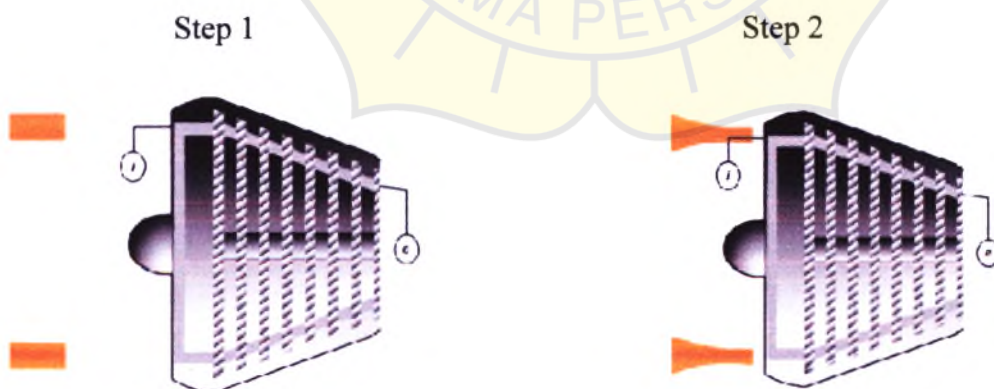
Step 2 : Udara masuk diekspansikan sehingga terjadinya pertambahan massa dari udara tersebut.

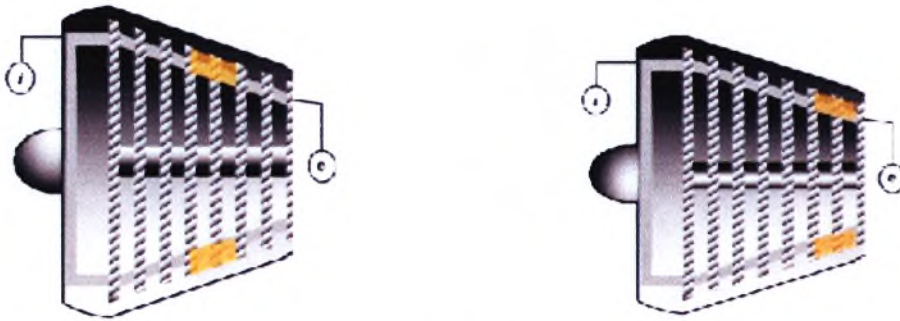
Step 3 : Udara masuk dipentalkan oleh *impeller* ke dinding silinder kompresor.

Step 4 : *Difuser* pada kompresor akan menambah tekanan dari udara yang dipentalkan, sehingga didapatkan udara yang bertekanan tinggi.

### 2.2.3 Kompresor Axial

Pada kompresor axial, aliran udara parallel terhadap sumbu putar. Kompresor ini tersusun atas beberapa tingkat *impeller* . Beberapa tingkat tersebut disebut rotor yang dihubungkan dengan poros sentral yang berputar dengan kecepatan tinggi. Dengan kata lain, arah aliran udara yang masuk searah dengan udara yang dimampatkan oleh kompresor. Kompresor ini biasanya banyak digunakan pada industri pesawat terbang.





**Gambar 2.3** Skema kerja kompresor axial

Pada skema kerja diatas dapat kita lihat bahwa :

Step 1 : Udara masih berada di luar kompresor.

Step 2 : Udara mulai terhisap masuk ke dalam kompresor

Step 3 : Udara masuk dipentalkan oleh impler ke dinding silinder kompresor.

Step 4 : Udara bertekanan tinggi setelah dimampatkan mulai meninggalkan kompresor.

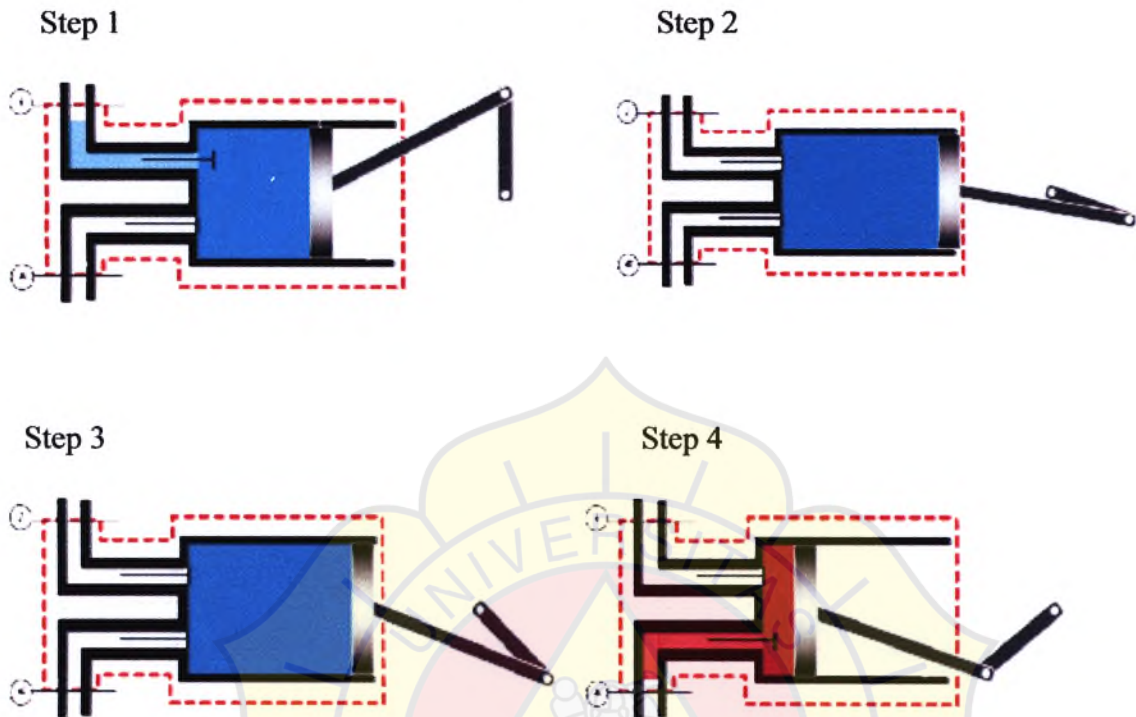
#### **2.2.4 Kompresor Perpindahan Positif (*Positive displacement*):**

Kompresor torak dan rotary merupakan 2 jenis dari kompresor perpindahan positif. Pada kompresor perpindahan positif ini menaikkan tekanan udara dengan cara mengkompres udara tersebut pada ruang tertutup sehingga menyebabkan kenaikan tekanan.



**Gambar 2.4** kompresor perpindahan positif

## Kompresor Torak (*Reciprocating Compressor*)



**Gambar 2.5** kompresor torak

Pada skema kerja diatas dapat kita lihat bahwa :

Step 1 : Udara dari lingkungan dihisap ke dalam silinder kompresor

Step 2 : Udara terhisap memenuhi silinder dan piston mencapai posisi terbawah

Step 3 : Udara masuk dimampatkan atau ditekan sehingga tekanannya naik

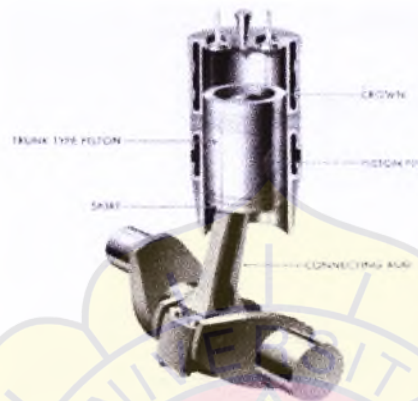
Step 4 : Udara bertekanan tinggi setelah dimampatkan didorong keluar dari silinder

Aplikasi dari kompresor yaitu sering digunakan di kehidupan sehari-hari yang digunakan di bengkel- bengkel sepeda motor dan mobil dan pencucian mobil untuk menghasilkan air yang bertekanan.



### ***Single Acting Compressor***

Pada kompresor ini satu kali putaran poros kompresor menghasilkan satu kali udara bertekanan



**Gambar 2.6** *Single Acting Compressors*

### ***Double Acting Compressor***

Pada kompresor ini tekanan dihasilkan pada kedua sisi compressor, tekanan dihasilkan silih berganti antara kedua sisinya dalam satu putaran poros kompresor. kompresor yang kedua bertindak sebagai boster kompresor pertama. Aplikasi dari kompresor torak satu silinder dan dua silinder banyak digunakan dalam kehidupan sehari- hari seperti kompresor yang digunakan pada pencucian mobil agar menghasilkan air bertekanan.



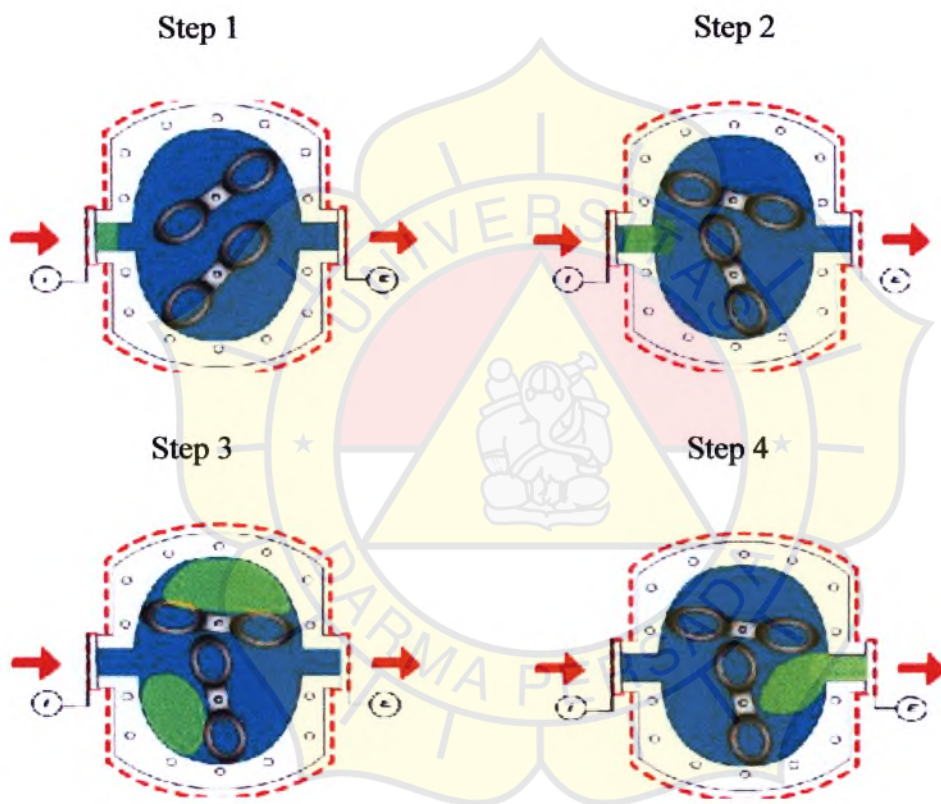
## 2.2.5 Kompresor Putar (Rotary)

### Pembagian kompresor rotary

#### 1. Lobe Compressors

Udara masuk dimampatkan melalui *Blade* (Mata Pisau) yang berputar cepat.

*Blade* tersebut digerakkan untuk memampatkan udara yang masuk.



**Gambar 2.10** Skema Kerja Kompresor Rotary

Pada skema kerja di atas terlihat bahwa :

Step 1 : Udara luar masuk melalui perbedaan tekanan antara kompresor dengan tekanan udara lingkungan.

Step 2 : Udara masuk, mulai mengembang/ di ekspansikan oleh Blade.



Step 3 : Udara dimampatkan ke dinding silinder oleh Blade.

Step 4 : Udara bertekanan tinggi keluar melalui katup keluar.

Tekanan dihasilkan melalui pergerakan roda gigi dalam sebuah rumah yang dirancang memiliki *clearance* yang sangat kecil sehingga tidak ada kontak antara roda gigi dan *chasing* kompresor. Udara masuk ketika terbentuk rongga antara dua roda gigi dan udara yang terjebak didalam rongga akan terkompres melalui perputaran roda gigi. Aplikasi dari kompresor jenis ini yaitu kompresor yang digunakan pada industri makanan karena memiliki kualitas udara terkompresi yang tinggi.

## **2. Liquid Ring Compressors**

Ketika *impeller* berputar, gaya sentrifugal menyebabkan berkumpulnya *liquid* menjauhi *impeller* dan terbentuk lubang pada bagian casing yang dekat dengan ujung *impeller* . *Inlet* diletakkan pada bagian lobang yang terbentuk akibat gaya sentrifugal dan *outlet* pada bagian tengah *impeller* . Udara bertekanan dihasilkan dari putaran dan *liquid* membuat kebocoran sangat kecil dan menghindari terjadinya kontak antara dan *chasing*. *Liquid* berperan dalam pemampatan udara yang terhisap kedalamnya sehingga menghasilkan udara bertekanan dan untuk mencegah kebocoran fluida yang dimampatkan. Contoh aplikasi jenis kompresor ini yaitu industri kimia dan petrokimia. Jenis *liquid* yang sering digunakan adalah air dan oli.

### 2.3 Klasifikasi Kompresor

Berdasarkan alat rasio tekanan :

1. Kompresor (pemampat) dipakai untuk jenis yang bertekanan tinggi, kompresor mempunyai rasio tekanan  $> 3$ .
2. *Blower* ( peniup ) untuk yang bertekanan agak rendah, blower mempunyai rasio tekanan 1-3.
3. *Fan* ( kipas ) untuk yang bertekanan sangat rendah, fan mempunyai rasio tekanan  $< 1$ .

Berdasarkan cara pemampatan :

1. Jenis turbo, menaikkan tekanan dan kecepatan gas dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeler, atau dengan gaya angkat (*lift*) yang ditimbulkan oleh sudu yang dibedakan dalam arah aliran udara : kompresor aksial dan kompresor sentrifugal.
2. Jenis perpindahan, menaikkan tekanan dengan memperkecil atau memampatkan volume gas yang diisap ke dalam silinder atau stator oleh torak atau sudu. Kompresor jenis perpindahan dibagi menjadi : jenis putar dan bolak-balik. Kompresor putar dibagi : jenis roots, sudu lurus, dan sekrup.

### 2.4 Prinsip Kerja Kompresor Secara Umum

Mesin kompresor udara memiliki prinsip kerja yang sudah terorganisir dengan baik. Prinsip kerja kompresor merupakan satu kesatuan yang saling mendukung, sehingga kompresor dapat bekerja dengan maksimal. Prinsip kerja dari sebuah kompresor biasanya terbagi menjadi empat prinsip utama, yaitu:



sehingga kompresor dapat bekerja dengan maksimal. Prinsip kerja dari sebuah kompresor biasanya terbagi menjadi empat prinsip utama, yaitu:

#### **2.4.1 Staging**

Selama proses kerja kompresor, suhu dari mesin kompresor menjadi tinggi dan meningkat sesuai dengan tekanan yang terdapat dalam kompresor tersebut. Sistem ini lebih dikenal dengan nama *polytopic compression*. Jumlah tekanan yang terdapat pada kompresor juga meningkat seiring dengan peningkatan dari suhu kompresor itu sendiri. Kompresor mempunyai kemampuan untuk menurunkan suhu tekanan udara dan meningkatkan efisiensi tekanan udara. Tekanan udara yang dihasilkan oleh kompresor mampu mengendalikan suhu dari kompresor untuk melanjutkan proses berikutnya.

#### **2.4.2 Intercooling**

Pengendali panas, atau yang lebih dikenal dengan *intercooler* merupakan salah satu langkah penting dalam proses kompresi udara. *Intercooler* mempunyai fungsi untuk mendinginkan tekanan udara yang terdapat dalam tabung kompresor, sehingga mampu digunakan untuk keperluan lainnya. Suhu yang dimiliki oleh tekanan udara dalam kompresor ini biasanya lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu ruangan, dengan perbedaan suhu berkisar antara 10°Fahrenheit (sekitar -12°Celcius) sampai dengan 15°Fahrenheit (sekitar -9°Celcius).

#### **2.4.3 Compressor Displacement**

Secara teori, kapasitas kompresor adalah sama dengan jumlah tekanan udara yang dapat ditampung oleh tabung penyimpanan kompresor. Kapasitas sesungguhnya dari kompresor dapat mengalami penurunan kapasitas. Penurunan ini dapat diakibatkan



oleh penurunan tekanan pada *intake*, pemanasan dini pada udara yang masuk ke kompresor, kebocoran, dan ekspansi volume udara

#### **2.4.4 Specific Energy Consumption**

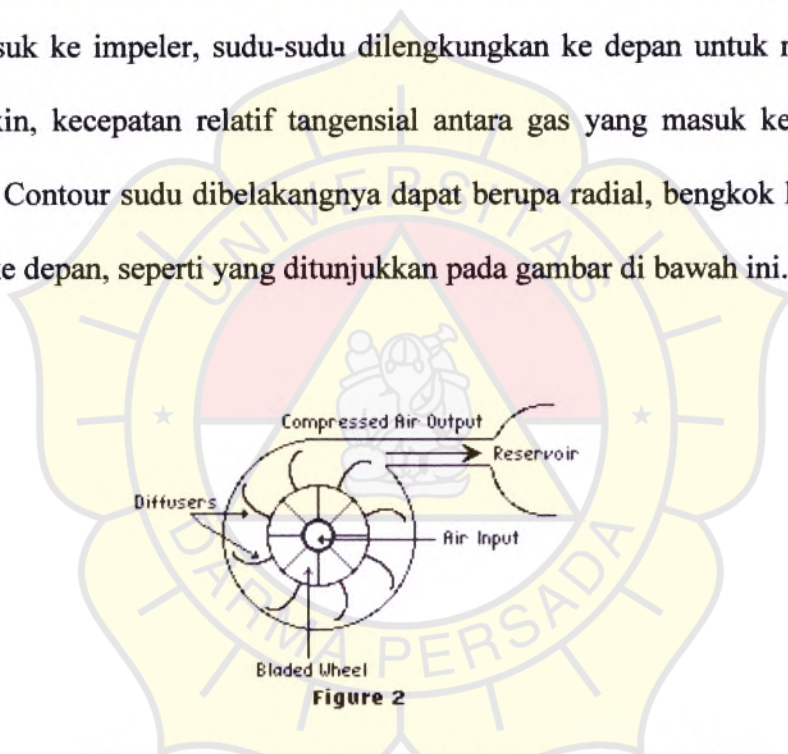
Yang dimaksud dengan *specific energy consumption* pada kompresor adalah tenaga yang digunakan oleh kompresor untuk melakukan kompresi udara dalam setiap unit kapasitas kompresor. Biasanya *specific energy consumption* pada kompresor ini dilambangkan dengan satuan bhp/100 cfm.

### **2.5 Cara Kerja Kompresor**

#### **2.5.1 Kompresor Sentrifugal (Dinamik)**

Sebuah kompresor sentrifugal menghasilkan tekanan dengan meningkatkan kecepatan gas yang melewati impeler, dan selanjutnya pengaturan kecepatan dengan peralatan pengontrol sehingga diperoleh aliran dan tekanan yang diinginkan. Kompresor sentrifugal ini konstruksi dan cara kerjanya sangat mirip dengan pompa sentrifugal. Fluida yang dialirkan udara dan gas dengan kerapatan ( $\text{kg/m}^3$ ) yang cukup kecil, dan sangat dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur gas. Agar kompresor bisa bekerja, kompresor membutuhkan atau memperoleh daya dari mesin penggerak kompresor di dalam roda jalan fluida kerja mendapat percepatan sedemikian rupa sehingga fluida itu mempunyai kecepatan mengalir keluar dari sudu-sudu roda jalan. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan akan berkurang dan berubah menjadi head ketinggian  $H$  di sudu-sudu pengarah atau dirumah keong. Diagram skematis kompresor sentrifugal diberikan pada gambar dibawah. Impeler berputar bersama poros sementara sudu pengarah difuser dipasang tetap pada rumah kompresor. Gas yang dimampatkan harus dibuang melalui rumah keong (*volut*), yang mengelilingi *diffuser*.

Untuk pemampatan tiap tingkat, buangan dari *diffuser* tingkat pertama disalurkan kembali ke pusat perputaran untuk memasuki impeler tingkat yang berikutnya yang dipasang pada poros yang sama. dengan cara ini, perbandingan tekanan yang agak tinggi dapat dicapai pada mesin-mesin sentrifugal, yang biasanya adalah kompak dan dalam kesetimbangan yang baik. keseluruhan kerja pemampatan dilakukan pada impeler, sementara ada penurunan kecepatan dan dengan demikian kenaikan tekanan statik dalam difuser stasioner, tidak akan terdapat perubahan entalpi stagnasi di sana. Pada jalan masuk ke impeler, sudu-sudu dilengkungkan ke depan untuk memberikan, sedekat mungkin, kecepatan relatif tangensial antara gas yang masuk ke permukaan yang berputar. Contour sudu dibelakangnya dapat berupa radial, bengkok ke belakang, atau bengkok ke depan, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.11** Prinsip Kerja Kompresor Sentrifugal



### 2.5.2 Kompresor *Positive Displacement*

Untuk kompresor jenis positif *displacement* yaitu kompresor torak, cara kerjanya adalah sebagai berikut, jika torak ditarik ke atas, tekanan dalam silinder dibawah torak akan menjadi negatif (lebih kecil dari tekanan atmosfer) sehingga udara akan masuk melalui celah katup isap. Katup ini dipasang pada torak yang sekaligus berfungsi juga sebagai perapat torak.

kemudian jika torak ditekan kebawah, volume udara yang terkurung dibawah torak akan mengecil sehingga tekanan akan naik. Katup isap akan menutup dengan merapatkan celah antara torak dan dinding silinder. Jika torak ditekan terus volume akan semakin kecil dan tekanan didalam silinder akan naik. katup isap akan menutup dengan merapatkan celah antara torak dan dinding silinder.

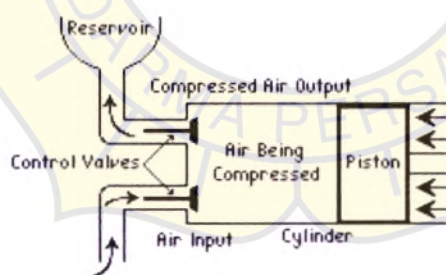


Figure 1

**Gambar 2.12** Proses Pemampatan Udara Pada Kompresor Torak

Sebagai penggerak kompresor digunakan motor listrik jenis sangkar bajing (*squirrel cage*). Transmisi daya adalah transmisi sabuk. Besar kerja mekanik yang dilakukan oleh motor dapat ditentukan dengan mengukur torsi. Sedangkan putaran motor diukur dengan *tachometer*. Kondisi-kondisi udara pada stasion-stasion yang penting dapat



diketahui dengan mengukur tekanan dan temperaturnya (bola basah dan bola kering). Laju aliran udara diukur dengan menggunakan orifis dan manometer. Massa jenis ( $\rho$ ) cairan manometer adalah 787 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.6 Proses Kompresi Gas

### 2.6.1 Cara Kompresi

Kompresi dapat dilakukan dengan : Isotermal, Isentropik (adiabatik), dan politropik.

#### a. Kompresi Isotermal.

Bila gas dikompresi, maka ada energi mekanik yang diberikan dari luar ke gas. Energi ini dirubah menjadi energi panas sehingga temperatur gas naik jika tekanan semakin tinggi. Namun jika proses kompresi dibarengi dengan pendinginan untuk mengeluarkan panas, temperatur dapat dijaga tetap disebut dengan kompresi isotermal.  $P V = \text{Konstan}$  Kompresi ini sangat berguna dalam analisa teoritis, namun secara praktek jauh sekali perbedaannya.

$$W = P_1 V_1 \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \quad (\text{N/m}) \quad (2-1)$$

#### b. Kompresi Isentropik

Jika silinder diisolasi secara sempurna, maka kompresi akan berlangsung tanpa ada panas yang keluar dari gas atau masuk ke gas. Proses ini disebut adiabatik. Dalam praktek proses ini tidak pernah terjadi secara sempurna, namun sering dipakai dalam kajian teoritis. kompresi adiabatik akan menghasilkan tekanan yang lebih tinggi dari pada proses isotermal dengan demikian kerja yang diperlukan pada kompresi adiabatik juga lebih besar.

$$W = \frac{\gamma}{\gamma-1} \rho_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \text{ (N/m) (2-2)}$$

### c. Kompresi politropik

Karena sesungguhnya kompresi bukan isothermal karena ada kenaikan temperatur, dan juga bukan adiabatik karena ada panas yang dipancarkan keluar. Jadi proses kompresi yang sesungguhnya ada diantara keduanya dan disebut kompresi politropik.

$$W = \frac{n}{n-1} \rho_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{ (N/m) (2-3)}$$

$P V^n = \text{Konstan}$

dimana :  $n = \text{Indeks politropik } (1 < n < k)$

## 2.7 Perubahan Temperatur

Pada waktu kompresi, temperatur gas dapat berubah tergantung pada jenis proses yang dialami. Hubungan temperatur dan tekanan untuk masing-masing proses :

- a. Proses Isotermal, dimana proses ini temperatur dijaga tetap.
- b. Proses Isentropik.

Dalam kompresi adiabatik tidak ada panas yang dibuang keluar atau dimasukkan ke silinder sehingga seluruh kerja mekanis yang diberikan dalam proses ini akan dipakai untuk menaikkan temperatur gas.

$$T_d = T_s \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/k} \text{ (K) (2-4)}$$

dimana :  $T_d = \text{Temperatur keluar (K)}$

$T_s = \text{Temperatur masuk (K)}$

$P_d$  = Tekanan keluar (Pa)

$P_s$  = Tekanan masuk (Pa)

c. Proses Politropik.

Jika selama proses kompresi udara didinginkan, misalnya dengan memakai air pendingin untuk silinder, maka sebagian panas yang timbul akan dikeluarkan.

## 2.8 Efisiensi Volumetrik dan Adiabatik

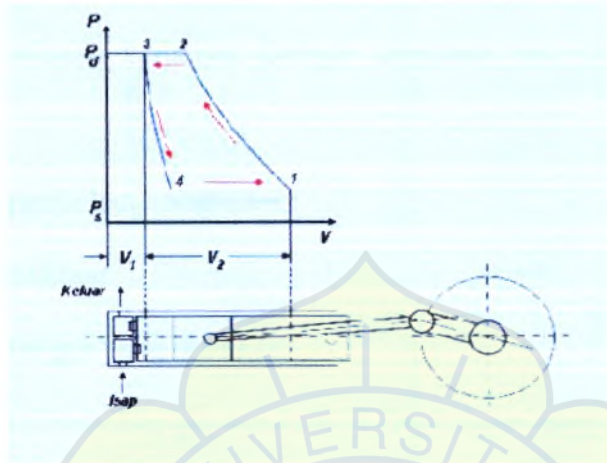
### a. Efisiensi Volumetrik.

Efisiensi volumetrik merupakan fungsi dari kecepatan udara yang terisap, dimana maksimum terjadi pada suatu putaran poros tertentu. Dengan demikian merupakan fungsi dari faktor kelebihan udara, yaitu turun dengan turunnya kerapatan udara. Efisiensi volumetrik (*Volumetric Efficiency*, VE) sebuah mesin (dalam hal ini mesin piston) dapat dikatakan sebagai ukuran seberapa banyak udara yang masuk ke dalam silinder/ruang bakar. Ukurannya adalah massa/berat udara bukan volumenya. Jika ukurannya volume, tentu saja jumlah udara selalu tetap yaitu sama dengan volume silinder. Sebagai contoh, untuk mesin berkapasitas 100cc, jumlah udaranya 100cc. Jumlah udara dengan volume sama dan massa yang berbeda artinya massa jenisnya berbeda. Namun, ukuran yang paling sering digunakan bukan massa atau massa jenis melainkan tekanan karena tekanan dapat langsung diukur oleh sensor tekanan. Tekanan tinggi artinya massa jenisnya besar dan tekanan rendah artinya massa jenisnya kecil. VE dinyatakan dalam persen. VE 100% artinya silinder terisi dengan udara yang mempunyai tekanan sama dengan tekanan luar (tekanan atmosfer, 1 atm).



$$\text{Efisiensi Volumetrik} = \frac{\text{volume of air delivered}}{\text{volume sapuan torak}}$$

$$\eta_v = \frac{Q_s}{Q_{th}} \dots\dots\dots(2-5)$$



**Gambar 2.13** Diagram P – V dari kopresor torak

Keterangan :

1-2 : Isotermal / Kompresi

Pada posisi ini piston bergerak ke kiri dan menekan udara sampai volumenya menjadi kecil ( $V_2$ ) dan tekanan meningkat.

2-3 : Isobarik / Langkah Buang

Setelah mencapai tekanan tertentu ( $P_2 - P_3$ ) maka katup keluar akan terbuka sehingga terjadi percampuran udara dalam silinder dengan reservoir meskipun volume diperkecil lagi (sampai  $V_3$ ) tekanan tetap konstan.

3-4 : Expansi Adiabatik

Disini piston mulai bergerak ke kanan sehingga volume membesar dan tekanan menjadi turun.

4-1 : Langkah Buang

Katup masuk terbuka dan terjadi pencampuran udara luar dengan udara dalam silinder sehingga meskipun diperbesar tekanan akan tetap konstan.

Dalam spesifikasi kompresor, angka yang terpenting adalah laju volume gas yang dikeluarkan serta tekanan kerjanya. Dengan demikian bisa dihitung keperluan daya untuk kompresor.

Persyaratan dalam pemilihan kompresor :

1. Tekanan isap dan keluar
2. Jenis dan sifat-sifat gas yang ditangani
3. Temperatur dan kelembaban gas dan kondisi lingkungan tempat instalasi
4. Kapasitas aliran yang diperlukan dan peralatan pengaturnya
5. Cara pendinginan
6. Sumber tenaga dan jenis penggerak mula
7. Jenis kompresor, pelumasannya, tingkat kompresi. Permanen atau *portable*
8. Bahan kompresor dan instalasi

Hal lain yang harus diperhitungkan dalam pemilihan kompresor :

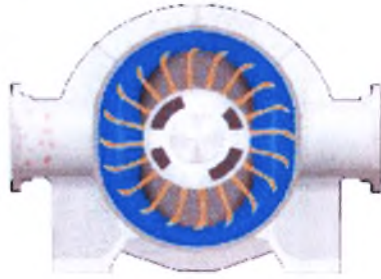
1. Biaya investasi
2. Biaya operasi
3. Biaya *maintenance*

## 2.9 Indicated Horse Power

Bila  $N$  menyatakan kecepatan poros engkol, maka jumlah langkah kerja ( $N_w$ ) adalah:

$N_w = N$  untuk kompresor aksi tunggal

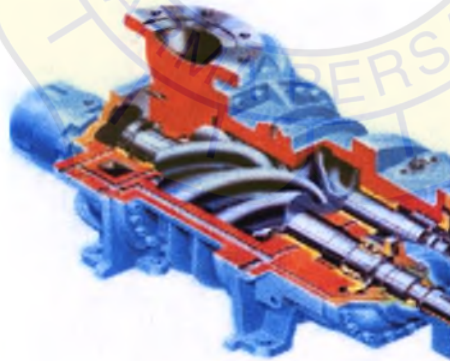
$N_w = 2N$  untuk kompresor aksi ganda



**Gambar 2.11** *Liquid ring compressor*

### ***3. Helical Screw Compressors***

Kompresor ini memiliki sudu *helix* untuk memampatkan udara. Pada kompresor ini digunakan *screw* sebagai pemampat udara dengan putaran dan ukurannya yang mengerucut sehingga udara termampatkan. Aplikasinya terdapat pada mesin konstruksi untuk memasok udara.



**Gambar 2.12** Kompresor *helical screw*



Bila  $W$  diambil dari persamaan  $b$ , maka disebut *adiabatic h.p.* dan jika  $W$  diambil dari persamaan  $c$ , maka dinamakan *isothermal h.p.* Indicated horse power (IHP) biasa juga dikenal sebagai *air horse power* (AHP). Daya yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor disebut *shaft horse power* (SHP) atau *brake horse power* (BHP). Jadi dalam suatu kompresor BHP selalu lebih besar daripada IHP.

