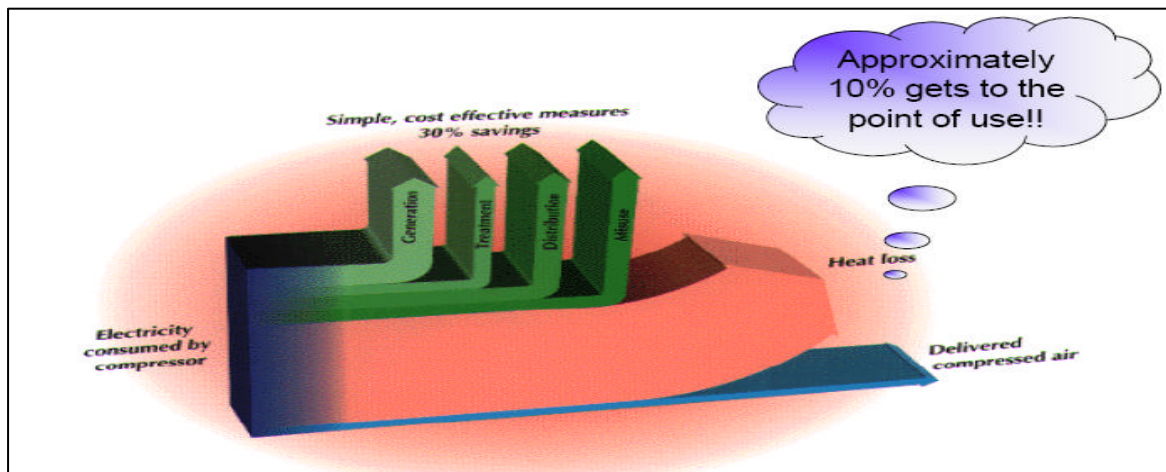


## KOMPRESOR DAN SISTIM UDARA TEKAN

1. PENDAHULUAN .....	1
2. JENIS KOMPRESOR .....	3
3. PENGKAJIAN KOMPRESOR DAN SISTIM UDARA TEKAN.....	8
4. PELUANG EFISIENSI ENERGI .....	12
5. DAFTAR PERIKSA OPSI.....	20
6. LEMBAR KERJA .....	21
7. DAFTAR ACUAN .....	24

### 1. PENDAHULUAN

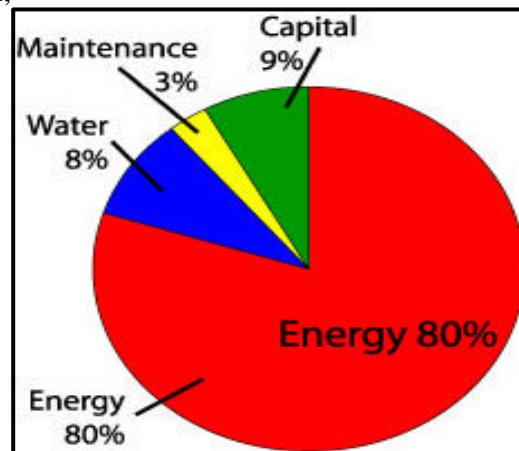
*Plant* industri menggunakan udara tekan untuk seluruh operasi produksinya, yang dihasilkan oleh unit udara tekan yang berkisar dari 5 *horsepower* (hp) sampai lebih 50.000 hp. Departemen Energi Amerika Serikat (2003) melaporkan bahwa 70 sampai 90 persen udara tekan hilang dalam bentuk panas yang tidak dapat digunakan, gesekan, salah penggunaan dan kebisingan (lihat gambar 1). Sehingga, kompresor dan sistim udara tekan menjadi area penting untuk meningkatkan efisiensi energi pada *plant* industri.



Gambar 1. Diagram Shanky untuk Sistim Udara Tekan (McKane and Medaris, 2003)

Merupakan catatan yang berharga bahwa biaya untuk menjalankan sistim udara tekan jauh lebih tinggi daripada harga kompresor itu sendiri (lihat Gambar 2). Penghematan energi dari perbaikan sistim dapat berkisar dari 20 sampai 50 persen atau lebih dari pemakaian listrik, menghasilkan ribuan bahkan ratusan ribu dolar. Sistim udara tekan yang dikelola dengan benar dapat

menghemat energi, mengurangi perawatan, menurunkan waktu penghentian operasi, meningkatkan produksi, dan meningkatkan kualitas.



**Gambar 2. Komponen biaya dalam sistim udara tekan (eCompressedAir)**

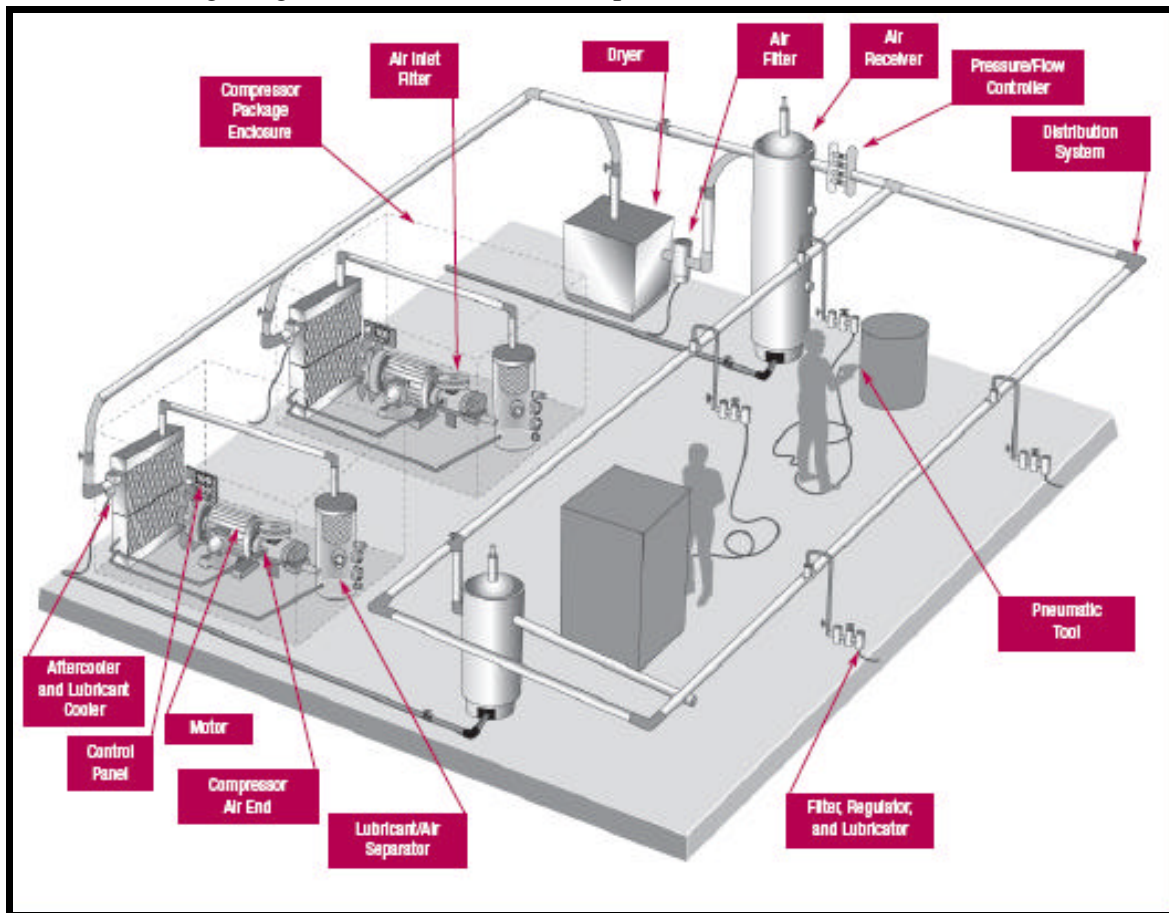
Sistim udara tekan terdiri dari bagian pemasokan, yang terdiri dari kompresor dan perlakuan udara, dan bagian permintaan, yang terdiri dari sistim distribusi & penyimpanan dan peralatan pemakai akhir. Bagian pemasokan yang dikelola dengan benar akan menghasilkan udara bersih, kering, stabil yang dikirimkan pada tekanan yang dibutuhkan dengan biaya yang efektif. Bagian permintaan yang dikelola dengan benar akan meminimalkan udara terbuang dan penggunaan udara tekan untuk penerapan yang tepat. Perbaikan dan pencapaian puncak kinerja sistim udara tekan memerlukan bagian sistim pemasokan dan permintaan dan interaksi diantara keduanya.

### 1.1 Komponen Utama Sistim Udara Tekan

Sistim udara tekan terdiri dari komponen utama berikut: Penyaring udara masuk, pendingin antar tahap, *after-coolers*, pengering udara, *traps* pengeluaran kadar air, penerima, jaringan pemipaan, penyaring, pengatur dan pelumasan (lihat Gambar 3).

- **Filter Udara Masuk:** Mencegah debu masuk kompresor; Debu menyebabkan lengketnya katup/ kran, merusak silinder dan pemakaian yang berlebihan.
- **Pendingin antar tahap:** Menurunkan suhu udara sebelum masuk ke tahap berikutnya untuk mengurangi kerja kompresi dan meningkatkan efisiensi. Biasanya digunakan pendingin air.
- **After-Coolers:** Tujuannya adalah membuang kadar air dalam udara dengan penurunan suhu dalam penukar panas berpendingin air.
- **Pengering Udara:** Sisa-sisa kadar air setelah *after-cooler* dihilangkan dengan menggunakan pengering udara, karena udara tekan untuk keperluan instrumen dan peralatan pneumatik harus bebas dari kadar air. Kadar air dihilangkan dengan menggunakan adsorben seperti gel silika/ karbon aktif, atau pengering *refrigeran*, atau panas dari pengering kompresor itu sendiri.
- **Traps Pengeluaran Kadar Air:** *Trap* pengeluaran kadar air digunakan untuk membuang kadar air dalam udara tekan *Trap* tersebut menyerupai *steam traps*. Berbagai jenis *trap* yang digunakan adalah kran pengeluaran manual, klep pengeluaran otomatis atau yang berdasarkan waktu dll.

- **Penerima:** Penerima udara disediakan sebagai penyimpanan dan penghalus denyut keluaran udara – mengurangi variasi tekanan dari kompresor.



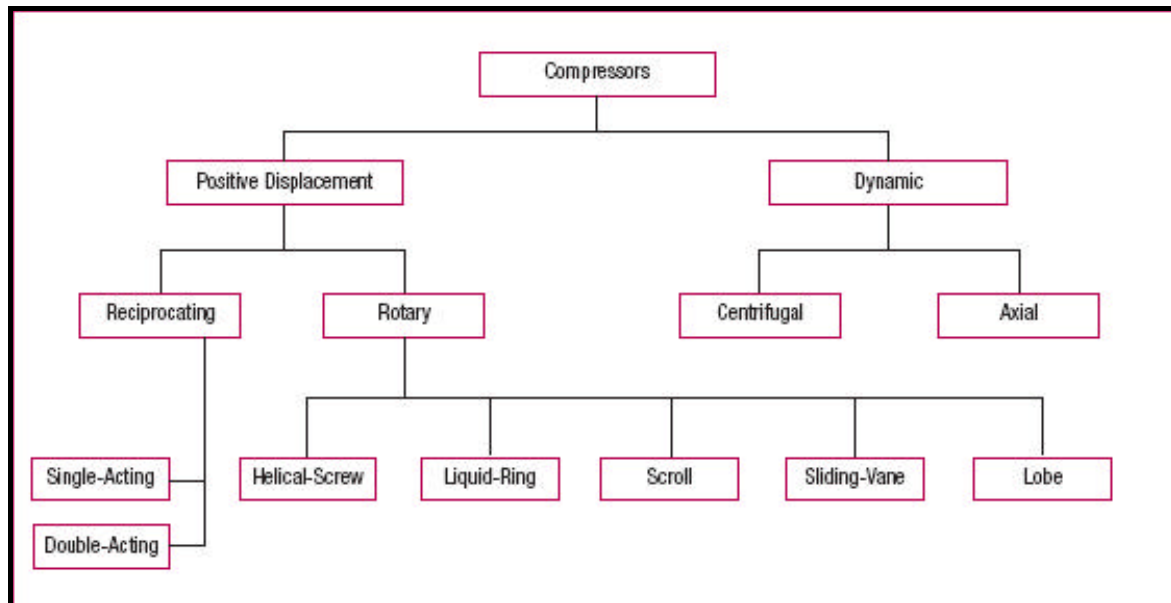
Gambar 3. Jenis Komponen Kompresor (US DOE, 2003)

## 2. JENIS KOMPRESOR

Seperti terlihat pada Gambar 4, terdapat dua jenis dasar : *positive-displacement* and dinamik.

Pada jenis *positive-displacement*, sejumlah udara atau gas di-trap dalam ruang kompresi dan volumenya secara mekanik menurun, menyebabkan peningkatan tekanan tertentu kemudian dialirkan keluar. Pada kecepatan konstan, aliran udara tetap konstan dengan variasi pada tekanan pengeluaran.

Kompresor dinamik memberikan energi kecepatan untuk aliran udara atau gas yang kontinyu menggunakan impeller yang berputar pada kecepatan yang sangat tinggi. Energi kecepatan berubah menjadi energi tekanan karena pengaruh impeller dan *volute* pengeluaran atau *diffusers*. Pada kompresor jenis dinamik sentrifugal, bentuk dari sudu-sudu impeller menentukan hubungan antara aliran udara dan tekanan (atau *head*) yang dibangkitkan.



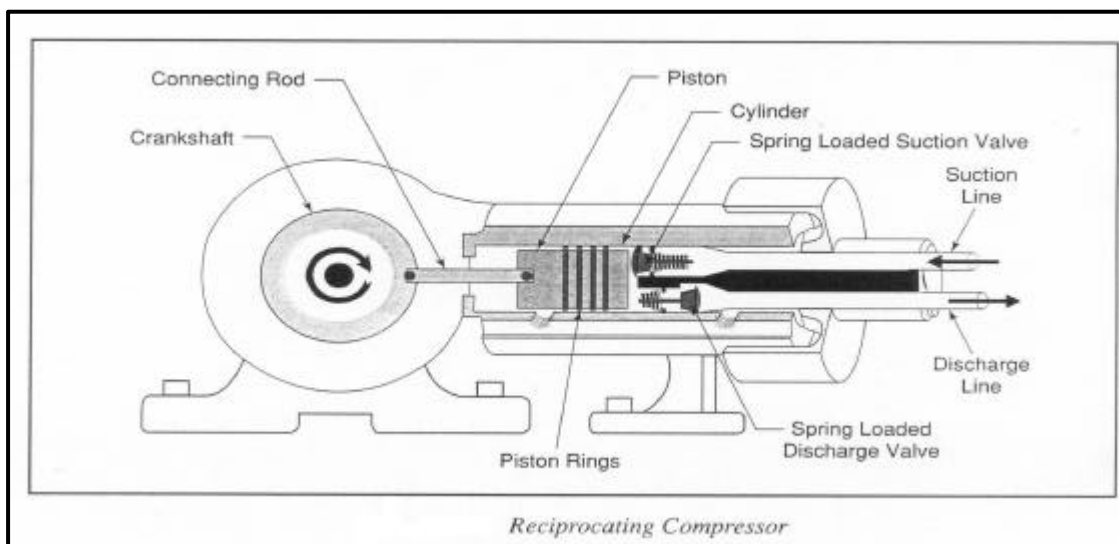
Gambar 4. Jenis Kompresor (US DOE, 2003)

## 2.1 Kompresor *Positive Displacement*

Kompresor ini tersedia dalam dua jenis: *reciprocating* dan putar/ *rotary*.

### 2.1.1 Kompresor *reciprocating*

Di dalam industri, kompresor *reciprocating* paling banyak digunakan untuk mengkompresi baik udara maupun refrigerant. Prinsip kerjanya seperti pompa sepeda dengan karakteristik dimana aliran keluar tetap hampir konstan pada kisaran tekanan pengeluaran tertentu. Juga, kapasitas kompresor proporsional langsung terhadap kecepatan. Keluarannya, seperti denyutan.

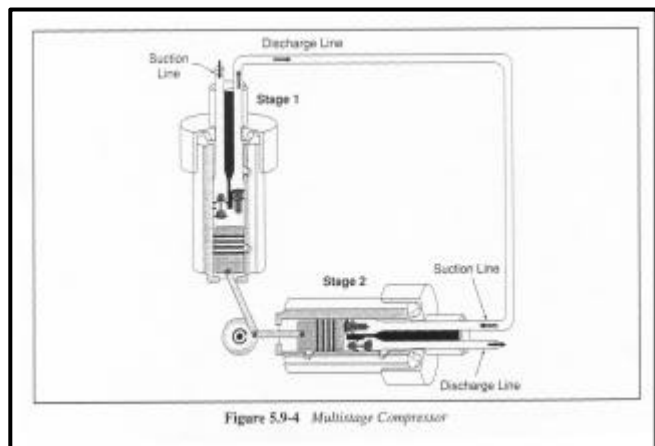


Gambar 5. Penampang melintang kompresor *reciprocating* (King, Julie)

Kompresor *reciprocating* tersedia dalam berbagai konfigurasi; terdapat empat jenis yang paling banyak digunakan yaitu horizontal, vertical, horizontal *balance-opposed*, dan tandem. Jenis kompresor *reciprocating* vertical digunakan untuk kapasitas antara 50 – 150 cfm. Kompresor horizontal *balance opposed* digunakan pada kapasitas antara 200 – 5000 cfm untuk desain multi-tahap dan sampai 10,000 cfm untuk desain satu tahap (Dewan Produktivitas Nasional, 1993).

Kompresor udara *reciprocating* biasanya merupakan aksi tunggal dimana penekanan dilakukan hanya menggunakan satu sisi dari piston. Kompresor yang bekerja menggunakan dua sisi piston disebut sebagai aksi ganda.

Sebuah kompresor dianggap sebagai kompresor satu tahap jika keseluruhan penekanan dilakukan menggunakan satu silinder atau beberapa silinder yang parallel. Beberapa penerapan dilakukan pada kondisi kompresi satu tahap. Rasio kompresi yang terlalu besar (tekanan keluar absolut/tekanan masuk absolut) dapat menyebabkan suhu pengeluran yang berlebihan atau masalah desain lainnya. Mesin dua tahap yang digunakan untuk tekanan tinggi biasanya mempunyai suhu pengeluran yang lebih rendah (140 to 160°C), sedangkan pada mesin satu tahap suhu lebih tinggi (205 to 240°C).



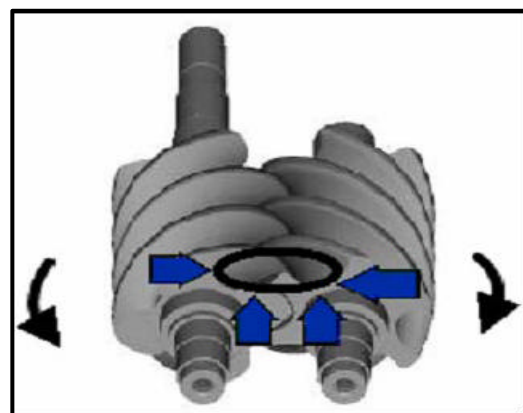
**Gambar 6. Gambaran kompresor multi tahap**  
(King, Julie)

Untuk keperluan praktis sebagian besar *plant* kompresor udara *reciprocating* diatas 100 *horsepower/ Hp* merupakan unit multi tahap dimana dua atau lebih tahap kompresor dikelompokkan secara seri Udara biasanya didinginkan diantara masing-masing tahap untuk menurunkan suhu dan volum sebelum memasuki tahap berikutnya (Dewan Produktivitas Nasional, 1993).

Kompresor udara *reciprocating* tersedia untuk jenis pendingin udara maupun pendingin air menggunakan pelumasan maupun tanpa pelumasan, mungkin dalam bentuk paket, dengan berbagai pilihan kisaran tekanan dan kapasitas.

### **2.1.2 Kompresor Putar/ Rotary**

Kompresor *rotary* mempunyai rotor dalam satu tempat dengan piston dan memberikan pengeluran kontinyu bebas denyutan Kompresor beroperasi pada kecepatan tinggi dan umumnya menghasilkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan kompresor *reciprocating*. Biaya investasinya rendah, bentuknya kompak, ringan dan mudah perawatannya, sehingga kompresor ini sangat populer di industri. Biasanya digunakan dengan ukuran 30 sampai 200 hp atau 22 sampai 150 kW.



**Figure 7. Gambaran kompresor ulir**  
(Referensi tidak diketahui)



Jenis dari kompresor putar adalah:

- Kompresor *lobe* (*roots blower*)
- Kompresor ulir (ulir putar *helical-lobe*, dimana rotor putar jantan dan betina bergerak berlawanan arah dan menangkap udara sambil mengkompresi dan bergerak kedepan (lihat Gambar 7)
- Jenis baling-baling putar/ baling-baling luncur, ring cairan dan jenis gulungan.

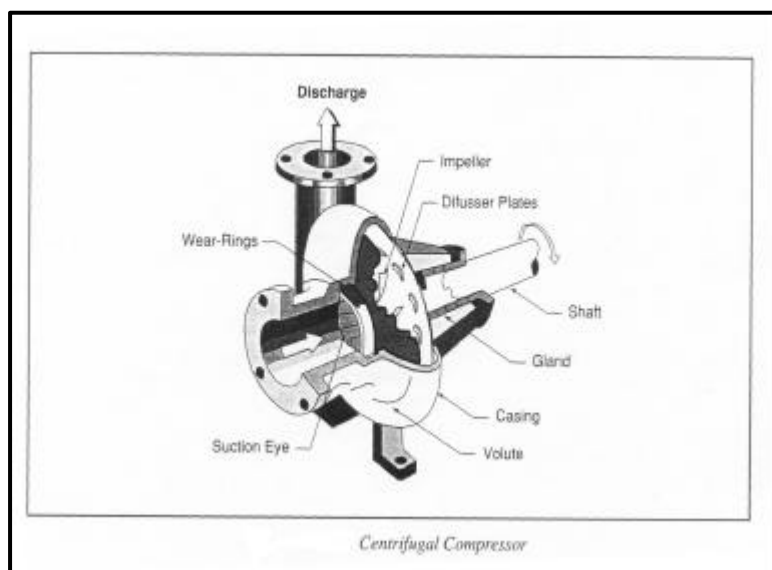
Kompresor ulir putar menggunakan pendingin air. Jika pendinginan sudah dilakukan pada bagian dalam kompresor, tidak akan terjadi suhu operasi yang ekstrim pada bagian-bagian yang bekerja. Kompresor putar merupakan kompresor kontinyu, dengan paket yang sudah termasuk pendingin udara atau pendingin air.

Karena desainnya yang sederhana dan hanya sedikit bagian-bagian yang bekerja, kompresor udara ulir putar mudah perawatannya, mudah operasinya dan fleksibel dalam pemasangannya. Kompresor udara putar dapat dipasang pada permukaan apapun yang dapat menyangga berat statiknya

## 2.2 Kompresor Dinamis

Kompresor udara sentrifugal (lihat Gambar 8) merupakan kompresor dinamis, yang tergantung pada transfer energi dari impeller berputar ke udara. Rotor melakukan pekerjaan ini dengan mengubah momen dan tekanan udara. Momen ini dirubah menjadi tekanan tertentu dengan penurunan udara secara perlahan dalam difuser statis. Kompresor udara sentrifugal adalah kompresor yang dirancang bebas minyak pelumas. Gir yang dilumasi minyak pelumas terletak terpisah dari udara dengan pemisah yang menggunakan sil pada poros dan ventilasi atmosferis.

Sentrifugal merupakan kompresor yang bekerja kontinyu, dengan sedikit bagian yang bergerak; lebih sesuai digunakan pada volum yang besar dimana dibutuhkan bebas minyak pada udaranya.



Gambar 8. Gambaran kompresor sentrifugal (King, Julie)

Kompresor udara sentrifugal menggunakan pendingin air dan dapat berbentuk paket.; khususnya paket yang termasuk *after-cooler* dan semua control. Kompresor ini dikenal berbeda karakteristiknya jika dibandingkan dengan mesin *reciprocating*. Perubahan kecil pada rasio kompresi menghasilkan perubahan besar pada hasil kompresi dan efisiensinya. Mesin sentrifugal lebih sesuai diterapkan untuk kapasitas besar diatas 12,000 cfm.

Beberapa kriteria seleksi untuk berbagai jenis kompresor terlihat pada tabel dibawah ini.

**Table 1. Kriteria Seleksi Umum untuk Kompresor** (Knfederasi Industri India)

Type of Compressor	Capacity (m <sup>3</sup> /h)		Pressure (bar)	
	From	To	From	To
<b>Roots blower compressor single stage</b>	100	30000	0.1	1
<b>Reciprocating</b>				
- Single / Two stage	100	12000	0.8	12
- Multi stage	100	12000	12.0	700
<b>Screw</b>				
- Single stage	100	2400	0.8	13
- Two stage	100	2200	0.8	24
<b>Centrifugal</b>	600	300000	0.1	450
<b>Centrifugal</b>	600	300000	0.1	450

**Table 2. Perbandingan untuk beberapa jenis kompresor yang penting**  
(Kantor Pengembangan Energi Berkelanjutan, 2002)

Item	<i>Reciprocating</i>	<b>Baling-baling putar</b>	<b>Ulir Putar</b>	<b>Sentrifugal</b>
Efisiensi pada beban penuh	Tinggi	Medium - tinggi	Tinggi	Tinggi
Efisiensi pada beban sebagian	Tinggi karena bertahap-tahap/ <i>staging</i>	Buruk : dibawah 60% beban penuh	Buruk: dibawah 60% beban penuh	Buruk: dibawah 60% beban penuh
Efisiensi tanpa beban (daya sama dengan persen beban penuh)	Tinggi (10% - 25%)	Medium (30% - 40%)	Tinggi – Buruk (25% - 60%)	Tinggi – Medium (20% - 30%)
Tingkat kebisingan	Bising	Tenang	Tenang jika tertutup	Tenang
Ukuran	Besar	Kompak	Kompak	Kompak
Penggantian minyak pelumas	Sedang	Rendah - medium	Rendah	Rendah
Getaran	Tinggi	Hampir tidak ada	Hampir tidak ada	Hampir tidak ada
Perawatan	Banyak bagian peralatan yang dipakai	Sedikit bagian peralatan yang dipakai	Sangat sedikit bagian peralatan yang dipakai	Sensitif terhadap debu dan udara
Kapasitas	Rendah – tinggi	Rendah – medium	Rendah – tinggi	Medium – tinggi
Tekanan	Medium – sangat tinggi	Rendah – medium	Medium – tinggi	Medium – tinggi

### **3. PENGKAJIAN KOMPRESOR DAN SISTIM UDARA TEKAN**

#### **3.1 Kapasitas kompresor**

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.

##### **3.1.1 Pengkajian kapasitas kompresor**

Kompresor yang sudah tua, walupun perawatannya baik, komponen bagian dalamnya sudah tidak efisien dan FAD nya kemungkinan lebih kecil dari nilai rancangan. Kadangkala, faktor lain seperti perawatan yang buruk, alat penukar panas yang kotor dan pengaruh ketinggian juga cenderung mengurangi FAD nya. Untuk memenuhi kebutuhan udara, kompresor yang tidak efisien mungkin harus bekerja dengan waktu yang lebih lama, dengan begitu memakai daya yang lebih dari yang sebenarnya dibutuhkan.

Pemborosan daya tergantung pada persentase penyimpangan kapasitas FAD. Sebagai contoh, kran kompresor yang sudah rusak dapat menurunkan kapasitas kompresor sebanyak 20 persen. Pengkajian berkala terhadap kapasitas FAD untuk setiap kompresor harus dilakukan untuk memeriksa kapasitas yang sebenarnya. Jika penyimpangannya lebih dari 10 persen, harus dilakukan perbaikan.

Metoda ideal pengkajian kapasitas kompresor adalah melalui uji nosel dimana nosel yang sudah dikalibrasi digunakan sebagai beban, untuk membuang udara tekan yang dihasilkan. Alirannya dikaji berdasarkan suhu udara, tekanan stabilisasi, konstanta *orifice*, dll.

##### **3.1.2 Metode sederhana pengkajian kapasitas pada ruang kerja**

- Tutup semua aliran keluar kompresor yang menuju ke sistim pengguna dengan menutup rapat kran pemisah untuk pengujian dari sistim udara tekan utama.
- Buka kran penguras air dan kuras habis airnya dan kosongkan *receiver* dan pipa saluran. Pastikan bahwa jalur *water trap* ditutup rapat sekali lagi untuk memulai pengujian.
- Mulai nyalakan kompresor dan aktifkan *stopwatch*.
- Catat waktu yang digunakan untuk mencapai tekanan operasi normal  $P_2$  (dalam *receiver*) dari tekanan awalnya  $P_1$ .
- Hitung kapasitas dengan formula dibawah ini (Konfederasi Industri India):



**Actual Free air discharge**

$$Q = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times \frac{V}{T} \text{ Nm}^3 / \text{Minute}$$

Where

- $P_2$  = Final pressure after filling (kg/cm<sup>2</sup> a)  
 $P_1$  = Initial pressure (kg/cm<sup>2</sup>a) after bleeding  
 $P_0$  = Atmospheric Pressure (kg/cm<sup>2</sup> a)  
 $V$  = Storage volume in m<sup>3</sup> which includes receiver, after cooler, and delivery piping  
 $T$  = Time take to build up pressure to  $P_2$  in minutes

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  $(273 + t_1) / (273 + t_2)$ .

### 3.2 Efisiensi Kompresor

Beberapa pengukuran kompresor yang biasa digunakan adalah: *efisiensi volumetrik*, *efisiensi adiabatik*, *efisiensi isothermal*, dan *efisiensi mekanik*.

Efisiensi adiabatik dan isothermal dihitung sebagai daya isothermal atau adiabatik dibagi oleh konsumsi daya aktual. Gambar yang diperoleh menunjukkan efisiensi keseluruhan kompresor dan motor penggerak.

#### 3.2.1 Efisiensi isothermal

Efisiensi isothermal = Daya masuk aktual terukur / Daya Isothermal

Daya isothermal (kW) =  $P_1 \times Q_1 \times \log_r / 36,7$

Dimana  $P_1$  = Tekanan mutlak masuk kg/ cm<sup>2</sup>  
 $Q_1$  = Udara bebas terkirim/ FAD, m<sup>3</sup>/jam.  
 $r$  = Perbandingan tekanan  $P_2/P_1$

Perhitungan daya isothermal tidak menyertakan daya yang diperlukan untuk mengatasi gesekan dan biasanya memberikan efisiensi yang lebih rendah dari efisiensi adiabatik. Nilai efisiensi yang dilaporkan biasanya efisiensi isothermal. Hal ini merupakan bahan pertimbangan yang penting dalam memilih kompresor berdasarkan nilai efisiensi yang dilaporkan.

### 3.2.2 Efisiensi Volumetrik

$$\text{Volumetric efficiency} = \frac{\text{Free air delivered m}^3/\text{min}}{\text{Compressor displacement}}$$

$$\text{Kompresor Displacement} = ? \times D^2/4 \times L \times S \times ? \times n$$

Dimana  
D = Diameter silinder, meter  
L = jumlah langkah silinder, meter  
S = Kecepatan kompresor rpm  
? = 1 untuk silinder dengan aksi tunggal dan  
2 untuk silinder dengan aksi ganda  
n = Jumlah silinder

Dalam prakteknya, panduan yang paling efektif dalam membandingkan efisiensi kompresor adalah konsumsi daya spesifik, yaitu kW/volum debit aliran, yang dapat digunakan untuk berbagai kompresor.

### 3.3 Pengkajian Kinerja terhadap Kehilangan Distribusi dalam sistim udara tekan

#### 3.3.1 Kebocoran dan akibatnya

Sistim pipa dan pengatur distribusi membawa udara tekan dari *plant* pusat kompresor ke area proses. Sistim ini terdiri dari berbagai kran pemisah, *traps* fluida, tangki penyimpanan sementara, dan juga pemanasan pada pipa dalam jumlah kecil untuk mencegah terjadinya pengembunan atau pembekuan pada jalur yang terbuka ke udara luar. Kehilangan tekanan pada distribusi biasanya dikompensasikan dengan tekanan yang lebih tinggi di bagian pengeluaran kompresor.

Pada titik penggunaan udara tekan, sebuah pipa pengumpan dilengkapi dengan kran pemisah aliran, saringan, dan regulator, mengalirkan udara tekan ke pipa untuk memasok ke peralatan proses atau pneumatik.

Kebocoran dapat menjadi sumber yang signifikan dari energi yang terbuang dalam sistim udara tekan di industri, kadang-kadang memboroskan 20 hingga 30 persen dari keluaran kompresor. Sebuah *plant* yang tidak terawat dengan baik mungkin akan memiliki laju kebocoran setara 20 persen dari kapasitas produksi udara tekan total. Pendeteksian dan perbaikan kebocoran secara pro-aktif dapat mengurangi kebocoran kurang dari 10 persen dari keluaran kompresor.

Disamping sebagai sumber pemborosan energi, kebocoran dapat juga berkontribusi terhadap kehilangan operasi lainnya. Kebocoran menyebabkan penurunan tekanan sistim, yang dapat membuat fungsi peralatan udara jadi kurang efisien, memberi pengaruh yang merugikan terhadap produksi. Lagipula, dengan memaksakan peralatan bekerja lebih lama, kebocoran akan memperpendek umur hampir seluruh peralatan sistim (termasuk paket kompresor itu sendiri). Meningkatnya waktu operasi dapat juga menyebabkan permintaan perawatan tambahan dan

meningkatkan waktu penghentian operasi yang tidak terjadwal. Akhirnya, kebocoran dapat menyebabkan bertambahnya kapasitas kompresor yang tidak diperlukan.

Kebocoran dapat berasal dari berbagai bagian dari sistim, tetapi area permasalahan yang paling umum adalah:

- Kopling, pipa, tabung, dan sambungan
- Pengatur tekanan
- *Traps* kondensat terbuka dan kran untuk mematkan
- Sambungan pipa, pemutus, dan sil karet.

Laju kebocoran merupakan fungsi tekanan terpasok dalam sistim yang tidak terkontrol dan meningkat dengan tekanan sistim yang lebih tinggi. Laju kebocoran yang diidentifikasi dalam feet kubik per menit (cfm) juga berbanding lurus terhadap kuadrat diameter *orifice*. Lihat tabel dibawah ini.

**Tabel 3. Laju Kebocoran untuk berbagai pasokan tekanan dan ukuran *orifice***  
(US DOE, 2004)

Laju Kebocoran* (cfm)						
Tekanan (psig)	Diameter <i>Orifice</i> (inchi)					
	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	3/8
70	0,29	1,16	4,66	18,62	74,40	167,80
80	0,32	1,26	5,24	20,76	83,10	187,20
90	0,36	1,46	5,72	23,10	92,00	206,60
100	0,40	1,55	6,31	25,22	100,90	227,00
125	0,48	1,94	7,66	30,65	122,20	275,50

\* Untuk *orifice* yang bulat, nilai harus dikalikan dengan 0,97 dan 0,611 untuk bentuk *orifice* yang tajam.

### 3.2.2 Penentuan jumlah kebocoran

Untuk kompresor yang memiliki pengendali *start/stop* atau *load/unload*, terdapat suatu cara yang mudah untuk memperkirakan jumlah kebocoran dalam sistim. Metode ini meliputi penyalaan kompresor pada saat tidak ada kebutuhan pada sistim (seluruh peralatan pengguna akhir yang dioperasikan dengan udara dimatikan). Sejumlah pengukuran dilakukan untuk menentukan waktu rata-rata yang digunakan pada saat *load* dan *unload* pada kompresor; kompresor akan menyala pada saat *load*, kemudian akan mati pada saat *unload*. Kompresor akan *load* dan *unload* karena adanya kebocoran udara akan menyebabkan terjadinya siklus menyala dan mati pada kompresor, karena kompresor akan menyala/ *load* ketika tekanannya turun karena lolosnya udara melalui kebocoran. Kebocoran total (persentase) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Leakage (\%)} = [(T \times 100)/(T+t)]$$

where: T = on-load time (minutes)  
t = off-load time (minutes)

Kebocoran akan dinyatakan dalam istilah persentase kehilangan dari kapasitas kompresor. Persentase kehilangan kebocoran harus kurang dari 10 persen dalam sistim yang terawat dengan baik. Sistim yang perawatannya buruk dapat memiliki kehilangan setinggi 20 hingga 30 persen dari daya dan kapasitas udaranya.

### **3.3.3 Tahapan metoda sederhana penghitungan jumlah kebocoran pada ruang kerja**

Metode untuk pengukuran pada ruang kerja yang sederhana untuk “Penghitungan Jumlah Kebocoran” dari sistim udara tekan adalah sebagai berikut:

- Matikan operasi peralatan yang menggunakan udara (atau lakukan pengujian ketika tidak ada peralatan yang sedang menggunakan udara tekan).
- Jalankan kompresor untuk mengisi sistim untuk mengatur tekanan operasinya.
- Catat waktu yang dipakai untuk siklus ‘Load’ dan ‘Unload’ kompresor. Untuk hasil yang lebih teliti, lakukan untuk *ON/HIDUP* & *OFF/MATI* berkali kali sampai 8 – 10 kali siklus secara terus menerus (t). Kemudian hitung total waktu *ON* dan waktu *OFF*.
- Gunakan data diatas untuk menghitung jumlah kebocoran dalam sistim. Jika Q merupakan udara bebas aktual yang dipasok selama percobaan (m<sup>3</sup>/menit), maka kebocoran sistim (m<sup>3</sup>/menit) adalah:

$$\text{Kebocoran sistim (m}^3\text{/menit)} = Q \times T / (T + t)$$

#### **Contoh**

*Dalam uji kebocoran suatu proses industri, teramati hasil-hasil sebagai berikut*

Kapasitas kompresor (m <sup>3</sup> /menit)	= 35
Tekanan saat menyala, kg/cm	= 6,8
Tekanan saat mati, kg/cm <sup>2</sup>	= 7,5
kW yang dipakai untuk <i>load</i>	= 188 kW
kW yang dipakai untuk <i>unload</i>	= 54 kW
Waktu ‘ <i>load</i> ’ rata-rata	= 1,5 menit
Waktu ‘ <i>unload</i> ’ rata-rata	= 10,5 menit
<b>Besarnya jumlah kebocoran = [(1,5)/(1,5+10,5)] x 35 = 4,375 m<sup>3</sup>/menit</b>	

## **4. PELUANG EFISIENSI ENERGI**

### **4.1 Lokasi Kompresor**

Lokasi kompresor udara dan kualitas udara yang ditarik oleh kompresor akan memiliki pengaruh yang cukup berarti terhadap jumlah energi yang digunakan. Kinerja kompresor sebagai mesin yang bernafas akan meningkat dengan udara yang dingin, bersih dan kering pada saluran masuknya.

## 4.2 Suhu Udara pada Aliran Masuk

Pengaruh udara masuk pada kinerja kompresor tidak boleh diremehkan. Udara masuk yang tercemar atau panas dapat merusak kinerja kompresor dan menyebabkan energi serta biaya perawatan yang berlebihan. Jika kadar air, debu, atau bahan pencemar lain terdapat dalam udara masuk, maka bahan pencemar tersebut dapat terkumpul pada komponen bagian dalam kompresor, seperti kran, fan, rotor dan baling-baling. Kumpulan pencemar tersebut dapat mengakibatkan kerusakan dini dan menurunkan kapasitas kompresor.

Kompresor menghasilkan panas pada operasinya yang kontinyu. Panas ini dilepaskan ke kamar/ruang kompresor sehingga memanaskan udara masuk. Hal ini mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik dan pemakaian daya menjadi lebih besar. Sebagai aturan umum, “Setiap kenaikan suhu udara masuk sebesar 4°C akan meningkatkan konsumsi energi sebesar 1 persen untuk keluaran yang sama”. Jadi udara dingin yang masuk akan meningkatkan efisiensi energi kompresor (lihat tabel 4).

**Tabel 4. Pengaruh suhu udara masuk pada pemakaian daya kompresor**  
(Konfederasi Industri India)

Inlet Temperature (°C)	Relative Air Delivery (%)	Power Saved (%)
10.0	102.0	+ 1.4
15.5	100.0	Nil
21.1	98.1	- 1.3
26.6	96.3	- 2.5
32.2	94.1	- 4.0
37.7	92.8	- 5.0
43.3	91.2	- 5.8

Jika saringan udara masuk ditempatkan pada kompresor, suhu ambien harus dijaga pada nilai minimum untuk mencegah penurunan aliran massa. Cara ini dapat dilakukan dengan menempatkan pipa masuk diluar ruangan atau gedung. Jika saringan udara masuk ditempatkan diluar gedung, dan terutama pada atap, harus diperhatikan suhu ambiennya.

## 4.3 Penurunan Tekanan dalam Saringan Udara

Saringan udara masuk pada kompresor harus dipasang, atau membawa udara dari lokasi yang bersih dan dingin. Pabrik pembuat kompresor biasanya memasok, atau merekomendasikan, saringan udara masuk dengan kualitas khusus yang dirancang untuk melindungi kompresor. Semakin baik penyaringan pada saluran masuk kompresor, maka akan semakin rendah biaya perawatan kompresornya. Walau demikian, penurunan tekanan yang melintas saringan udara harus dijaga minimum (ukuran dan perawatannya) untuk mencegah pengaruh penyumbatan dan penurunan kapasitas kompresor. Alat pengukur perbedaan tekanan merupakan salah satu peralatan yang terbaik untuk memantau kondisi saringan pada saluran masuk. Penurunan tekanan yang melintas saringan baru pada saluran masuk tidak boleh lebih dari 3 pound per inchi kuadrat

(psi). Tabel 5 menunjukkan pengaruh penurunan tekanan yang melintas saringan udara pada konsumsi daya.

**Tabel 5. Pengaruh penurunan tekanan yang melintas saringan pada peningkatan konsumsi daya (Konfederasi Industri India)**

Pressure Drop Across air filter (mmWC)	Increase in Power Consumption (%)
0	0
200	1.6
400	3.2
600	4.7
800	7.0

Sebagai aturan umum “Untuk setiap kenaikan “penurunan tekanan” 250 mm WC yang melintas pada jalur yang diakibatkan oleh saringan yang tersumbat dll, konsumsi daya kompresor akan meningkat sekitar 2 persen untuk keluaran yang sama.”

Jadi, disarankan untuk membersihkan saringan udara masuk secara reguler untuk meminimalkan penurunan tekanan. Manometer atau pengukur perbedaan tekanan yang melintas saringan dapat digunakan untuk memantau penurunan tekanan supaya dapat merencanakan jadwal pembersihan saringan.

#### 4.4 Ketinggian

Ketinggian memiliki dampak langsung terhadap efisiensi volumetrik kompresor. Pengaruh ketinggian pada efisiensi volumetrik diberikan dalam Tabel 6.

Jadi jelas bahwa kompresor yang terletak pada tempat yang lebih tinggi akan mengkonsumsi daya yang lebih besar untuk mencapai tekanan tertentu dibandingkan yang berada pada permukaan laut, dimana rasio kompresinya lebih tinggi.

**Tabel 6. Pengaruh ketinggian pada efisiensi volumetrik kompresor (Confederation of Indian Industries)**

Altitude Meters	Barometric Pressure milli bar*	Percentage Relative Volumetric Efficiency Compared with Sea Level	
		At 4 bar	At 7 bar
Sea level	1013	100.0	100.0
500	945	98.7	97.7
1000	894	97.0	95.2
1500	840	95.5	92.7
2000	789	93.9	90.0
2500	737	92.1	87.0

\* 1 milli bar =  $1.01972 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$



#### **4.5 Inter dan After-Coolers**

Hampir kebanyakan kompresor multi tahap menggunakan pendingin antara/*intercoolers*, yang merupakan alat penukar panas yang membuang panas kompresi diantara tahap-tahap kompresi. Pendinginan antara ini mempengaruhi efisiensi mesin keseluruhan.

Dengan digunakannya energi mekanik ke gas untuk kompresi, maka suhu gas akan naik. *After-coolers* dipasang setelah tahap kompresi terakhir untuk menurunkan suhu udara. Pada saat suhu udara berkurang, uap air dalam udara akan diembunkan, dipisahkan, dikumpulkan, dan dibuang dari sistim. Hampir seluruh kondensat dari kompresor dengan pendinginan antara dibuang dalam pendingin antara, dan sisanya dalam pendingin *after-cooler*. Hampir seluruh sistim di industri, kecuali yang memasok udara proses memanaskan operasi, memerlukan *after-cominyak pelumasng*. Dalam beberapa sistim, *after-coolers* merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari paket kompresor, sementara pada sistim yang lain *after-cooler* merupakan bagian terpisah dari peralatan. Beberapa sistim memiliki keduanya.

Idealnya, suhu udara masuk pada setiap tahap mesin multi tahap harus sama dengan keadaan pada tahap pertama. Hal ini disebut sebagai “pendinginan sempurna” atau kompresi isothermal. Akan tetapi dalam praktek yang sesungguhnya, suhu udara masuk pada tahap berikutnya lebih tinggi dari nilai normal sehingga mengakibatkan pemakaian daya yang lebih besar, sebab volum yang ditangani untuk tugas yang sama menjadi lebih besar (lihat Tabel 7).

**Tabel 7. Gambaran mengenai Pengaruh *Intercominyak pelumasng* pada Kompresor dan Pemakaian Daya (Konfederasi Industri India)**

Details	Imperfect Cooling	Perfect Cooling (Base Value)	Chilled Water Cooling
First Stage inlet temperature °C	21.1	21.1	21.1
Second Stage inlet temperature °C	26.6	21.1	15.5
Capacity (nm <sup>3</sup> /min)	15.5	15.6	15.7
Shaft Power (kW)	76.3	75.3	74.2
Specific energy consumption kW (nm <sup>3</sup> /min)	4.9	4.8	4.7
Percent Change	+ 2.1	Reference	- 2.1

Penggunaan air pada suhu yang lebih rendah mengurangi pemakaian daya spesifik. Suhu air dingin yang sangat rendah dapat menyebabkan pengembunan kadar air dalam udara, dimana apabila tidak dihilangkan akan mengakibatkan kerusakan silinder.

Hal yang serupa, pendinginan yang tidak mencukupi dalam *after-coolers* (dikarenakan kotoran, pembentukan kerak dll.), membiarkan udara hangat dan lembab menuju penerima/*receiver*, yang

menyebabkan terjadinya lebih banyak pengembunan pada penerima udara dan jalur distribusinya, sehingga dapat menyebabkan korosi, penurunan tekanan dan kebocoran pada pipa dan peralatan pengguna akhir. Oleh karena itu, pembersihan secara berkala dan menjaga suhu aliran udara yang benar pada *intercoolers* dan *after-coolers* sangat penting untuk mempertahankan kinerja yang dikehendaki.

## 4.6 Pengaturan Tekanan

Untuk kapasitas yang sama, sebuah kompresor memakai lebih banyak daya pada tekanan yang lebih tinggi. Kompresor tidak boleh beroperasi diatas tekanan operasi optimumnya sebab bukan hanya akan memboroskan energi, tetapi juga akan mengakibatkan pemakaian yang berlebihan, juga mengakibatkan pemborosan energi. Efisiensi volumetrik kompresor juga menjadi lebih kecil pada tekanan pengiriman yang lebih tinggi.

### 4.6.1 Menurunkan tekanan pengiriman

Kemungkinan merendahkan (optimalisasi) tekanan pengiriman harus dikaji menggunakan studi yang seksama terhadap permintaan tekanan berbagai peralatan, dan adanya penurunan tekanan pada jalur antara pembangkitan udara tekan dan titik penggunaan. Penghematan daya karena penurunan tekanan ditunjukkan dalam Tabel 8.

Jika satu titik pengguna atau kelompok kecil pengguna memerlukan tekanan yang lebih besar daripada *plant* lainnya, perlu dipertimbangkan untuk mengoperasikan sistim tersendiri atau menambahkan paket penguat/*booster* pada titik pengguna, sehingga dapat menjaga sistim yang lebih besar beroperasi pada tekanan yang lebih rendah. Pengoperasian sebuah kompresor pada tekanan 120 PSIG dibandingkan 100 PSIG misalnya, memerlukan energi 10 persen lebih besar dan juga meningkatkan laju kebocoran. Setiap upaya harus dilakukan untuk menurunkan tekanan sistim dan kompresor ke tingkat yang serendah mungkin.

**Tabel 8: Pengaruh penurunan tekanan pengiriman terhadap pemakaian daya**  
(Konfederasi Industri India)

Pressure Reduction		Power Savings (%)		
From (bar)	To (bar)	Single-stage Water-cooled	Two-stage Water-cooled	Two-stage Air-cooled
6.8	6.1	4	4	2.6
6.8	5.5	9	11	6.5

**Catatan:** Penurunan tekanan pengiriman sebesar 1 bar pada kompresor akan mengurangi konsumsi daya sebesar 6 – 10 persen

#### **4.6.2 Pengaturan kompresor dengan penyetelan tekanan optimum**

Sangat sering dalam sebuah industri, kompresor yang berlainan jenis, kapasitas dan pembuatan dihubungkan ke jaringan distribusi yang umum. Dalam keadaan yang demikian, pemilihan kombinasi kompresor yang benar dan pengaturan optimal dari kompresor-kompresor yang berbeda dapat menghemat energi.

Jika lebih dari satu kompresor digunakan untuk mengumpan sebuah *header*, maka kompresor harus beroperasi dalam keadaan dimana biaya untuk pembangkitan udara tekannya minimal.

- Jika seluruh kompresor sama, pengaturan tekanan dapat disesuaikan sehingga hanya satu kompresor yang menangani variasi beban, sedangkan lainnya beroperasi pada sekitar beban penuh.
- Jika kompresor berlainan ukuran, saklar tekanan harus disetel sehingga hanya kompresor terkecil saja yang diperbolehkan untuk divariasikan (bervariasi dalam debit aliran).
- Jika kompresor berlainan jenis dioperasikan bersama, pemakaian daya *unload* menjadi cukup berarti. Kompresor dengan daya *no load* terendah yang harus divariasikan.
- Pada umumnya, kompresor dengan daya beban sebagian yang lebih rendah yang harus diatur.
- Kompresor dapat dikelaskan menurut pemakaian energi spesifiknya, pada berbagai tekanan dan yang energinya efisien, membuat alat ini sesuai untuk banyak permintaan.

#### **4.6.3 Memisahkan permintaan tekanan rendah & tinggi**

Jika kebutuhan udara dengan tekanan rendah cukup banyak, disarankan untuk membangkitkan udara bertekanan rendah dan tinggi secara terpisah dan mengumpulkannya ke bagian masing-masing daripada menurunkan tekanan melalui kran penurun tekanan, yang dapat memboroskan energi.

#### **4.6.4 Rancangan untuk penurunan tekanan yang minimum pada jalur distribusi**

Penurunan tekanan/ *pressure drop* merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk penurunan tekanan udara dari keluaran kompresor aktual ke titik pengguna. Penurunan tekanan terjadi jika udara mengalir melalui sistim pengelolaan dan distribusi. Sistim yang dirancang dengan benar harus memiliki penurunan tekanan kurang dari 10 persen dari tekanan pengeluaran kompresor, diukur dari keluaran tangki penerima ke titik penggunaan.

Makin panjang dan makin kecil diameter pipa maka akan semakin besar kehilangan karena gesekannya. Untuk mengurangi penurunan tekanan secara efektif, dapat digunakan sebuah sistim *loop* dengan aliran dua arah. Penurunan tekanan yang diakibatkan oleh korosi dan komponen-komponen sistim itu sendiri merupakan isu-isu penting.

Penurunan tekanan yang diakibatkan oleh ketidakcukupan ukuran pipa, elemen saringan yang tersumbat, ukuran kopling dan pipa yang tidak benar merupakan pemborosan energi. Tabel 9 memberi gambaran mengenai pemborosan energi jika diameter pipa lebih kecil.

*Penurunan tekanan yang dapat diterima dalam praktek di industri adalah 0,3 bar dalam header utama pada titik terjauh dan 0,5 bar pada sistim distribusi.*

**Tabel 9. Penurunan tekanan dalam jalur udara tekan untuk berbagai ukuran pipa (Konfederasi Industri India)**

Pipe Nominal Bore (mm)	Pressure drop (bar) per 100 meters	Equivalent power losses (kW)
40	1.80	9.5
50	0.65	3.4
65	0.22	1.2
80	0.04	0.2
100	0.02	0.1

#### 4.7 Meminimalkan Kebocoran

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, kebocoran udara tekan bertanggung jawab terhadap pemborosan daya yang sangat mendasar. Dikarenakan kebocoran udara hampir sangat tidak mungkin untuk terlihat, suatu metode harus digunakan untuk menentukan lokasi kebocoran tersebut. Cara terbaik untuk mendeteksi kebocoran adalah dengan menggunakan pendeteksi akustik ultrasonik (lihat gambar 10), yang dapat mengenali suara desisan berfrekuensi tinggi karena adanya kebocoran udara.

Deteksi kebocoran ultrasonik mungkin merupakan alat pendeteksi kebocoran yang paling handal. Alat ini siap digunakan untuk deteksi berbagai situasi kebocoran.



**Gambar 9. Alat deteksi ultrasonik (Tashian, Paul)**

Kebocoran seringkali terjadi pada sambungan. Menghentikan kebocoran dapat dilakukan dengan sangat sederhana seperti mengencangkan sambungan atau sangat rumit dengan penggantian alat yang tidak berfungsi seperti koping, sambungan, bagian pipa, selang, penguras, dan *traps*. Dalam banyak kasus, kebocoran diakibatkan oleh gagalnya pembersihan karet atau tidak benarnya menggunakan sil karet. Pilihlah sambungan berkualitas tinggi, putus sambungannya, ditambah selang, ditambah tabung, dan pasang secara benar dengan sil karet yang cocok untuk menghindari kebocoran dimasa mendatang.

#### 4.8 Pengambilan Kondensat

Setelah udara tekan meninggalkan ruang kompresi, *after-cooler* kompresor menurunkan suhu udara keluar dibawah titik embunnya (untuk hampir seluruh kondisi ambien) dan oleh karena itu sejumlah besar uap terembunkan. Untuk menghilangkan kondensasi ini, hampir seluruh kompresor yang sudah menggunakan *after-coolers*, dipasang pemisah-*trap* kondensat.

Kran pengeluaran kondensat sebaiknya diletakkan dekat pengeluaran kompresor dan disambungkan ke jalur pengeluaran kondensat yang dibuat miring/*slope* kebawah supaya kondensat dapat mengalir dengan baik. Kondensasi juga masih mungkin terjadi di sepanjang pemipaan, sehingga pemipaan juga dibuat miring kebawah dan pada bagian terendah diberi lengan/ tempat penetasan kondensat dan *traps*. Hal lain yang juga penting adalah pipa pengeluaran ukurannya harus sama dengan seluruh sambungan pengeluaran dengan sistim yang tertutup dengan kecepatan yang tepat untuk tekanan pengeluarannya.

Sangat penting untuk selalu meninjau ulang terhadap ukuran pipa dan sambungan-sambungan sebab panjang pipa, ukuran pipa, jumlah sambungan, jenis sambungan dan jenis kran dapat berpengaruh terhadap efisiensi kompresor yang optimum.

#### **4.9 Penggunaan Udara Tekan yang Terkendali**

Sistim udara tekan yang sudah tersedia di pabrik dapat menggoda *engineer* pabrik untuk memanfaatkan udara tekan yang sudah ada untuk digunakan pada alat-alat bertekanan rendah seperti pengadukan, *pneumatic conveying* atau udara pembakaran. Padahal penggunaan sebuah blower untuk operasi tekanan lebih rendah akan membutuhkan biaya dan energi yang jauh lebih kecil dibandingkan untuk pembangkitan udara tekan.

#### **4.10 Pengendalian Kompresor**

Kompresor udara menjadi tidak efisien bila alat tersebut dioperasikan dibawah kapasitasnya. Untuk menghindari kompresor tetap menyala ketika tidak diperlukan, dipasang sebuah alat kontrol otomatis yang dapat mematikan dan menyalakan kompresor sesuai kebutuhan. Hal lainnya, jika tekanan sistim udara tekan dijaga serendah mungkin maka efisiensi akan meningkat dan kebocoran udara berkurang.

#### **4.11 Praktek Perawatan**

Praktek perawatan yang baik dan benar akan secara dramatis meningkatkan efisiensi kinerja sistim kompresor. Berikut adalah beberapa tip untuk operasi dan perawatan yang efisien bagi sistim udara tekan di industri:

- Pelumasan: Tekanan minyak pelumas kompresor harus secara visuil diperiksa setiap hari, dan saringan minyak pelumasnya diganti setiap bulan.
- Saringan Udara: Saringan udara masuk sangat mudah tersumbat, terutama pada lingkungan yang berdebu. Saringan harus diperiksa dan diganti secara teratur.
- Traps Kondensat: Banyak sistim memiliki *traps* kondensat untuk mengumpulkan dan (untuk *traps* yang dipasang dengan sebuah kran apung) menguras kondensat dari sistim. *Traps* manual harus secara berkala dibuka dan ditutup kembali untuk menguras fluida yang terakumulasi, *traps* otomatis harus diperiksa untuk memastikan bahwa tidak ada kebocoran udara tekan.
- Pengering Udara: Udara kering merupakan energi yang intensif. Untuk pengering yang didinginkan, periksa dan ganti saringan awal secara teratur karena pengering tersebut seringkali memiliki lintasan kecil dibagian dalamnya yang dapat tersumbat oleh bahan

pencemar. Pengering regeneratif memerlukan sebuah penyaring penghilang minyak pada saluran masuknya, karena mereka tidak dapat berfungsi dengan baik jika minyak pelumas dari kompresor membalut bahan penyerap airnya. Suhu pengeringan yang baik harus dijaga dibawah 100°F untuk menghindari peningkatan pemakaian bahan penyerap airnya, yang harus digantilagi setiap 3 – 4 bulan tergantung pada laju kejenuhan.

## **5. DAFTAR PERIKSA OPSI**

- Cari dan perbaiki kebocoran udara tekan dan cobalah untuk mencegah hal yang sama. Periksa kebocoran dan kehilangan tekanan diseluruh sistim secara teratur (bulanan).
- Hindari praktek yang tidak benar, untuk memastikan penggunaan udara yang bebas kadar air pada titik penggunaan.
- Atur seluruh operasi titik penggunaan pada tekanan serendah mungkin dengan menggunakan pengatur/*regulator* yang baik.
- Hilangkan penggunaan pengangkat udara dan motor udara.
- Matikan pasokan udara ke peralatan produksi yang sedang tidak bekerja
- Pisahkan pengguna tunggal udara bertekanan tinggi.
- Pantau penurunan tekanan dalam sistim pemipaan.
- Evaluasi kebutuhan untuk pengaturan kompresor.
- Gunakan motor berefisiensi tinggi sebagai pengganti motor standar.
- Pertimbangkan penggunaan kompresor multi-tahap
- Gunakan tekanan keluar serendah mungkin.
- Gunakan limbah panas yang keluar dari kompresor untuk membantu penghematan energi pabrik.
- Hindarkan pengiriman tekanan tinggi ke seluruh pabrik hanya untuk memenuhi satu pengguna.
- Pahami pengendali sistim kompresor bertingkat.
- Gunakan pengendali *intermediate/expander*/pengatur tekanan balik yang berkualitas tinggi.
- Pahami persyaratan-persyaratan untuk peralatan pembersihan.
- Gunakan teknologi pengeringan yang memberi tekanan maksimum yang diperbolehkan untuk titik pengembunan.
- Pilihlah produk-produk “yang terbaik dikelasnya” untuk seluruh suku cadang kompresor.
- Pantau perbedaan tekanan yang melintasi saringan udara. Penurunan tekanan yang berlebihan dalam saringan juga merupakan pemborosan energi.
- Gunakan udara luar yang dingin untuk masukan kompresor.
- Lakukan strategi perawatan pencegahan yang sistematik untuk kompresor anda.



## Peralatan Energi Thermis: Kompresor dan Sistim Udara tekan

- Berikan pelatihan dan ciptakan kepedulian diantara pekerja terhadap operasi dan perawatan yang efisien sistim kompresor.
- Patikan seluruh sistim dipantau oleh praktek *good housekeeping*.
- Pastikan kondensasi dapat dihilangkan secara cepat dari jaringan distribusi, atau tidak terjadi kondensasi.
- Periksa bahwa ukuran *receiver*/penerima hanya menyimpan udara bagi kebutuhan untuk jangka pendek.

## 6. LEMBAR KERJA

### Lembar Kerja 1. Master Data Kompresor

Referensi kompresor udara	Satuan	1	2	3	4
Pabrik pembuat	--				
Jenis	--				
Jumlah tahap	--				
Kapasitas pengeluaran	Nm <sup>3</sup> /me nit				
Tekanan pengeluaran	kg/cm <sup>2</sup> .g				
Kecepatan	rpm				
Kapasitas penerima	m <sup>3</sup>				
<b>Penilaian motor</b>					
Daya	kW				
Arus beban penuh	A				
Tegangan	V				
Faktor daya	PF				
Kecepatan	rpm				
Frekuensi	Hz				
Konsumsi daya spesifik	kW/m <sup>3</sup> /menit				

## **Lembar Kerja 2. Uji Kebocoran dalam Sistim Udara Tekan**

<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Keterangan</b>
Pengguna udara tekan	Jumlah	Sebutkan area pabriknya
Waktu <i>load</i> (t1)	Detik	Diukur
Waktu <i>unload</i> (t2)	Detik	Diukur
Kapasitas kompresor	Nm <sup>3</sup> /menit	Data
Kebocoran = $[t1/(t1+t2)] \times 100$	%	Diperkirakan
Kebocoran cfm = % Kebocoran x Kapasitas Kompresor		Diperkirakan

**Prosedur:**

- Uji kebocoran dilakukan bila keseluruhan pabrik dimatikan atau bila pengguna udara tekan tidak sedang bekerja. Akan menguntungkan jika bagian yang terpisah dapat dipisahkan satu dengan yang lainnya dengan menggunakan kran pemisah.
- Kompresor dinyalakan untuk mengisi jaringan sistim dengan udara tekan.
- Karena tidak ada pemakai udara tekan, kompresor udara akan *unload*/ mati pada saat tekanan sistim mencapai titik pengaturan (katakan saja 8 kg/cm<sup>2</sup>.g).
- Jika tidak terdapat kebocoran pada sistim, kompresor udara akan tetap *unload*/mati terus.
- Karena adanya kebocoran sistim, tekanan dalam sistim secara berangsur-angsur mulai turun mencapai titik pengaturan bawah, dimana kompresor udara akan *load*/ menyala lagi dan mulai menghasilkan udara tekan.
- Waktu *load* dan *unload* diukur dengan menggunakan *stopwatch* dan diulang sampai 5–6 siklus, kemudian di rata-ratakan.
- Kebocoran udara tekan (%) dan jumlahnya kemudian dapat dievaluasi.

### Lembar Kerja 3. Pengujian Kapasitas Kompresor

Referensi kompresor udara	Satuan	1	2	3	4
Volum penerima ditambah volum pemipaan antara penerima dan kompresor udara	m <sup>3</sup>				
Suhu penerima	°C				
Tekanan awal penerima (P <sub>1</sub> )	kg/cm <sup>2</sup> .a				
Tekanan akhir penerima (P <sub>2</sub> )	kg/cm <sup>2</sup> .a				
Waktu yang digunakan untuk mengisi penerima dari P <sub>1</sub> ke P <sub>2</sub> (t)	Menit				
Tekanan atmosfer (P <sub>o</sub> )	kg/cm <sup>2</sup> .a				
Kapasitas kompresor udara (pengiriman udara bebas/ FAD) Q	Nm <sup>3</sup> /menit				
<p><b>Catatan : Setiap kompresor harus memiliki penerimanya sendiri.</b></p> <p>Prosedur:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kompresor udara yang sedang diuji kapasitasnya, mula-mula dipisahkan dari sistim yang ada, dengan cara mengoperasikan kran pemisah searah/ tidak dapat balik.</li> <li>2. Motor penggerak kompresor dimatikan.</li> <li>3. Penerima yang disambungkan ke kompresor udara ini dikosongkan.</li> <li>4. Motor distarter ulang</li> <li>5. Tekanan dalam penerima mulai naik. Tekanan awal, misalnya 2 kg/cm<sup>2</sup> ,dicatat. <i>Stopwatch</i> dimulai pada saat tersebut.</li> <li>6. <i>Stopwatch</i> dihentikan bilamana tekanan penerima telah naik ke, misalnya 9 kg/cm<sup>2</sup>.</li> <li>7. Dicatat waktunya.</li> <li>8. Kapasitas kompresor dievaluasi dengan:</li> </ol> $(\text{Nm}^3/\text{menit}) = \left( \frac{P_2 - P_1}{P_o} \right) \times \left( \frac{V_R}{t} \right) \times \left( \frac{273}{273 + T} \right)$					

## **7. DAFTAR ACUAN**

Confederation of Indian Industries. *Manual on Compressors and Compressed Air Systems*. <http://greenbusinesscentre.com/documents/compressor.pdf>

ECompressedAir. *Compressed Air Audits*. <http://ecompressedair.com/air.shtml>  
<http://superiorsignal.com/usndacr.pdf>

King, Julie. MichiganTech, Department of Chemical Engineering

McKane, A. and Medaris, B. *The Compressed Air Challenge – Making a difference for US industry*. 2003. [http://eetd.lbl.gov/ea/indpart/publications/lbnl\\_52771.pdf](http://eetd.lbl.gov/ea/indpart/publications/lbnl_52771.pdf)

MT University. *Compressors*.  
[www.chem.mtu.edu/chem\\_eng/current/new\\_courses/CM4120/315,30,Reference](http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/current/new_courses/CM4120/315,30,Reference)

National Productivity Council, India. *Compressors*. In: Technology Menu for Efficient Energy Use, Motor Drive Systems (NPC). 1993

NPC Energy Audit Reports

Sustainable Energy Development Office, Government of Western Australia. *Compressed Air Systems*. 2002. [www1.sedo.energy.wa.gov.au/uploads](http://www1.sedo.energy.wa.gov.au/uploads)

Tashian, Paul. *Successful Leak Detection Using Ultrasonics*.

US Department of Energy (US DOE), Energy Efficiency and Renewable Energy. *Improving Compressed Air System Performance*. DEO/GO-102003-1822. 2003.  
[www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed\\_air](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed_air)

US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program. *Energy Tips – Compressed Air Tip Sheet 3*. 2004.  
[www.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/compressed\\_air.pdf](http://www.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/compressed_air.pdf)

### **Copyright:**

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

*This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.*

### **Hak cipta:**

Hak cipta © United Nations Environment Programme (year 2006)

*Publikasi ini boleh digandakan secara keseluruhan atau sebagian dalam segala bentuk untuk pendidikan atau keperluan non-profit tanpa ijin khusus dari pemegang hak cipta, harus mencantumkan sumber yang membuat. UNEP akan menghargai pengiriman salinan dari setiap publikasi yang menggunakan publikasi ini sebagai sumber. Tidak diijinkan untuk menggunakan publikasi ini untuk dijual belikan atau untuk keperluan komersial lainnya tanpa ijin khusus dari United Nations Environment Programme.*

### **Disclaimer:**

*This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.*

## *Peralatan Energi Thermis: Kompresor dan Sistim Udara tekan*

### ***Disclaimer:***

*Modul peralatan energi ini dibuat sebagai bagian dari proyek “ Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri di Asia dan Pasifik/ Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific” (GERIAP) oleh Badan Produktivitas Nasional, India. Sementara upaya-upaya masih dilakukan untuk menjamin bahwa isi dari publikasi ini didasarkan fakta-fakta yang benar, UNEP tidak bertanggung-jawab terhadap ketepatan atau kelengkapan dari materi, dan tidak dapat dikenakan sangsi terhadap setiap kehilangan atau kerusakan baik langsung maupun tidak langsung terhadap penggunaan atau kepercayaan pada isi publikasi ini*