

COVER

Teknik Pengukuran Besaran Proses

PENULIS

Teknik Pengukuran Besaran Proses

KATA PENGANTAR

Era persaingan dimasa sekarang dan masa yang akan datang mensyaratkan bahwa bangsa yang unggul adalah yang memiliki kualitas sumber daya manusia yang unggul. Keunggulan SDM hanya dapat diraih melalui pendidikan. Pemerintah melalui UU Sisdiknas No 20/ 2003, jenjang pendidikan menengah kejuruan termasuk program vokasional yang mendapatkan perhatian.

Buku Bahan Ajar Teknik Pengukuran Besaran Proses (Buku 1) ini disusun berdasarkan Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar Program Keahlian Instrumentasi Industri Paket Keahlian Kontrol Proses. Dengan pemahaman yang dimiliki, diharapkan dapat menyokong profesionalitas kerja para lulusan yang akan memasuki dunia kerja. Bagi para siswa SMK, buku ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi sehingga dapat membantu dalam mengembangkan materi pelajaran yang aktual dan tepat guna.

Buku Bahan Ajar ini juga bisa digunakan para alumni SMK untuk memperluas pemahamannya di bidang Instrumentasi Industri terkait dengan bidang kerjanya masing-masing.

Buku Bahan Ajar ini dibagi menjadi tiga bab, yaitu: (1) Kompresor, (2) Pompa, (3) Boiler/Ketel Uap.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan buku bahan ajar ini. Kami sangat berharap dan terbuka untuk masukan serta kritik konstruktif dari para pembaca sehingga dimasa datang buku ini lebih sempurna dan implementatif.

Semoga buku Buku Bahan Ajar ini bermanfaat bagi banyak pihak dan menjadi bagian amal jariah bagi para penulis dan pihak-pihak yang terlibat dalam proses penyusunan buku ini.

Amin

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR		i
DAFTAR ISI		ii
BAB 1	KOMPRESOR	1
	A. Klasifikasi dan Jenis-jenis Kompresor	1
	1. Kompresor Torak (Reciprocating)	6
	2. Kompresor Putar (Rotary)	16
	3. Kompresor Dinamis (Centrifugal)	21
	B. Jenis Penggerak dan Transmisi Daya pada kompresor	30
	C. Penentuan Spesifikasi Kompresor	32
	D. Instalasi Kompresor Udara	34
	E. Pemeliharaan, Identifikasi Kerusakan dan Perbaikan Kompresor Udara & komponennya	54
	F. Pengoperasian Kompresor	
	1. Performance Control	72
	2. Anti Surge Control	77
	3. Fixed Setpoint Anti Surge Control	79
	4. Variabel Setpoint Anti Surge Control	79
	5. Trisen Anti Surge Control	80
	6. Loading Sharing Control	85
	G. Tugas / Lembar kerja Siswa	88
	H. Tes Formatif	90
BAB 2	POMPA	91
	A. Jenis-jenis Pompa Kerja Positif (Positive Displacement Pump)	92
	1. Pompa Putar (Rotary)	92
	2. Pompa Torak (Piston)	97
	3. Pompa Plunyer	102
	4. Pompa Membran	103
	B. Jenis-Jenis Pompa Dinamis/Sentrifugal (Dinamic Pump)	104
	1. Klasifikasi Pompa sentrifugal	105

2.	Bagian-bagian Utama Pompa Sentrifugal	106
3.	Karakteristik Pompa Sentrifugal	111
C.	Pengoperasian Pompa	120
1.	Suction Throtling	120
2.	Discharge Throtling	121
3.	Recycle Control	122
4.	Speed Control	123
5.	On-Off Control	123
D.	Evaluasi	126
1.	Pengujian Pompa	126
2.	Tes Tertulis	128
BAB 3	Ketel Uap (Boiler)	129
A.	Pengertian Ketel Uap (Boiler)	129
B.	Sistem Pada boiler	130
C.	Pengolahan Air Umpan Boiler	131
D.	Jenis-Jenis Boiler	136
1.	Berdasarkan Tipe Pipa	136
2.	Berdasarkan Bahan Bakar	139
3.	Berdasarkan Kegunaan	141
4.	Berdasarkan Konstruksi	143
E.	Komponen Boiler	143
1.	Kompenen Utama Boiler	143
2.	Komponen Pembantu	149
F.	Bahan Bakar Boiler	152
G.	Pengoperasian Boiler	163
1.	Drum Level Control	163
2.	Combustion Control	166
3.	Blow Down Control	173
4.	Steam Temperature Control	176
H.	Pemeliharaan Boiler	177
I.	Evaluasi	179

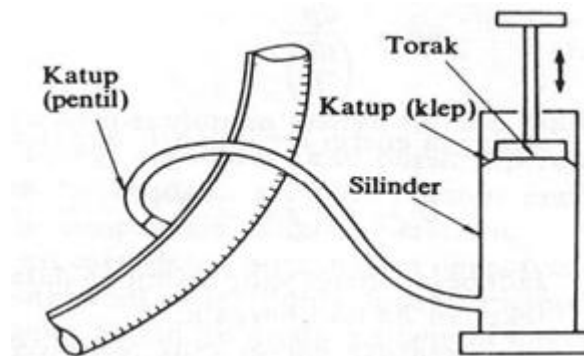
Bab 1

Kompresor



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.

Perhatikan gambar 1.1 berikut !

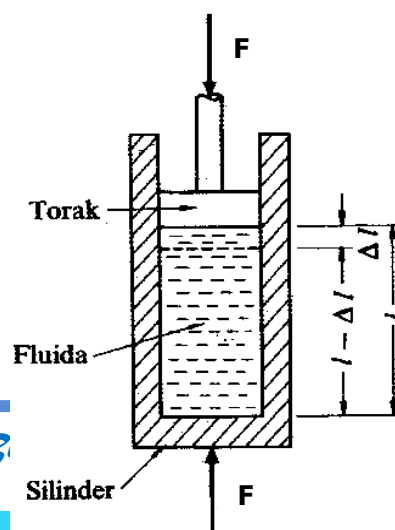


Gambar 1.1 Pompa Sepeda

Coba Kalian diskusikan, apa yang terjadi jika torak di tarik ke atas kemudian torak ditekan kembali . Apa yang terjadi pada ban sepeda tersebut ? Mengapa ban sepeda menjadi keras dan bentuknya bulat sempurna ?

Kompresor adalah pesawat/ mesin yang berfungsi untuk memampatkan atau menaikkan tekanan udara atau fluida gas atau memindahkan fluida gas dari suatu tekanan statis rendah ke suatu keadaan tekanan statis yang lebih tinggi. Udara atau fluida gas yang diisap kompresor biasanya adalah udara/ fluida gas dari atmosfer walaupun banyak pula yang menghisap udara/ fluida gas spesifik dan bertekanan lebih tinggi dari atmosfer (kompresor berfungsi sebagai penguat atau *booster*). Kompresor ada pula yang mengisap udara/ fluida gas yang bertekanan lebih rendah daripada tekanan atmosfer yang biasa disebut pompa vakum.

Pemampatan fluida gas dapat dijelaskan dengan hukum Pascal yaitu “Tekanan yang dikenakan pada satu bagian fluida dalam wadah tertutup akan diteruskan ke segala arah sama besar”.



Gambar 1.2 Kompresi fluida

Perhatikan Gb. 1 dimana fluida ditempatkan dalam silinder dengan luas penampang A dan panjang langkahnya l dan dikompresi dengan gaya F melalui sebuah piston, sehingga tekanan fluida di dalam silinder adalah :

$$P = \frac{F}{A}$$

Tekanan ini akan diteruskan ke semua titik dalam silinder dengan sama besar.

Udara Bertekanan dan Pemanfaatannya

Udara bertekanan yang dihasilkan kompresor mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan tenaga listrik dan hidrolis, yang antara lain adalah :

- a) Konstruksi dan operasi mesin serta fasilitasnya adalah sangat sederhana
- b) Pemeliharaan dan pemeriksaan mesin dan peralatan dapat dilakukan dengan mudah
- c) Energi dapat disimpan
- d) Kerja dapat dilakukan dengan cepat
- e) Harga mesin dan peralatan relatif lebih murah
- f) Kebocoran udara yang dapat terjadi tidak membahayakan dan tidak menimbulkan pencemaran

Pemanfaatan udara bertekanan sangat banyak dan bervariasi, terutama sebagai sumber tenaga. Pada praktik dilapangan penggunaan udara bertekanan digolongkan menurut gaya dan akibat yang ditimbulkannya. Pemilihan kompresor udara pada pemakaian perlu memperhatikan dan memahami karakteristik, konstruksi dan model kompresor udara serta faktor-faktor pendukungnya.

A. Klasifikasi dan Jenis-jenis Kompresor

a) Klasifikasi Kompresor

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

Ditinjau dari cara pemampatan (kompresi) udara, kompresor terbagi dua jenis yaitu :

1. Kompresor Perpindahan Positif (*Positiv Displacement*)

Kompresor jenis ini menaikkan tekanan dengan memperkecil atau memampatkan volume gas/udara yang diisap ke dalam silinder atau stator oleh torak atau sudu.

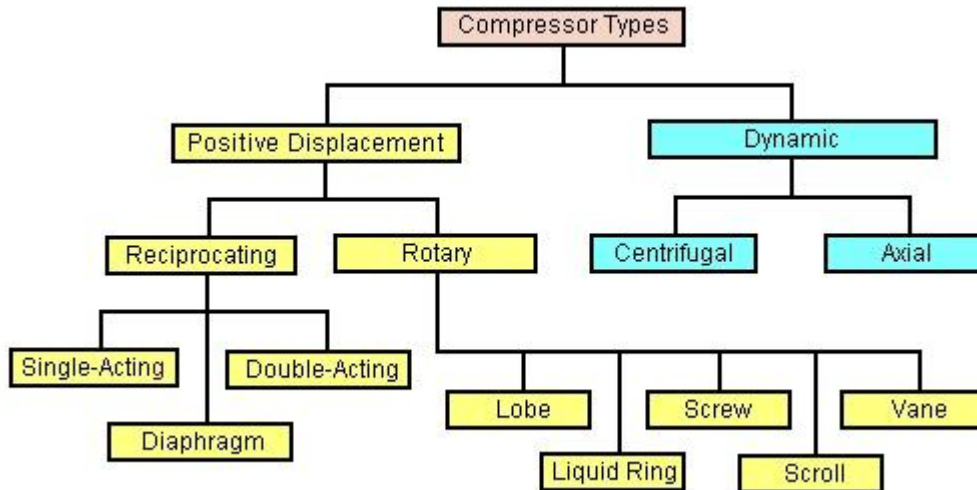
Kompresor ini juga dibagi atas kompresor bolak-balik (*reciprocating*) dan kompresor putar (*rotary*).

2. Kompresor Turbo (*Non-Positiv Displacement*)

Kompresor ini menaikkan tekanan dan kecepatan gas/udara dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeller atau dengan gaya angkat (lift) yang ditimbulkan oleh sudu.

Kompresor turbo ini dibagi atas kompresor aksial dan kompresor sentrifugal.

Klasifikasi kompresor udara dapat dicermati pada Gambar. 1.3 berikut :



Sumber : wikipedia

Gambar 1.3 Tipe-tipe kompresor

Ada juga yang mengklasifikasikan kompresor udara sebagai berikut :

Nama	Fan dan blower		Kompresor
	Fan (kipas)	Blower (peniup)	
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:			
Jenis turbo	Jenis Aksial		
	Sudu banyak		
	Jenis sentrifugal		
	Turbo		
Jenis perpindahan (displacement)	Roots		
	Jenis putar (rotary)		
	Sudu lancur		
	Sekrup		
Jenis bolak-balik			
Bolak-balik			

Gambar 1.4 Klasifikasi kompresor

Kompresor juga dapat diklasifikasikan atas dasar konstruksinya seperti diuraikan sebagai berikut :

- (1) Klasifikasi berdasar jumlah tingkat kompresi (mis : satu tingkat, dua tingkat, ... , banyak tingkat)
- (2) Klasifikasi berdasarkan langkah kerja (mis : kerja tunggal/ *single acting* dan kerja ganda/ *double acting*)
- (3) Klasifikasi berdasarkan susunan silinder “khusus kompresor torak” (mis: mendatar, tegak, bentuk L, bentuk V, bentuk W, bentuk bintang dan lawanimbang/ *balans oposed*)
- (4) Klasifikasi berdasarkan cara pendinginan (mis : pendinginan air dan pendinginan udara)

- (5) Klasifikasi berdasarkan transmisi penggerak (mis: langsung, sabuk V dan roda gigi)
- (6) Klasifikasi berdasarkan penempatannya (mis : permanen/ *stationary* dan dapat dipindah-pindah/ *portable*)
- (7) Klasifikasi berdasarkan cara pelumasannya (mis : pelumasan minyak dan tanpa minyak)

b) Jenis-jenis Kompresor

1. Kompresor Torak (*Reciprocating*)

Kompresor torak atau kompresor bolak-balik pada dasarnya adalah merubah gerakan putar dari penggerak mula menjadi gerak bolak-balik torak/ piston. Gerakan ini diperoleh dengan menggunakan poros engkol dan batang penggerak yang menghasilkan gerak bolak-balik pada torak.

Gerakan torak akan menghisap udara ke dalam silinder dan memampatkannya. Langkah kerja kompresor torak hampir sama dengan konsep kerja motor torak, dimana pada saat piston ditarik volume akan membesar, tekanan akan menurun. Pada saat tekanan menurun gas yang memiliki tekanan lebih tinggi akan memasuki ruangan melalui katup isap. Pada saat piston bergerak menekan, maka volume akan mengecil sehingga tekanan akan membesar. Dengan tekanan yang lebih besar dari tekanan diluar, maka udara akan bergerak dari ruangan menuju keluar melalui katup tekan. Kompresor jenis ini dilengkapi dua jenis katup yaitu katup isap dan katup tekan. Katup isap berfungsi sebagai saluran masuk gas sebelum gas dikompresi. Setelah gas dikompresi, gas tersebut akan dialirkan ke katup tekan. Katup ini hanya berlaku satu arah. Karena itu katup tekan juga berfungsi untuk mencegah gas mengalir kembali ke kompresor.

Prinsip kerja kompresor torak sebagai berikut :

- (1). Langkah Isap

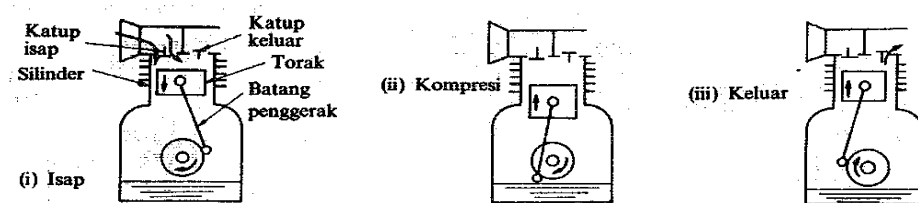
Langkah isap adalah bila poros engkol berputar searah putaran jarum jam, torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Tekanan negatif terjadi pada ruangan di dalam silinder yang ditinggalkan torak sehingga katup isap terbuka oleh perbedaan tekanan dan udara terisap masuk ke silinder.

(2). Langkah Kompresi

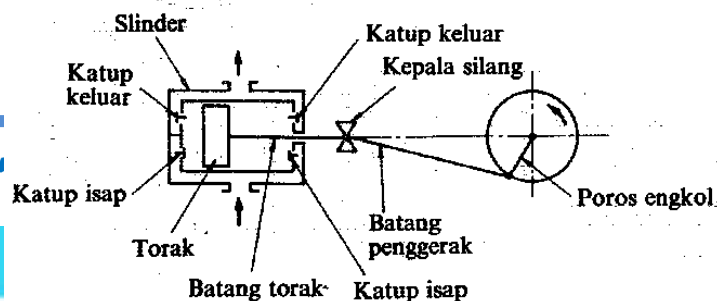
Langkah kompresi terjadi saat torak bergerak dari TMB ke TMA, katup isap dan katup buang tertutup sehingga udara dimampatkan dalam silinder

(3). Langkah Keluar

Bila torak meneruskan gerakannya ke TMA, tekanan di dalam silinder akan naik sehingga katup keluar akan terbuka oleh tekanan udara sehingga udara akan keluar.



Gambar 1.5 Kompresor Kerja Tunggal



Gambar 1.6 Kompresor Kerja Ganda

A. Jenis-jenis Kompresor Torak

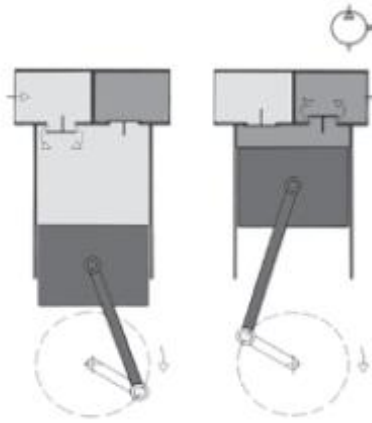
Di Industri kompresor torak terdapat beberapa macam, diantaranya :

1. Kompresor Torak Satu Tingkat

Kompresor ini dikenal juga dengan kompresor torak, karena dilengkapi dengan torak yang bekerja bolak-balik atau gerak resiprokal. Pemasukan udara diatur oleh katup masuk dan dihisap oleh torak yang gerakannya menjauhi katup. Pada saat terjadi pengisapan, tekanan udara di dalam silinder mengecil, sehingga udara luar akan masuk ke dalam silinder secara alami. Pada saat gerak kompresi torak bergerak ke titik mati bawah ke titik mati atas, sehingga udara di atas torak bertekanan tinggi, selanjutnya

di masukkan ke dalam tabung penyimpanan udara. Tabung penyimpanan dilengkapi dengan katup satu arah, sehingga udara yang ada dalam tangki tidak akan kembali ke silinder. Proses tersebut berlangsung terus-menerus hingga diperoleh tekanan udara yang diperlukan. Gerakan mengisap dan mengkompresi ke tabung penampung ini berlangsung secara terus menerus, pada

umumnya bila tekanan dalam tabung telah melebihi kapasitas, maka katup pengaman akan terbuka, atau mesin penggerak akan mati secara otomatis.



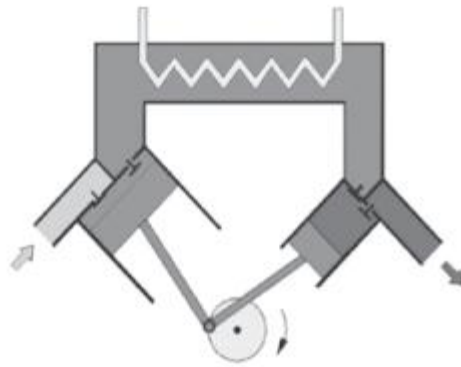
Gambar 1.7 Kompresor Torak Satu tingkat

2. Kompresor Torak Dua Tingkat Sistem Pendingin Udara

Kompresor udara bertingkat digunakan untuk menghasilkan tekanan udara yang lebih tinggi. Udara masuk akan dikompresi oleh torak pertama, kemudian didinginkan, selanjutnya dimasukkan dalam silinder kedua untuk dikompresi oleh torak kedua sampai pada tekanan yang diinginkan.

Pemampatan (pengompresian) udara tahap kedua lebih besar, temperatur udara akan naik selama terjadi kompresi, sehingga perlu mengalami proses pendinginan dengan memasang sistem pendingin. Metode pendinginan yang sering digunakan misalnya dengan sistem udara atau dengan system air bersirkulasi.

Batas tekanan maksimum untuk jenis kompresor torak resiprokal antara lain, untuk kompresor satu tingkat tekanan hingga 4 bar, sedangkan dua tingkat atau lebih tekanannya hingga 15 bar.

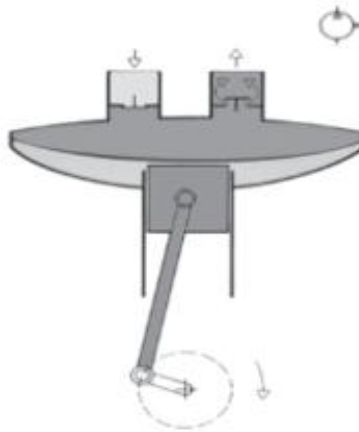


Gambar 1.8 Kompresor Torak Dua Tingkat

3. Kompresor Diafragma (*diaphragma compressor*)

Jenis Kompresor ini termasuk dalam kelompok kompresor torak. Namun letak torak dipisahkan melalui sebuah membran diafragma. Udara yang masuk dan keluar tidak langsung berhubungan dengan bagian-bagian yang bergerak secara resiprokal. Adanya pemisahan ruangan ini udara akan lebih terjaga dan bebas dari uap air dan pelumas/oli. Oleh karena itu kompresor diafragma banyak digunakan pada industri bahan makanan, farmasi, obatobatan dan kimia.

Prinsip kerjanya hampir sama dengan kompresor torak. Perbedaannya terdapat pada sistem kompresi udara yang akan masuk ke dalam tangki penyimpanan udara bertekanan. Torak pada kompresor diafragma tidak secara langsung menghisap dan menekan udara, tetapi menggerakkan sebuah membran (*diafragma*) dulu. Dari gerakan *diafragma* yang kembang kempis itulah yang akan menghisap dan menekan udara ke tabung penyimpan.



Gambar 1.9 Kompresor Diaphragma

Beberapa bagian dari konstruksi kompresor udara jenis torak/ piston antara lain meliputi silinder, kepala silinder, torak/ piston, batang torak, poros engkol, katup-katup, kotak engkol dan alat-alat bantu. Berikut ini akan diuraikan beberapa bagian utama dari kompresor torak.

a) Silinder dan Kepala Silinder

Silinder mempunyai bentuk silindris dan merupakan bejana kedap udara dimana torak bergerak bolak-balik untuk mengisap dan memampatkan udara.

Silinder harus kuat menahan beban tekanan yang ada. Silinder untuk tekanan kurang dari 50 kgf/cm^2 (4.9 Mpa) pada umumnya menggunakan besi cor sebagai bahan silindernya. Bagian dalam silinder diperhalus sebab cincin torak akan meluncur pada permukaan dalam silinder. Dinding bagian luar silinder diberi sirip-sirip untuk memperluas permukaan sehingga lebih cepat/kuat memancarkan panas yang timbul dari proses kompresi di dalam silinder. Kompresor dengan pendingin air diperlengkapi dengan selubung air di dinding luar silinder.

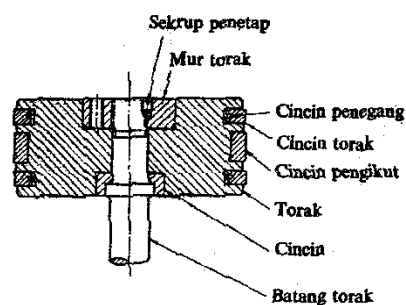
Kepala silinder terbagi menjadi dua bagian, satu bagian sisi isap dan satu bagian sisi tekan. Sisi isap dilengkapi dengan katup isap dan sisi tekan dilengkapi dengan katup tekan. Pada kompresor kerja ganda terdapat dua kepala silinder, yaitu kepala silinder atas dan kepala silinder bawah. Kepala silinder juga harus menahan tekanan sehingga bahan pembuatnya adalah besi cor. Bagian dinding luarnya diberi sirip-sirip pendingin atau selubung air pendingin.

b) Torak dan cincin torak

Torak merupakan komponen yang bertugas untuk melakukan kompresi terhadap udara/ gas, sehingga torak harus kuat menahan tekanan dan panas. Torak juga harus dibuat seringan mungkin untuk mengurangi gaya inersia dan getaran.

Cincin torak dipasang pada alur-alur torak dan berfungsi sebagai perapat antara torak dan dinding silinder. Jumlah cincin torak bervariasi tergantung perbedaan tekanan sisi atas dan sisi bawah torak. Pemakaian 2 s.d. 4 cincin torak biasanya dipakai pada kompresor dengan tekanan kurang dari 10 kgf/cm^2 .

Pada kompresor tegak dengan pelumasan minyak, pada torak dipasang sebuah cincin pengikis minyak yang dipasang pada alur terbawah. Sedangkan pada kompresor tanpa pelumasan, cincin torak dibuat dari bahan yang spesifik yaitu karbon atau teflon.

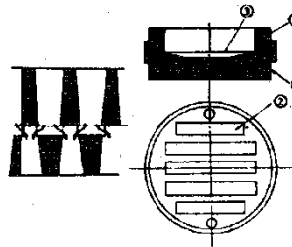


Gambar 1.10 Konstruksi torak kompresor bebas minyak

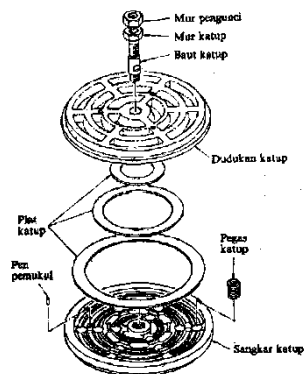
c) Katup-Katup

Katup-katup pada kompresor membuka dan menutup secara otomatis tanpa mekanisme penggerak katup. Pembukaan dan penutupan katup tergantung dari perbedaan tekanan yang terjadi antara bagian dalam dan bagian luar silinder.

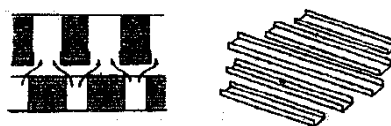
Jenis-jenis katup yang biasa digunakan adalah jenis katup pita, katup cincin, katup kanal dan katup kepak.



Gambar 1.11 Konstruksi Katup Pita (Reed Valve)



Gambar 1.12 Konstruksi Katup Cincin



Gambar 1.13 Konstruksi Katup Kanal

d) Poros Engkol dan Batang Torak

Poros engkol dan batang torak mempunyai fungsi utama untuk mengubah gerakan putar menjadi gerak bolak-balik. Secara konstruksi, poros engkol dan batang torak kompresor hampir sama dengan yang terdapat pada motor bakar. Ujung poros engkol berhubungan dengan transmisi daya dari sumber penggerak. Poros engkol dan batang torak biasa terbuat dari baja tempa.

e) Kotak Engkol

Kotak engkol adalah sebagai blok mesinnya kompresor yang berfungsi sebagai dudukan bantalan engkol yang bekerja menahan beban inersia dari masa yang bergerak bolak-balik serta gaya pada torak. Pada kompresor dengan pelumasan minyak kotak engkol sekaligus sebagai tempat/ bak penampung minyak pelumas.

f) Peralatan Pembantu

Untuk dapat bekerja dengan sempurna, kompresor dilengkapi dengan beberapa peralatan pembantu yang antara lain adalah sebagai berikut.

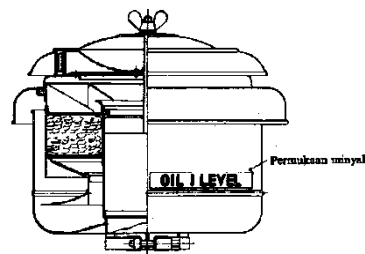
(1) Saringan udara

Jika udara yang diisap kompresor mengandung banyak debu maka silinder dan cincin torak akan cepat aus bahkan dapat terbakar. Karena itu kompresor harus dilengkapi dengan saringan udara yang dipasang pada sisi isapnya.

Saringan yang banyak dipakai saat ini terdiri dari tabung-

tabung penyaring yang berdiameter 10 mm dan panjangnya 10 mm. Tabung ini ditempatkan di dalam kotak berlubang-lubang atau keranjang kawat, yang dicelupkan dalam genangan minyak. Udara yang diisap kompresor harus mengalir melalui minyak dan tabung yang lembab oleh minyak.

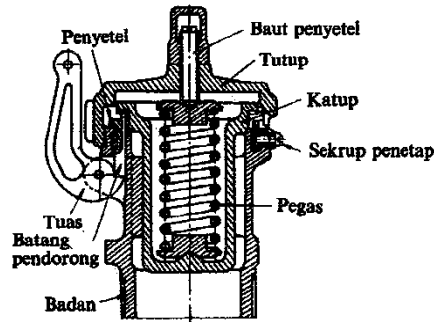
Dengan demikian jika ada debu yang terbawa akan melekat pada saringan sehingga udara yang masuk kompresor menjadi bersih. Aliran melalui saringan tersebut sangat turbulen dan arahnya membalik hingga sebagian besar dari partikel-partikel debu akan tertangkap di sini.



Gambar 1.14 Saringan udara tipe genangan minyak

(2) Katup pengaman

Katup pengaman harus dipasang pada pipa keluar dari setiap tingkat kompresor. Katup ini harus membuka dan membuang udara ke luar jika tekanan melebihi 1,2 kali tekanan normal maksimum dari kompresor. Pengeluaran udara harus berhenti secara tepat jika tekanan sudah kembali sangat dekat pada tekanan normal maksimum.



Gambar 1.15 Katup Pengaman

(3) Tangki udara

Tangki udara dipakai untuk menyimpan udara tekan agar apabila ada kebutuhan udara tekan yang berubah-ubah jumlahnya dapat dilayani dengan lancar. Dalam hal kompresor torak di mana udara dikeluarkan secara berfluktuasi, tangki udara akan memperhalus aliran. Selain itu, udara yang disimpan di dalam tangki udara akan mengalami pendinginan secara pelan-pelan dan uap air yang mengembun dapat terkumpul di dasar tangki untuk sewaktu-waktu dibuang. Dengan demikian udara yang disalurkan ke pemakai selain sudah dingin, juga tidak lembab.



Gambar 1.16 Unit Kompresor dengan Tangki Udara

(4) Peralatan Pembantu

Kompresor untuk keperluan-keperluan khusus sering dilengkapi peralatan bantu antara lain : peredam bunyi, pendingin

akhir, pengering, menara pendingin dan sebagainya sesuai dengan kebutuhan spesifik yang dibutuhkan sistem.

(5) Peralatan pengaman yang lain

Kompresor juga memiliki alat-alat pengaman berikut ini untuk menghindari dari kecelakaan.

- alat penunjuk tekanan, rele tekanan udara dan rele tekanan minyak
- alat penunjuk temperatur dan rele thermal (temperatur udara keluar, temperatur udara masuk, temperatur air pendingin, temperatur minyak dan temperatur bantalan.
- Rele aliran air (mendeteksi aliran yang berkurang/ berhenti).

2. Kompresor Putar/ Rotary

Kompresor rotari atau putar dapat menghasilkan tekanan yang sangat tinggi. Pada kompresor putar getaran yang dihasilkan relatif kecil dibandingkan dengan kompresor torak. Hal ini disebabkan sudu-sudu pada kompresor putar, yang merupakan elemen bolak-balik, mempunyai masa yang jauh lebih kecil daripada torak. Selain itu kompresor putar tidak memerlukan katup, sedangkan fluktuasi alirannya sangat kecil dibandingkan dengan kompresor torak.

Kompresor *rotary* mempunyai rotor dalam satu tempat dengan piston dan memberikan pengeluaran kontinyu bebas denyutan. Kompresor beroperasi pada kecepatan tinggi dan umumnya menghasilkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan 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.

Kompresor rotari pada umumnya digunakan untuk perbandingan kompresi rendah dan kapasitas kecil hingga medium.

Keuntungan penggunaan kompresor Rotary :

1. Dapat berputar pada putaran tinggi, sehingga dimensinya relatif lebih kecil
2. Getaran mekanisnya lebih kecil.
3. Perawatannya lebih sederhana karena jumlah bagiannya lebih sedikit, missal tanpa katup dan mekanisme lain.
4. Dapat memberikan debit yang lebih kontinyu dibandingkan dengan kompresor resiprokating.

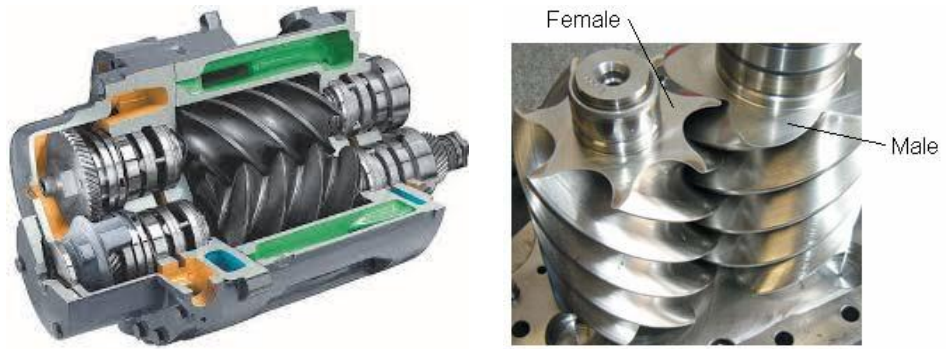
Kerugian penggunaan kompresor Rotary :

1. Tidak dapat memberikan tekanan akhir yang tinggi. Bila diperlukan tekanan akhir tinggi harus dibuat bertingkat.
2. Efisiensi volumetrisnya rendah bila bagian-bagiannya kurang presisi.

Jenis-jenis kumpresor Rotary / putar adalah :

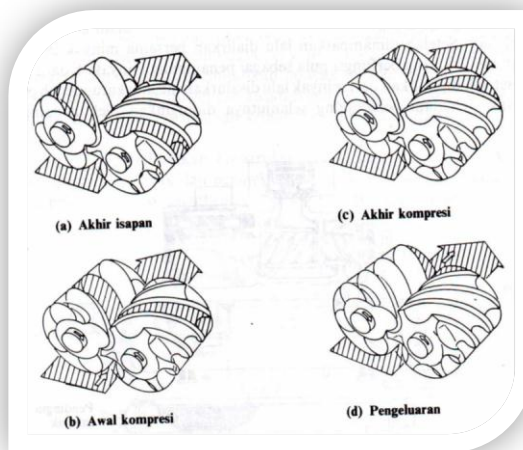
1) Kompresor Ulir (*Screw Compressor*)

Didalam casing kompresor terdapat sepasang rotor, sering disebut dengan *female* dan *male*. Kedua rotor berputar pada arah yang berlawanan. Kompresor jenis ini dapat beroperasi lebih halus pada putaran tinggi. Gas yang dihandle mengalami pengisapan, transportasi sepanjang batang ulir, penekanan dan pengeluaran. Efektivitas mekanisme ini tergantung pada kerapatan celah antara rotor dan casing. Banyak digunakan untuk menghasilkan udara bertekanan di industri, misalnya pada aplikasi pneumatik.



Gambar 1.17 Konstruksi kompresor Ulir

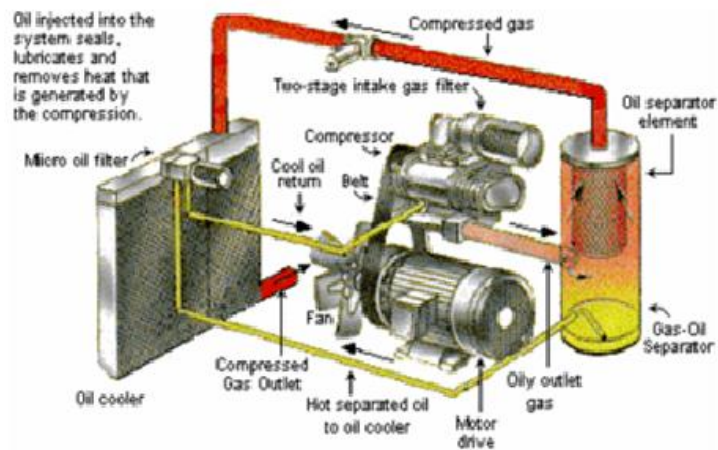
Prinsip kerja kompresor sekrup dapat dijelaskan dengan gambar berikut.



Gambar 1.18 Prinsip kerja kompresor putar Kompresor ini terdiri atas jenis *oil flooded* dan *oil free*.

Pada jenis *oil flooded*, minyak pelumas membentuk seal yang akan menutup celah antara rotor dan casing. Kemudian minyak pelumas yang bercampur dengan gas akan didinginkan,

dipisahkan pada separator atau filter dan kemudian dipergunakan lagi.

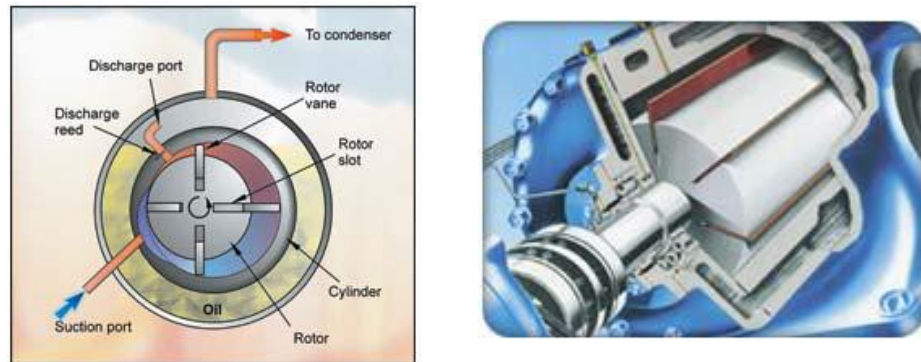


Gambar 1.19 Sistem pelumasan kompresor rotary

Sedangkan pada jenis oil free tidak diinjeksikan minyak pelumas. Biasanya memiliki tekanan keluar yang lebih rendah dibanding jenis oil flooded. Misalnya dipergunakan pada bidang medis atau industri semikonduktor.

2) Kompresor Sudu Luncur (*Sliding Vane Compressor*)

Disebut juga rotary vane compressor atau kompresor sudu luncur. Terdiri atas sebuah rotor yang dipasang secara eksentris pada silinder yang sedikit lebih besar dari pada rotor. Gambar berikut menunjukkan bagian-bagian kompresor sudu luncur:

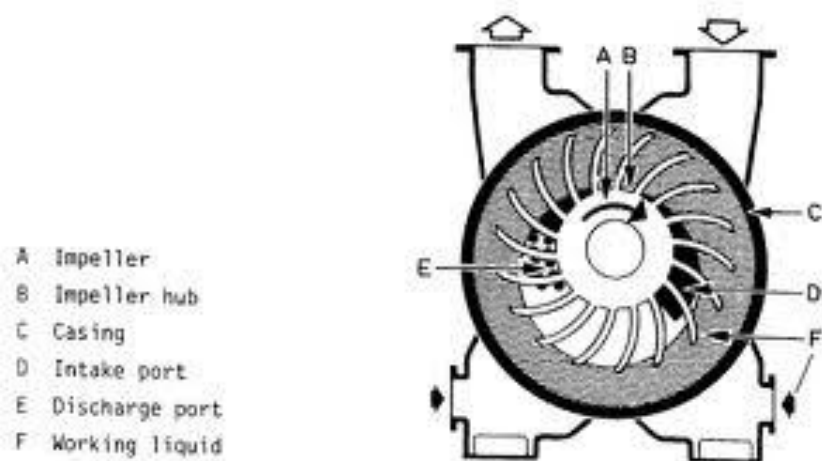


Gambar 1.20 Konstruksi kompresor sudu luncur

Baling-baling bergerak maju mundur secara radial dalam slot rotor mengikuti kontur dinding silinder saat rotor berputar. Sudu didorong oleh gaya sentrifugal yang timbul saat rotor berputar sehingga selalu rapat dengan dinding silinder. Untuk menjamin kerapatan antara sudu dengan dinding silinder dipasang pegas pada slot rotor. Untuk menjaga agar sudu tidak cepat aus, maka biasanya diujung sudu yang bersinggungan dengan casing digunakan logam lain. Kapasitas kompresor untuk ukuran rotor dan casing yang sama adalah fungsi jumlah sudu. Semakin banyak sudunya, makin besar kapasitasnya, tetapi perbandingan kompresinya lebih rendah dan volume vane lebih besar. Randemen volumetrisnya berkisar antara 0,6 sd 0,9.

3) *Liquid Piston Compressor*

Merupakan kompresor rotari yang proses kompresinya menggunakan zat cair yang membentuk cincin dan berfungsi sebagai piston, umumnya cairan tersebut adalah air tetapi dapat juga oli



Gambar 1.21 Kompresor Liquid ring

Mula-mula rumah kompresor diisi dengan zat cair, kemudian rotor diputar. Dengan putaran tertentu, maka air mengalami gaya sentrifugal sehingga membentuk cincin (ring) yang terbentuk ditepi rumah kompresor. Bagian inlet menjadi kosong dan gas yang akan dikompresikan masuk ke saluran isap dan mengisi saluran

kosong tersebut, kemudian dikompresikan. Setelah itu dikeluarkan melalui saluran buang (discharge port) yang berukuran jauh lebih kecil daripada saluran isap. Untuk menjamin agar tidak terjadi panas yang berlebihan, maka air pembentuk cincin dapat disirkulasikan/diganti secara rutin.

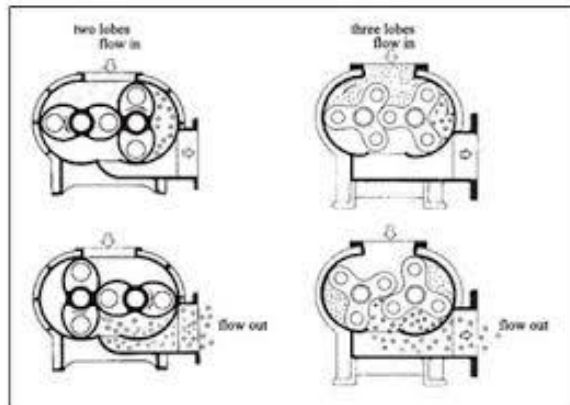
4) *Kompresor Root Blower (Sayap Kupu-kupu)*

Kompresor jenis ini akan mengisap udara luar dari satu sisi ke sisi yang lain tanpa ada perubahan volume. Torak membuat penguncian pada bagian sisi yang bertekanan. Prinsip kompresor ini ternyata dapat disamakan dengan pompa pelumas model kupu-kupu pada sebuah motor bakar. Beberapa kelemahannya adalah: tingkat kebocoran yang tinggi. Kebocoran terjadi karena antara baling-baling dan rumahnya tidak dapat saling rapat betul.

Berbeda jika dibandingkan dengan pompa pelumas pada motor bakar, karena fluidanya adalah minyak pelumas maka film-film minyak sendiri sudah menjadi bahan perapat antara dinding rumah dan sayap-sayap kupu itu. Dilihat dari konstruksinya, Sayap kupu-kupu di dalam rumah pompa digerakan oleh sepasang roda gigi yang saling bertautan juga, sehingga dapat berputar tepat pada dinding.



Gambar 1.22 Konstruksi kompresor Root Blower (Lobe)

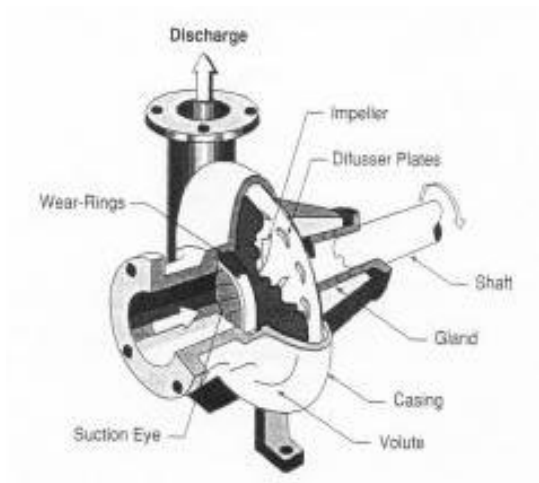


Gambar 1.23 Prinsip Kerja Kompresor Root Blower

3. Kompresor Dinamis (Sentrifugal)

Kompresor udara sentrifugal 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.

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 kompresor *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.



Gambar 1.24 Kompresor Sentrifugal

Karakteristik

Karakteristik kompresor sentrifugal secara umum sebagai berikut :

- Aliran discharge uniform.
- Kapasitas tersedia dari kecil sampai besar.
- Tekanan discharge dipengaruhi oleh density gas/udara.

- Mampu memberikan unjuk kerja pada efisiensi yang tinggi dengan beroperasi pada range tekanan dan kapasitas yang besar

Bagian Utama Kompresor Sentrifugal dan fungsinya

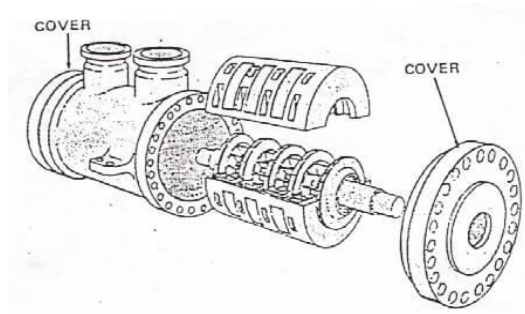
Kompresor terdiri dari beberapa bagian yang fungsinya satu dengan yang lain saling berhubungan, diantaranya adalah :

a) Bagian Statis

1) *Casing*

Casing merupakan bagian paling luar kompresor yang berfungsi :

- Sebagai pelindung terhadap pengaruh mekanik dari luar.
- Sebagai pelindung dan penumpu/pendukung dari bagian-bagian yang bergerak.
- Sebagai tempat kedudukan nozel suction dan discharge serta bagian diam lainnya.
- Berikut contoh gambar dari tipe radial split barrel dengan bentuk selongsong dan ditutup bagian depan-belakang (rear-front cover).

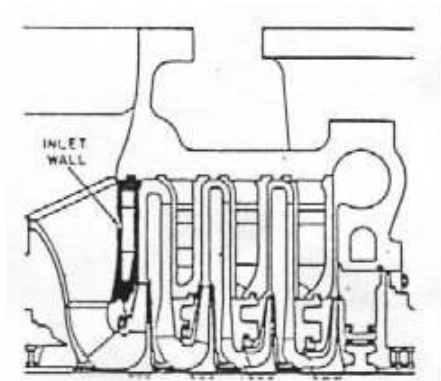


Gambar 1.25 Casing Kompresor sentrifugal

2) *Inlet Wall*

Inlet wall adalah diafram (dinding penyekat) yang dipasang pada sisi suction sebagai inlet channel dan berhubungan dengan inlet nozzle.

Karena berfungsi sebagai saluran gas masuk pada stage pertama, maka materialnya harus tahan terhadap abrasive dan erosi.

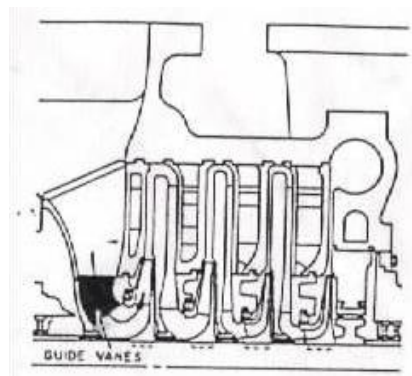


Gambar 1.26 Inlet Wall

3) *Guide Vane*

Guide vane di tempatkan pada bagian depan eye impeller pertama pada bagian suction (inlet channel). Fungsi utama guide vane adalah mengarahkan aliran agar gas dapat masuk impeller dengan distribusi yang merata.

Konstruksi vane ada yang fixed dan ada yang dapat di atur (movable) posisi sudutnya dengan tujuan agar operasi kompresor dapat bervariasi dan dicapai efisiensi dan stabilitas yang tinggi.

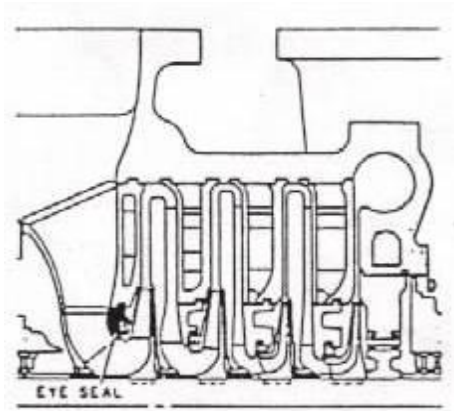


Gambar 1.27 Guide Vanes

4) *Eye Seal*

Eye seal ditempatkan di sekeliling bagian luar eye impeller dan di tumpu oleh inlet wall. Eye seal selalu berbentuk satu set ring logam yang mengelilingi wearing ring impeller (lihat gambar 4).

Berfungsi untuk mencegah aliran balik dari gas yang keluar dari discharge impeller (tekanan tinggi) kembali masuk ke sisi suction (tekanan rendah).

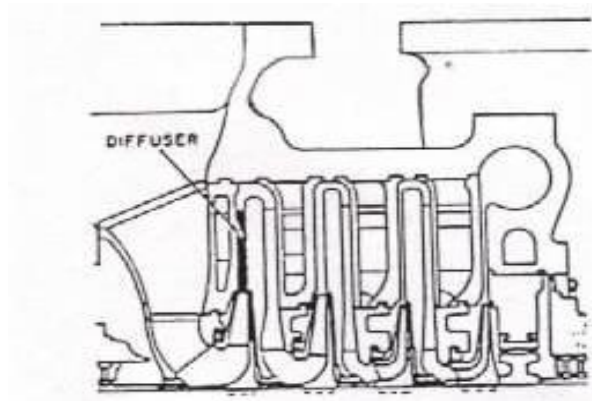


Gambar 1.28 *Eye Seal*

5) *Diffuser*

Diffuser berfungsi untuk merubah energi kecepatan yang keluar dari discharge impeller menjadi energi potensial (dinamis).

Untuk multi stage dipasang diantara inter stage impeller.

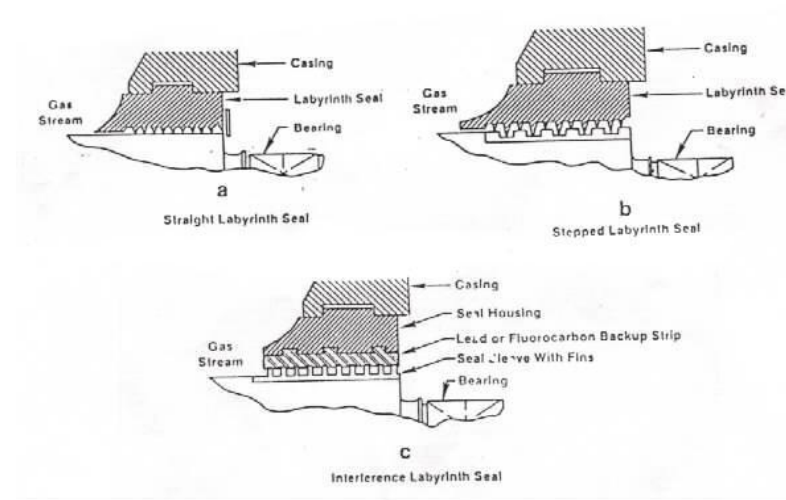


Gambar 1.29 Diffuser

6) Labirinth Seal

Labirinth seal digunakan untuk menyekat pada daerah :

- Shaft dan diafragma sebagai shaft seal.
- Casing dan shaft sebagai casing seal.

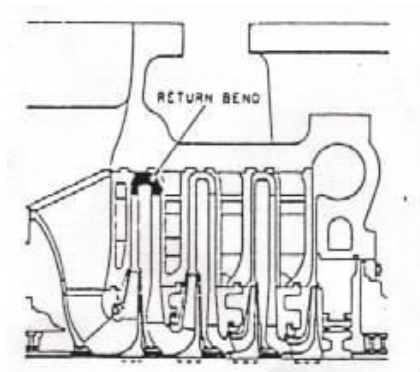


Gambar 1.30 Labirin Seal

7) Return Bend

Return bend sering juga disebut crossover yang berfungsi membelokkan arah aliran gas dari diffuser ke return channel untuk masuk pada stage/impeller berikutnya. Return bend di bentuk oleh susunan diafragma yang dipasang dalam casing.

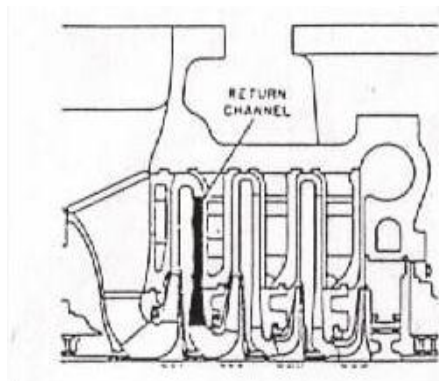
Bentuk dan posisi dari return bend ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1.31 Return Bend

8) Return Channel

Return channel adalah saluran yang berfungsi memberi arah aliran gas dari return bend masuk ke dalam impeller berikutnya. Return channel ada yang dilengkapi dengan fixed vane dengan tujuan memperkecil swirl (olakan aliran gas) pada saat masuk stage berikutnya sehingga dapat memperkecil vibrasi, lihat gambar berikut.

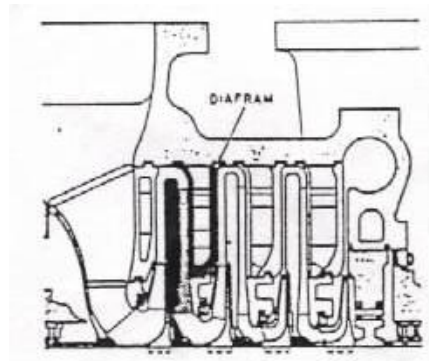


Gambar 1.32 Return channel

9) Diafragma

Diafragma adalah komponen bagian dalam kompresor yang berfungsi sebagai penyekat antar stage dan tempat kedudukan eye seal maupun inter stage seal. Dengan pemasangan diafragma secara seri, akan terbentuk tiga bagian penting, yaitu diffuser, return bend, dan return channel. Diafragma ditempatkan didalam

casing dengan hubungan tongue-groove sehingga mudah dibongkar pasang.



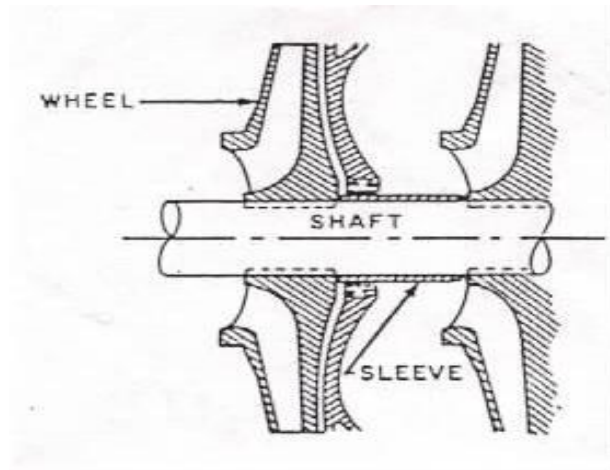
Gambar 1.33 Diafragma

b) Bagian Dinamis

1) Shaft and Shaft Sleeve

Shaft atau poros transmisi digunakan untuk mendukung impeller dan meneruskan daya dari penggerak ke impeller. Untuk penempatan impeller pada shaft di gunakan pasak (key) dan pada multi stage, posisi pasak di buat selang-seling agar seimbang.

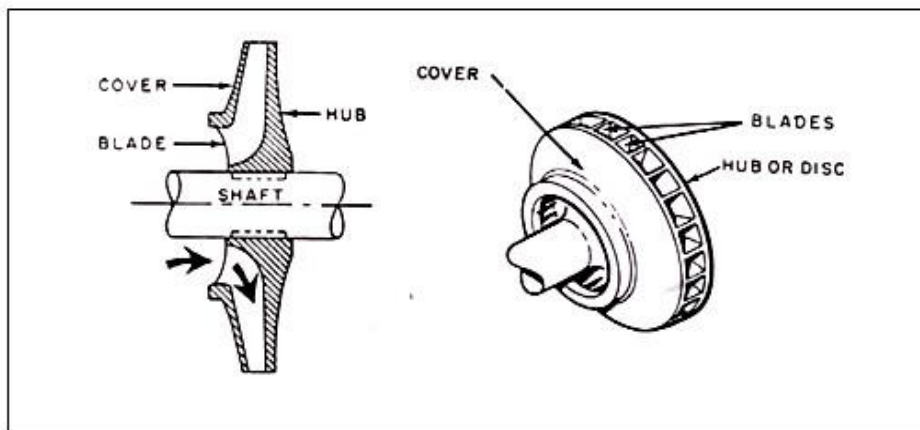
Sedangkan jarak antar stage dari impeller di gunakan shaft sleeve, yang berfungsi sebagai pelindung shaft terhadap pengaruh korosi, erosi dan abrasi dari aliran dan sifat gas dan untuk penempatan shaft seal diantara stage impeller.



Gambar 1.34 Shaft dan Sleeve

2) Impeller

Impeller berfungsi untuk menaikkan kecepatan gas dengan cara berputar, sehingga menimbulkan gaya. Hal ini menyebabkan gas masuk/mengalir dari inlet tip (eye impeller) ke discharge tip. Karena adanya perubahan jari-jari dari sumbu putar antara tip sudu masuk dengan tip sudu keluar maka terjadi kenaikan energi kecepatan.



Gambar 1.35 Impeler

3) Bantalan (Bearing)

Bearing adalah bagian internal kompresor yang berfungsi untuk mendukung beban radial dan aksial yang berputar dengan tujuan

memperkecil gesekan dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya.

Pada kompresor sentrifugal terdapat dua jenis bearing, yaitu :

1. Journal bearing

Digunakan untuk mendukung beban dengan arah radial (tegak lurus poros).

2. Thrust bearing

Digunakan untuk mendukung beban kearah aksial (sejajar poros).

4) Oil Film Seal

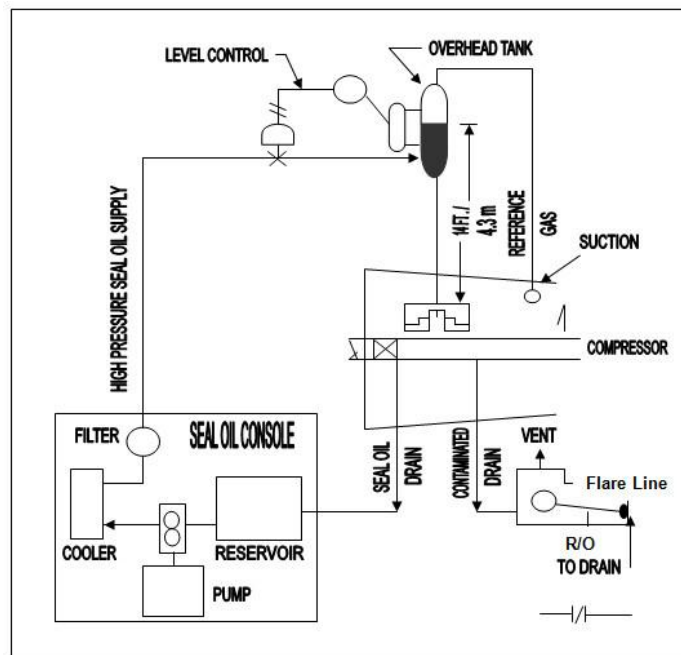
Oil film seal merupakan salah satu jenis seal yang digunakan dalam kompresor. Oil film seal terdiri dari satu atau dua seal ring. Pada seal jenis ini diinjeksikan minyak (oil) sebagai penyekat/perapat (seal oil) antara kedua seal ring yang memiliki clearance sangat kecil terhadap shaft. Tekanan masuk seal oil dikontrol secara proporsional berdasarkan perbedaan tekanan sekitar 5 psi diatas tekanan internal gas dan perbedaan tekanan oil-gas selalu dipertahankan.

Sehubungan dengan kondisi operasi tidak selalu konstan, maka untuk mempertahankan perbedaan tekanan antar seal oil dan gas dapat sesuai dengan kondisi operasi, digunakan overhead tank.

Sistim overhead tank adalah memasang tanki penampung seal oil dengan ketinggian tertentu diatas kompresor dan level seal oil dalam tanki dikontrol melalui level control operated valve, kemudian tekanan gas stream dimasukkan kedalam tanki melalui bagian atas (top) sehingga memberikan tekanan pada permukaan seal oil.

Dengan sistem overhead tank, maka head static seal oil secara otomatis dapat menyesuaikan dengan kondisi operasi kompresor, sehingga perbedaan tekanan oil-gas proses dapat dipertahankan konstan.

Gambar berikut menunjukkan sistim overhead tank untuk seal oil pada oil film shaft seal with cylindrical bushing.



Gambar 1.36 Over head tank

B. Jenis Penggerak dan Transmisi daya Pada Kompresor

Penggerak kompresor pada umumnya memakai motor listrik atau motor bakar torak.

(1) Motor Listrik

Motor listrik pada umumnya diklasifikasikan menjadi dua yaitu motor induksi dan motor sinkron. Motor induksi mempunyai faktor daya rendah dan efisiensi lebih rendah dibanding dengan motor sinkron. Arus awal induksi juga sangat besar. Namun motor

induksi s.d. 600 kW masih banyak dipakai karena harganya yang relatif murah dan pemeliharaannya mudah.

Motor listrik induksi terdapat 2 jenis yaitu jenis sangkar bajing (*squirrel-cage*) dan jenis rotor lilit (*wound rotor*). Motor listrik tipe sangkar bajing lebih banyak digunakan karena mudah pemeliharaannya.

Motor listrik jenis sinkron mempunyai faktor daya dan efisiensi yang tinggi, namun harganya mahal, sehingga jika pemakaian daya tidak merupakan faktor yang sangat menentukan, motor jenis ini jarang digunakan. Motor ini banyak digunakan pada industri yang membutuhkan tekanan udara yang besar.

Karakteristik starter pada motor listrik bermacam-macam tergantung pada momen awal, kapasitas sumber tenaga (listrik) yang ada dan pengaruh arus awal pada sistem distribusi daya yang ada. Berikut tabel karakteristik start beberapa motor listrik.

Tabel 1.1. Karakteristik start motor listrik

Motor		Starter	Momen awal (%)	Arus awal (%)	Harga
Motor induksi	Sangkar bajing	Tanpa starter (tegangan penuh)	100	500	Murah
		Reaktor	40	400	Sedang
	Jenis rotor lilit	Kompensator	40	200	Mahal
		Resistor sekunder	100	150	Paling mahal
Motor sinkron		Tanpa starter (tegangan penuh)	50-60	500	Murah
		Reaktor	20-30	400	Sedang
		Kompensator	20-30	200	Mahal

(2) Motor Bakar Torak

Motor bakar biasa dipergunakan sebagai penggerak kompresor bila tidak tersedia sumber listrik di tempat pemasangan kompresor, atau memang diinginkan sebagai kompresor portable. Motor bensin biasa digunakan pada daya s.d. 5.5 kW, sedangkan untuk daya yang lebih besar biasa digunakan motor diesel.

Daya dari motor penggerak, baik motor listrik maupun motor bakar harus ditransmisikan ke poros kompresor untuk supaya kompresor bekerja. Beberapa transmisi daya pada penggerak motor listrik antara lain : V-belt, kopling tetap dan rotor terpadu, sedangkan pada penggerak motor bakar transmisi daya menggunakan V-belt, kopling tetap dan atau kopling gesek.

V-belt atau sabuk-V mempunyai keuntungan putaran kompresor dapat dipilih bebas sehingga dapat dipakai motor putaran tinggi, namun memiliki kerugian daya akibat slip antara puli dan sabuk serta memerlukan ruangan yang besar untuk pemasangan. Transmisi model ini banyak digunakan pada kompresor kecil dengan daya kurang dari 75 kW.

Kopling tetap mempunyai efisiensi yang tinggi serta pemeliharaannya lebih mudah, namun transmisi ini memerlukan motor dengan putaran rendah yang umumnya harganya mahal. Transmisi daya model ini hanya dipakai jika memang diperlukan daya yang besar antara 150 kW s.d. 450 kW.

Rotor terpadu merupakan penggabungan poros engkol kompresor dengan poros motor penggerak sehingga konstruksinya kompak, tidak banyak memerlukan ruang dan pemeliharaannya lebih mudah. Namun transmisi daya model ini memerlukan desain motor penggerak yang khusus.

Kopling gesek digunakan untuk memungkinkan motor dapat distart tanpa beban dengan membuka kopling. Kerugian transmisi daya model ini adalah memerlukan kopling yang besar untuk kompresor dengan fluktuasi (perubahan) momen puntir yang besar.

C. Penentuan spesifikasi

Angka terpenting dalam mencermati spesifikasi kompresor adalah laju volume gas yang dikeluarkan dan tekanan kerjanya. Jika kedua faktor itu sudah ditentukan, daya kompresor dihitung dengan pendekatan contoh perhitungan daya yang telah diuraikan di depan.

Pembelian kompresor perlu diperhatikan dengan jelas tujuan penggunaan dan persyaratan-persyaratannya. Hal-hal berikut perlu diperhatikan dalam pembelian kompresor, yaitu :

- (1) Maksud/ tujuan penggunaan kompresor
- (2) Tekanan isap
- (3) Tekanan keluar
- (4) Jenis dan sifat gas yang ditangani
- (5) Temperatur dan kelembaban gas
- (6) Kapasitas aliran gas yang diperlukan
- (7) Peralatan untuk mengatur kapasitas (jenis, otomatis atau manual, bertingkat banyak)
- (8) Cara pendinginan (dengan udara atau air), muka, temperatur dan tekanan air pendingin, bila digunakan pendingin air.
- (9) Sumber tenaga (frekuensi, tegangan dan kapasitas daya)
- (10) Kondisi lingkungan tempat instalasi
- (11) Jenis penggerak/ sumber tenaga kompresor (motor listrik atau motor bakar)
- (12) Putaran penggerak mula
- (13) Jenis kompresor (pelumas minyak atau bebas minyak, kompresor torak atau putar, jumlah tingkat kompresi, permanen atau portable, dll.)
- (14) Jumlah kompresor

Beberapa hal lain yang harus dipertimbangkan dalam memilih suatu kompresor adalah :

- (1) Biaya investasi (harga kompresor, motor penggerak, peralatan dan instalasi listrik, peralatan pembantu, biaya pembangunan gedung, pondasim dan lain-lain)
- (2) Biaya operasi (biaya tenaga listrik, bahan bakar, minyak pelumas dan air pendingin)
- (3) Biaya pemeliharaan (biaya penggantian suku cadang, perbaikan dan overhaul)

Kompresor dengan daya s.d. 300 kW biasanya banyak tersedia dipasaran (diproduksi massal) sehingga harganya relatif murah, dapat didapatkan dengan mudah, suku cadang mudah didapat dan ekonomis.

Pemilihan bahan untuk bagian-bagian yang bersinggungan dengan zat yang korosif harus sangat diperhitungkan, karena akan mempengaruhi umur pemakaian. Pada sistem pendingin air jika yang digunakan adalah air tawar bersih dapat digunakan bahan pipa baja galvanis, pipa tembaga atau pipa tembaga nikel. Pendingin dengan air tawar kotor atau air laut sebaiknya pipa tembaga nikel yang dipakai. Sedangkan bagian pipa yang berkaitan dengan gas yang dipindahkan, berikut ditampilkan Tabel 5. Gas yang diberi tanda "x" berarti korosif terhadap logam tersebut.

Tabel 1.2. Jenis-jenis gas yang korosif terhadap bahan

Jenis gas Bahan	Asetilin	Hidrogen sulfida	Gas asam belerang	Gas klor	Oksigin	Gas asam	Gas yang mengandung logam alkali atau karbonat
Tembaga	x	x	x	x	x	x	
Besi dan besi cor				x	x	x	
Paduan aluminium				x	x	x	x
Karet		x	x	x			

D. Instalasi Kompresor Udara

a) Pemilihan Tempat

Tempat instalasi kompresor harus dipilih berdasarkan beberapa kriteria sebagai berikut :

- (1) Instalasi kompresor harus dipasang sedekat mungkin dengan tempat-tempat yang memerlukan udara bertekanan.
- (2) Lingkungan instalasi kompresor tidak boleh ada gas yang mudah terbakar atau zat yang mudah meledak.
- (3) Lingkungan instalasi kompresor harus memungkinkan dilakukan pemeliharaan dan pemeriksaan dan perbaikan dengan mudah dan leluasa.
- (4) Ruang tempat instalasi kompresor harus terang, luas dan berventilasi baik.
- (5) Temperatur ruangan instalasi kompresor harus lebih rendah dari 40°C.
- (6) Instalasi kompresor harus di tempat yang terlindung, seperti ruangan atau dalam gedung.

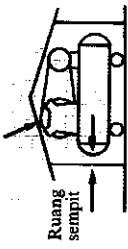
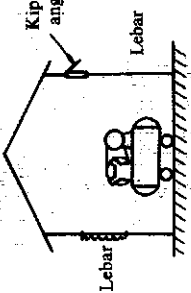
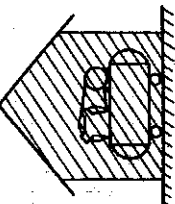
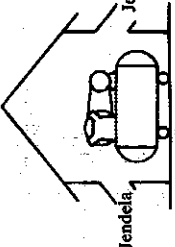
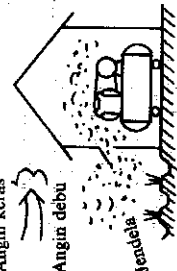
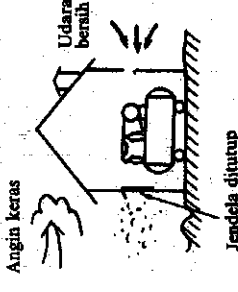
b) Kondisi Pengisapan

Pengisapan udara dari atmosfer atau udara lingkungan perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- (1) Temperatur udara yang diisap harus dijaga serendah mungkin dan tidak boleh lebih panas dari 40°C
- (2) Kandungan debu dan partikel kotoran disekitar tempat/ saluran isap harus dijaga sekecil mungkin
- (3) Udara yang diisap harus sekering mungkin

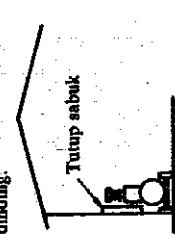
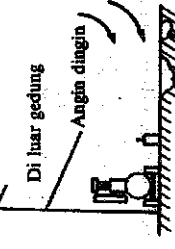
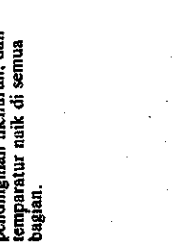
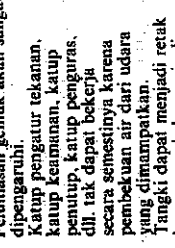
Pedoman tentang langkah-langkah yang penting dan perlu diperhatikan sehubungan penempatan instalasi kompresor diuraikan dalam Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Pedoman Instalasi Kompresor

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> Sediakan ruangan yang cukup di sekitar kompresor untuk pemeliharaan dan pemeriksaan. 	 <p>Ruang sempit</p>	<ul style="list-style-type: none"> Pemeriksaan dan pemeliharaan harian sangat sukar dilakukan. Temperatur meningkat di ruang kompresor. Minyak tiba-tiba naik, gemuk di dalam bantalan meleleh ke luar (pada kompresor jenis bebas minyak); prestasi memburuk; motor terbakar; ketahanan menurun. 	 <p>Kipas angin</p> <p>Lebar</p> <p>Lebar</p> <p>Usahakan ventilasi penuh pada ruangan.</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> Tempatkan di daerah yang terang. 	 <p>Penempatan di daerah yang gelap.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Pemeliharaan sukar dilakukan. Pemeriksaan sehari-hari sukar. Bagian yang rusak tidak dapat segera diketahui. 	 <p>Jendela</p> <p>Jendela</p> <p>Pasanglah di tempat yang terang.</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> Jangan memasang di daerah yang berdebu (Panganan khusus perlu untuk kompresor jenis bebas minyak). 	 <p>Udara bersih tak dapat disap.</p> <p>Angin keras</p> <p>Angin debu</p> <p>Jendela</p> <p>Banyak debu halus dari tanah, semen, bubuk besi, dll. di sekeliling kompresor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Saringan udara akan cepat tersumbat sehingga prestasi kompresor memburuk. Kausan yang berlebihan pada silinder. Katup pecah Kerusakan pada bantalan Partikel-partikel asing tercampur dalam udara tekan. 	 <p>Udara bersih</p> <p>Jendela ditutup</p> <p>Angin keras</p> <p>Tambahkan pipa isap untuk dapat mengisap udara bersih dari luar ruangan.</p> <p>Jangan biarkan debu tersap.</p>

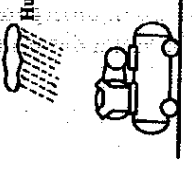
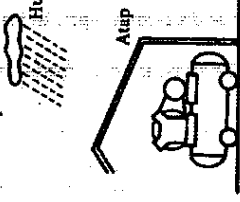
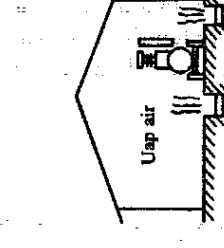
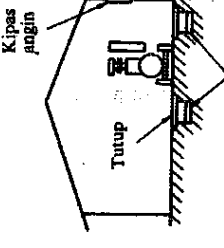
Bersambung ...

Lanjutan Tabel 1.3

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
4	<ul style="list-style-type: none"> Jangan menempatkan kompresor di tempat-tempat yang bersuhu tinggi dan kurang ventilasi. 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatur lingkungan melebihi 40°C. Kompresor ditempatkan terlalu dekat pada dinding. Sinar matahari langsung 	<ul style="list-style-type: none"> Minyak tiba-tiba naik. Gemuk di dalam bantalan meleleh dan keluar (pada kompresor jenis bebas minyak). Motor terbakar. Ketahanan menurun. 	<ul style="list-style-type: none"> Hindari lingkungan yang bertemperatur tinggi. Berikan ventilasi penuh. Kompresor harus diletakkan pada jarak lebih dari 30 cm dari dinding. Harus diberi atap. 
5	<ul style="list-style-type: none"> Jangan menempatkan kompresor pada lingkungan yang bertemperatur rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> Kompresor ditempatkan terlalu dekat pada dinding. Sinar matahari langsung 	<ul style="list-style-type: none"> Dapat terjadi pemanasan yang berlebihan. 	<ul style="list-style-type: none"> Harus dipanaskan lebih dahulu sebelum dijalankan. Kompresor tak dapat distart. Pelumasannya akan sangat dipengaruhi. Katup pengatur tekanan, katup keamanan, katup penutup, katup penguras, dll. tak dapat bekerja secara semestinya karena pembekuan air dari udara yang dimampatkan. Tangki dapat menjadi retak karena pembekuan air di dalamnya. 

Bersambung...

Lanjutan Tabel 1.3

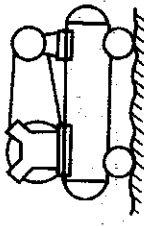
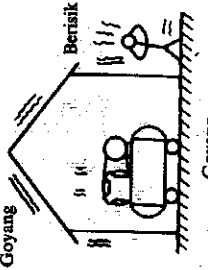
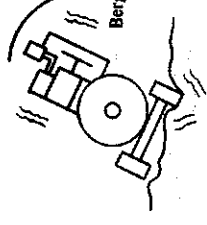
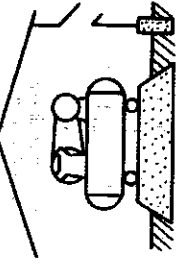
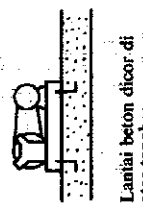
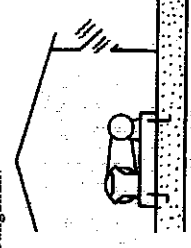
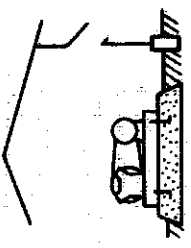
No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
6	<ul style="list-style-type: none"> Jangan menempatkan kompresor di tempat yang lembab atau yang tidak beratap. 	<ul style="list-style-type: none"> Kompresor kehujanan. 	<ul style="list-style-type: none"> Kerusakan pada waktu operasi atau kecelakaan karena listrik dapat terjadi. Pengembunan uap air akan meningkat dan mengakibatkan korosi lebih cepat pada bagian-bagian kompresor. Cincin torak dapat aus lebih cepat. 	<ul style="list-style-type: none"> Tempatkan kompresor di dalam gedung, jika terpaksa dipasang di luar, berikan atap. 
7	<ul style="list-style-type: none"> Jangan menempatkan kompresor di mana terdapat gas-gas yang mudah meledak (seperti asetilen, propan, dll.), atau gas-gas yang korosif (seperti chlorine, sulfur anhidrida, dll.) atau bahan-bahan dan benda yang berbahaya. 	<ul style="list-style-type: none"> Ada bahan berbahaya di sekitar kompresor. 	<ul style="list-style-type: none"> Ledakan dapat terjadi jika temperatur ruang kompresor naik. Gas yang mudah terbakar dapat dinyalakan oleh bunga api dari bagian-bagian listrik yang ada. Bahan-bahan yang berbahaya dapat bocor keluar karena getaran dari kompresor. Kerusakan yang berlebihan pada bagian-bagian kompresor. Korosi pada tangki udara dan pipa-pipa. Minyak pelumas yang cepat memburuk. 	<ul style="list-style-type: none"> Tutuplah saluran terbuka yang berair dengan penutup agar uap air tidak terisap kompresor. 
				<ul style="list-style-type: none"> Periksalah lingkungan kompresor. Tempatkan pada tempat yang aman. Berikan ventilasi penub. Ambil tindakan pencegahan ledakan jika kompresor harus dipajang di tempat yang mudah meledak. Misalnya dengan menggunakan motor, tumbol magnetik, tumbol tekanan, dan kabel jenis anti ledak).

c) Pondasi dan Pemasangan

Pondasi digunakan untuk menjaga agar kerja kompresor optimal dan membuat umur pemakaian kompresor panjang. Pondasi yang baik mampu meredam

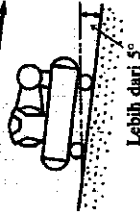
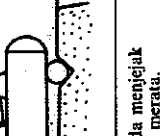
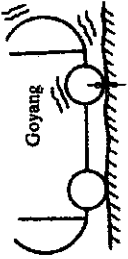
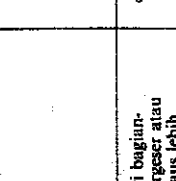
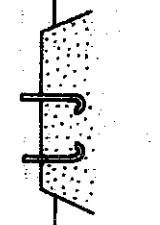
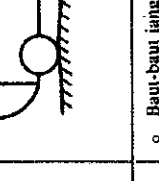
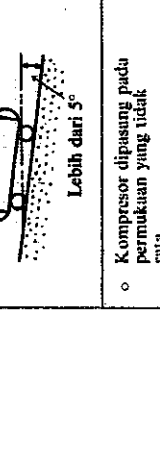
getaran, membuat perawatan dan perbaikan mudah. Pedoman pembuatan pondasi dan pemasangan instalasi diuraikan dalam Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Pedoman pembuatan pondasi dan pemasangan instalasi

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> Jangan memasang di atas tanah yang buruk. 	<p>o Kompresor dipasang di atas tanah buruk tanpa pemeriksaan tanah lebih dahulu.</p>  <p>Landasan tanah buruk</p>	<p>Goyang</p>  <p>Berisik</p> <p>Goyang</p> <ul style="list-style-type: none"> Polusi suara. Keluhan dari para penghuni di sekitarnya. Efisiensi kerja rendah. Getaran pada bangunan dan struktur di sekitarnya. <p>Bergetar</p>  <p>Landasan tanah buruk</p>	<p>o Contoh yang benar</p> <ul style="list-style-type: none"> Keringkan tanah sebaik mungkin. Buatkan pondasi yang kokoh. Usahakan pondasi sedatar mungkin. 
	Goyang	<ul style="list-style-type: none"> Lantai beton yang dicor di atas tanah dan dipakai memasang kompresor.  <p>Lantai beton dicor di atas tanah</p>	<ul style="list-style-type: none"> Getaran merambat ke jendela bangunan. 	<ul style="list-style-type: none"> Pisahkan pondasi kompresor dari yang lain. 

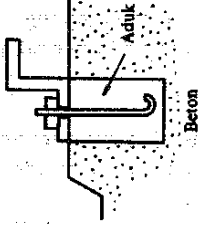

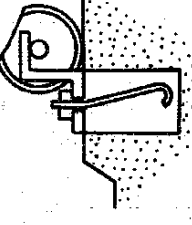
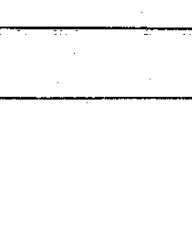
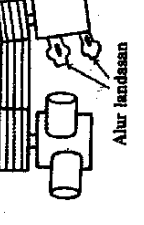
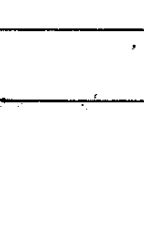
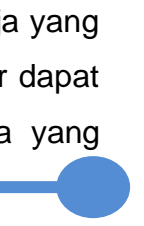
Bersambung...

Lanjutan tabel 1.4

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
2	<ul style="list-style-type: none"> Pasanglah pada kedudukan mendatar. 	<ul style="list-style-type: none"> Kompresor dipasang pada lereng. Mengelinding ke bawah. Lebih dari 5° 	<ul style="list-style-type: none"> Kompresor berpindah pada waktu jalan Permukaan minyak di dalam ruang engkol tidak mengisi. Beberapa bagian tak terlumasi hingga dapat terbakar. 	<ul style="list-style-type: none"> Buatkan alur atau lekukan pada permukaan atas pondasi dan pasanglah kompresor secara mendatar. 
3	<ul style="list-style-type: none"> Bila memakai baut jangkar maka: Sesuaikan jarak baut-baut dengan jarak lubang-lubang pada landasan kompresor. 	<ul style="list-style-type: none"> Kompresor dipasang pada permukaan yang tidak rata. Goyang. Roda tergantung. 	<ul style="list-style-type: none"> Permukaan dari bagian-bagian yang bergeser atau bergerak akan aus lebih cepat karena tumbukan yang disebabkan oleh gesaran yang tidak normal. 	<ul style="list-style-type: none"> Kecpat roda menjejak tanah secara merata. 
		<ul style="list-style-type: none"> Baut-baut jangkar ditanam sebelum kompresor dipasang. 	<ul style="list-style-type: none"> Jarak baut-baut tidak sama dengan jarak lubang pada landasan kompresor. Perbaikan pada lelak baut secara paksa akan menyebabkan patah pada waktu operasi. 	<ol style="list-style-type: none"> Baut ditanam pada waktu kompresor dipasang. Diisi dengan aduk setelah kompresor dipasang. Baut ditanam dengan jarak yang tepat sama dengan lubang landasan kompresor (dengan menggunakan mal)  <p>Ditanam hanya 2/3 bagian dari bagian bawah, dan bagian atasnya dibiarkan bebas.</p>

Bersambung.....

Lanjutan Tabel 1.4

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
(2)	<p>Aduk harus lekat sepenuhnya pada beton.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Baut tidak dapat dikencangkan. Kompresor bergetar secara berlebihan. 	<ul style="list-style-type: none"> Jalankan kompresor hanya setelah aduk mengeras.
(3)	<p>Baut harus tegak lurus pada permukaan pondasi.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Baut dapat patah pada waktu operasi. 	<ul style="list-style-type: none"> Baut harus tegak lurus permukaan pondasi pada sumbu lubang landasan. 
4	<ul style="list-style-type: none"> Puli kompresor harus sejajar dengan puli motor. Alur landasan motor harus sejajar dengan sabuk-V. 	<ul style="list-style-type: none"> Puli kompresor tidak sejajar dengan puli motor. Alur landasan motor tidak sejajar dengan sabuk-V. 	<ul style="list-style-type: none"> Terjadi suara yang tidak semestinya. Sabuk putus. Penyimpangan dari kesejajaran akan semakin besar jika motor digeser untuk menghangatkan sabuk. 	<ul style="list-style-type: none"> Pasanglah sedemikian rupa hingga puli motor dan puli kompresor sejajar. Pasanglah alur landasan motor sejajar dengan sabuk-V. 

d) Pemipaan

Kompresor besar atau kompresor permanen memerlukan pemipaan untuk menyalurkan udara bertekanan kepada peralatan pemakai. Pemipaan memerlukan kerja yang cermat dan teliti, karena pemasangan yang tidak benar dapat menimbulkan retakan dan kerusakan yang lain. Pipa yang

diperlukan dalam instalasi antara lain : pipa keluar, pipa pembebas beban dan pipa pendinginan. Penanganan masing-masing pipa adalah sebagai berikut:

(1) Pipa Keluar

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada penanganan pipa keluar adalah :

- (a) Bahan pipa yang berminyak, karatan, berlapis ter arang batu atau cat tidak boleh dipakai
- (b) Untuk menyambung pipa keluar harus dipergunakan sambungan flens las
- (c) Jika pipa keluar, mulai dari kompresor s.d. tangki udara atau pendingin akhir, beresonansi dengan pulsasi udara keluar maka akan timbul berbagai akibat yang negatip antara lain bunyi yang keras dan getaran pada pemipaan yang akan memperpendek umur kompresor serta menurunkan performansi dan efisiensi. Frekuensi pribadi kolom udara di dalam pipa keluar dapat ditaksir dengan rumus berikut ini :

$$f = \frac{2m-1}{4L} \times a$$

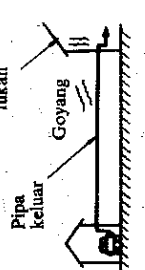
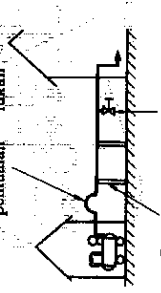
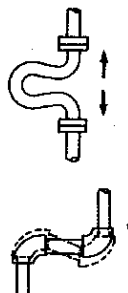

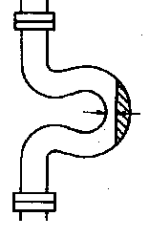
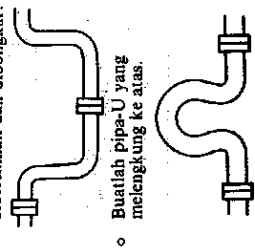
Dimana,

- f : frekuensi pribadi kolom udara (1/s)
- L : panjang ekivalen pipa = $L_p + L_v$ (m)
- L_v : panjang pipa yang dikonversikan (m)
= volume ruang keluar kompresor/ luas penampang = V/A
- m : 1,2,3,...
- a : kec. suara dalam udara/gas (m/s)

Frekuensi pribadi f ini tidak boleh sama dengan frekuensi denyutan tekanan yang ditimbulkan rotor kompresor maupun dengan frekuensi pribadi dari struktur pipa keluar, agar tidak terjadi resonansi.


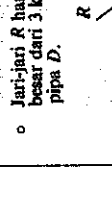
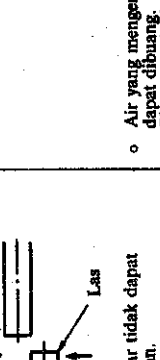
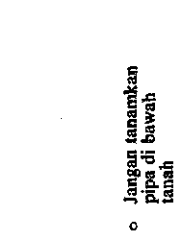
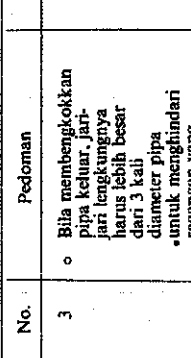
- (d) Temperatur udara keluar pada umumnya berkisar antara 140 s.d, 180°C, sehingga pipa keluar harus mampu menampung pemuaian yang terjadi. Jika pipa sangat panjang, diperlukan dua atau satu belokan luwes untuk membuat pipa lebih elastis.
 - (e) Sebuah pendingin akhir harus dipasang sedekat mungkin dengan kompresor untuk mengurangi pemuaian thermal pada pipa dan memperkecil kandungan air di dalam udara bertekanan.
 - (f) Pipa harus ditumpu untuk mencegah getaran
 - (g) Pada pipa keluar tidak boleh dipasang katup penutup. Jika penggunaan katup penutup tidak bisa dihindari maka diantara kompresor dan katup penutup harus dipasang katup pengaman dengan kapasitas yang cukup.
- Langkah-langkah pengamanan tersebut di atas diuraikan lebih lanjut secara ringkas pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Pedoman pemasangan pipa keluar

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> Kompresor harus dipasang secepat mungkin dengan daerah yang membutuhkan udara tekan. Pipa keluar harus disahakan sependek mungkin. Jika pipa keluar yang panjang tidak dapat dihindari, buatlah penyanga yang memungkinkan ekspansi termal. 	<p>Tempat yang membutuhkan udara tekan terjalau jauh dari kompresor.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa bergerak hebat. Gedung akan menderita akibatnya. Timbul suara berisik. Tahanan pada aliran dalam pipa meningkat, dan tekanan akan menurun. Terjadi pengembunan uap air pada pipa keluar. 	<p>Pasanglah penampang pipa katup membuang air dan pipa lengkung penyerap penunahan. Tempat udara tekan diperlukan.</p>  <p>Penampang Katup pengering</p> <ul style="list-style-type: none"> Jika pipa keluar cukup panjang, pasanglah lengkung pipa penyerap penunahan. 
2	<ul style="list-style-type: none"> Air yang diembunkan akan tinggal di dalam pipa-U. Pasanglah katup pembuang air atau pasanglah pipa-U melengkung ke atas. 	<p>Pipa-U melengkung ke bawah.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Air yang diembunkan akan tinggal di pipa-U. Terjadi korosi pada pipa keluar. Tahanan terhadap aliran udara meningkat dan tekanan menurun banyak. 	<ul style="list-style-type: none"> Pasanglah katup pengering. Buatlah susunan yang mudah dibersihkan dan dibongkar. Buatlah pipa-U yang melengkung ke atas. 

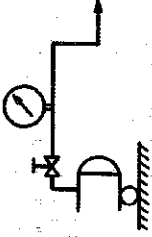
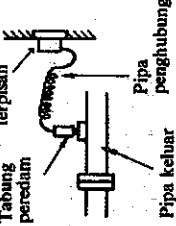
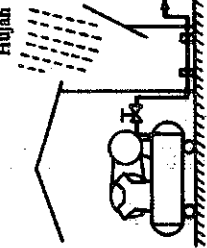
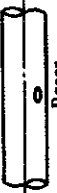

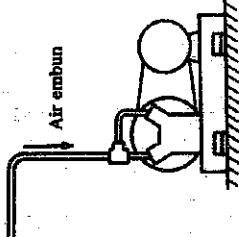
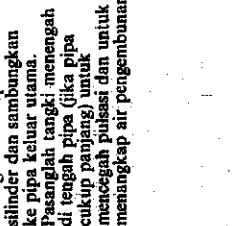
Bersambung

Lanjutan tabel 1.5

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
3	<ul style="list-style-type: none"> Bila membengkokkan pipa ketiur, jari-jari lengkungnya harus lebih besar dari 3 kali diameter pipa untuk menghindari regangan yang berlebihan. 	 <ul style="list-style-type: none"> Pipa dibengkokkan dengan paksa. 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa pecah. 	<ul style="list-style-type: none"> Jari-jari R harus lebih besar dari 3 kali diameter pipa D. 
4	<ul style="list-style-type: none"> Jangan saribungkan pipa dengan paksa. 	 <ul style="list-style-type: none"> Pipa yang disambung dengan paksa. Dipaksa dengan paksa 	<ul style="list-style-type: none"> Kebocoran. Mudah terjadi getaran. Pecah pada bagian yang mendapat tegangan tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> Penyambungan las di lapangan tanpa paksa.
5	<ul style="list-style-type: none"> Jangan tanamkan pipa di bawah tanah 	 <ul style="list-style-type: none"> Pipa keluar tidak dapat dibersihkan. 	<ul style="list-style-type: none"> Air yang mengembun tak dapat dibuang. Pipa cepat berkarat. 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa tidak ditanam di bawah tanah.  <p>(Atau) Kastup pengering Pipa di atas tanah</p>

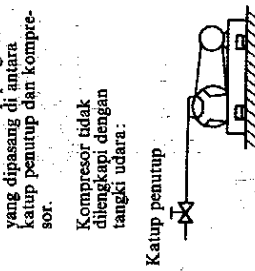
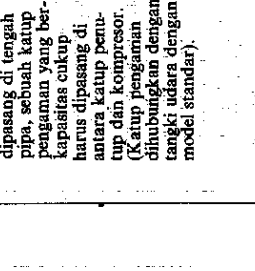
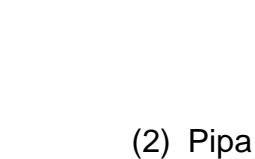
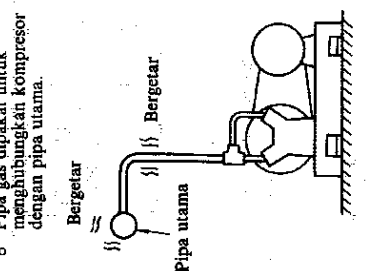
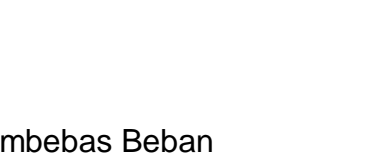
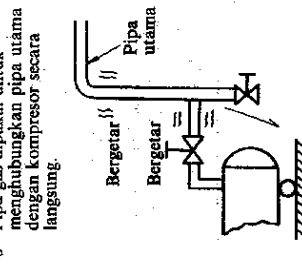

Bersambung ...

Lanjutan Tabel 1.5

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
6	<ul style="list-style-type: none"> Jangan pasang instrumen langsung pada pipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Instrument dipasang langsung pada pipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Kesalahan pembacaan karena getaran dan pulsasi Kesalahan pembacaan karena temperatur tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> Pakailah tabung peredam atau pipa penghubung. 
7	<ul style="list-style-type: none"> Bila lingkungan mudah menimbulkan korosi, pakailah pipa gas putih atau pakailah cat pencegah karat. 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa melahai tempat terbuka. 	<ul style="list-style-type: none"> Kabocoran pipa. 	 <p>Pipa gas putih atau cat pencegah karat.</p>
8	<ul style="list-style-type: none"> Jangan memasang pipa pada kompresor secara lurus ke atas karena akan mengakibatkan air embun mengalir balik ke dalam kompresor. Jika pemasangan semacam itu tak dapat dihindari, pasanglah katup pengering atau perangkap air. 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa dipasang dari kompresor langsung lurus ke atas. 	<ul style="list-style-type: none"> Aliran balik dari air embun. Katup kompresor berkarat. Torak cepat aus. 	<ul style="list-style-type: none"> Pasanglah sambungan (seperti misalnya belokan, sambungan-T, nipple) pada lubang keluar kepala silinder dan sambungkan ke pipa keluar utama. Pasanglah tangki menengah di tengah pipa (jika pipa cukup panjang) untuk mencegah puiisasi dan untuk menangkap air pengembunan. 

Bersambung

Lanjutan Tabel 1.5

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
9	<ul style="list-style-type: none"> Jika katup penutup dipasang di tengah pipa, sebuah katup pengaman yang berkapasitas cukup harus dipasang di antara katup penutup dan kompresor. (Katup pengaman dihubungkan dengan tangki udara dengan model standar) 	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada katup pengaman yang dipasang di antara katup penutup dan kompresor. Kompresor tidak dilengkapi dengan tangki udara. 	<ul style="list-style-type: none"> Pembebanan lebih Letusan pada pipa ketar <p>DOR !</p> 	<p>Katup penutup. (Katup ini dalam keadaan normal harus selalu terbuka, dan pemutarannya tidak dipasang. Atau dipakai katup penutup yang dapat menunjukkan keadaan terbuka atau tertutup.)</p> 
10	<ul style="list-style-type: none"> Sambungkan dengan pipa luwes atau pipa karet untuk mencegah penerusan getaran dari kompresor ke pipa utama. 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa gas dipakai untuk menghubungkan kompresor dengan pipa utama. 	<ul style="list-style-type: none"> Bunyi tidak normal Retak pada pipa 	 <p>Katup pembuang air; manual atau otomatis. (Air dari pengembunan dibuang sehari sekali atau sehari berhenti).</p> <p>* Pipa karet yang tahan tekanan dan temperatur tinggi.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> Pipa gas dipakai untuk menghubungkan pipa utama dengan kompresor secara langsung. 	<ul style="list-style-type: none"> Bunyi tidak normal Retak pada pipa 	<ul style="list-style-type: none"> Harus dihubungkan melalui pipa luwes atau pipa karet. 

(2) Pipa Pembebas Beban

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan pipa pembatas beban antara lain adalah :

- (a) Pipa pembatas beban dipasang antara katup pengatur tekanan dan tangki udara.
- (b) Bagian dalam pipa pembebas beban harus bersih sempurna dari kotoran dan minyak serta cat.
- (c) Sebelum katup pengatur tekanan dipasang harus dilakukan peniupan selama beberapa jam untuk menghilangkan karat, geram dan kotoran lain dari pipa keluar, tangki udara dan pipa pembebas beban.
- (d) Ukuran pipa pembebas beban harus sesuai dengan yang ditentukan oleh pabrik. Jika panjang pipa lebih dari 10 m atau sistem tidak dapat bekerja dengan baik maka harus diambil ukuran yang lebih besar.
- (e) Pada pipa pembebas beban tidak boleh dipasang katup penutup.

Petunjuk-petunjuk umum untuk pipa pembebas beban diberikan dalam Tabel 1.6.

(3) Pipa Air Pendingin dan lainnya

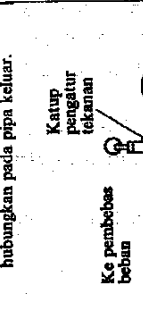
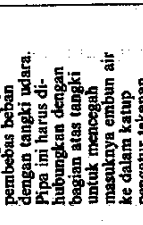

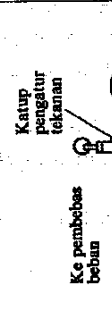

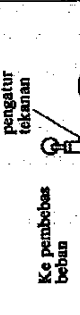
Pedoman umum untuk perencanaan dan pemasangan pipa air pendingin & pipa lainnya diberikan dalam Tabel 1.7.

(4) Kabel Listrik

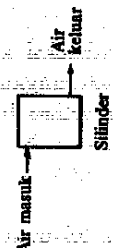

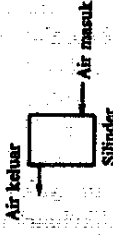

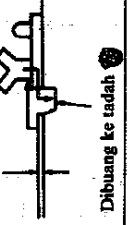

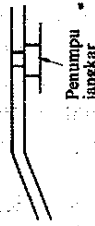
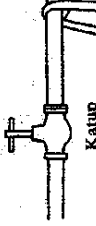
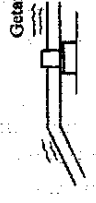
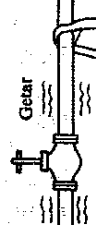
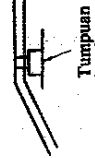
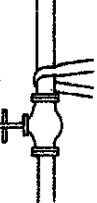
Pemasangan kabel listrik harus memperhatikan bahan kabel yang memenuhi standar dan beberapa hal sebagai berikut :

- (1) Ukuran dan kapasitas kabel, sekring dan tombol-tombol harus ditentukan dengan sangat hati-hati.
- (2) Kabel tidak boleh terlalu panjang dan atau terlalu kecil karena akan menurunkan tegangan dan akan menimbulkan kesulitan dan kerusakan start dimana motor dapat terbakar. Tegangan listrik pada terminal motor tidak boleh kurang dari 90% harga normal.

Tabel 1.6 Pedoman Pemasangan Pipa Pembebas Beban

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> Hubungkan pipa pembebas beban dengan tangki udara. Pipa ini harus di-hubungkan dengan bagian atas tangki untuk mencegah masuknya embun air ke dalam katup pengatur tekanan. 		<ul style="list-style-type: none"> Katup pengatur tekanan tidak bekerja secara sempurna karena tekanan yang berfluktuasi. 	<ul style="list-style-type: none"> Hubungkan pipa pada bagian atas tangki udara. Jangan biarkan air embun masuk ke dalam katup pengatur tekanan. 
2	<ul style="list-style-type: none"> Diameter dan panjang pipa pembebas beban harus sesuai untuk memegang teguh katup pengatur tekanan. 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa pembebas beban terlalu kecil dan panjang. 	<ul style="list-style-type: none"> Katup pengatur tekanan tidak bekerja dengan stabil 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa dengan diameter dan panjang yang sesuai. Diameter tidak kurang dari 3/8 R; panjang tidak lebih dari 10 mm. 
3	<ul style="list-style-type: none"> Jangan memasang katup penutup pada pipa pembebas beban. Jika memang perlu dipasang, katup penutup harus dijaga tetap terbuka selama operasi (harus diberi penunjak). 	<ul style="list-style-type: none"> Katup penutup dipasang pada pipa pembebas beban. 	<ul style="list-style-type: none"> Membuka katup penutup dapat terlupakan pada waktu kompresor bekerja. 	

Tabel 1.7 Pedoman Pemasangan Pipa Air Pendingin dan Lain-lain

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	Air pendingin harus masuk dari pipa bawah dan keluar dari pipa atas.	Air pendingin dimasukkan dari atas dan dikeluarkan dari bawah. 	Ragian atas tidak dapat sepenuhnya didinginkan. 	Air pendingin harus dimasukkan dari bawah dan dikeluarkan dari atas. 
2	Tentukan diameter dan panjang pipa secara tepat.	Pipa terlalu kecil atau terlalu panjang. 	Tahanan dalam pipa terlalu besar dan laju aliran air berkurang.	Pipa air dengan ukuran yang cukup besar. 
3	Tekanan air masuk harus lebih dari 1,3 kg/cm ² .	Tekanan air tidak sesuai.	Jika tekanan terlalu rendah, aliran kurang lancar. Jika tekanan terlalu tinggi, air akan bocor melalui packing pada sambungan dan lain-lain.	Dibuang ke tadah 
4	Pasanglah peralatan yang sesuai pada pipa air pendingin.	Pemakaian relay henti yang tidak tepat. Kapasitas menara pendingin tidak sesuai.	Terjadi kesalahan operasi (tidak terjadi trip pada waktu air berhenti mengalir), dan silinder dapat terbakar. Temperatur air pendingin naik, karena air tidak cukup didinginkan.	Harus dipakai relay henti yang tepat. Kapasitas menara pendingin harus sesuai.
5	Penyangga pipa dan penunpu jangkar harus sesuai untuk mencegah getaran.	Letak penunpu jangkar tidak sesuai.  	Pipa bergetar.  	Pasanglah tumpuan jangkar di dekat tikungan.  Tempatkan penyangga di dekat bagian yang berat. 

e) Pengujian

Setelah kompresor selesai dipasang, harus dilakukan uji coba. Sebelum pengujian dilaksanakan, perlu diadakan pemeriksaan lebih dahulu.

(1). Pemeriksaan sebelum uji coba

Hal-hal yang perlu diperiksa sebelum dilakukan ujicoba antara lain adalah :

- (a) Kondisi instalasi
- (b) Kondisi kabel-kabel listrik
- (c) Kondisi pemipaan

Selain dari pada itu, kompresor harus terlebih dahulu diisi dengan minyak pelumas sebelum dijalankan. Pada kompresor kecil, minyak pelumas biasanya dikeluarkan sebelum kompresor dikirim dari pabrik.

(2) Uji coba

Cara melakukan uji coba biasanya diberikan oleh pabrik di dalam buku petunjuk. Namun umumnya pekerjaan tersebut mencakup hal-hal berikut.

(a) Pemeriksaan arah putaran kompresor

Untuk ini hidupkan kompresor selama beberapa detik untuk meyakinkan bahwa kompresor berputar dalam arah sesuai dengan arah panah yang ada. Kompresor kecil mempunyai puli yang sekaligus berfungsi sebagai kipas angin untuk mendinginkan kompresor. Jika kompresor berputar

dalam arah yang salah, pendinginan tidak akan sempurna dan kompresor menjadi panas serta dapat mengalami gangguan.

(b) Operasi tanpa beban .

Operasi ini dilakukan dalam masa running-in untuk dapat mendeteksi kelainan di dalam sedini mungkin. Operasi tanpa beban harus dilakukan selama jangka waktu yang telah ditentukan, di mana getaran, bunyi, dan temperatur di setiap bantalan diamati.

(c) Operasi dengan beban sebagian

Setelah operasi tanpa beban menunjukkan hasil yang memuaskan, tekanan dinaikkan sampai suatu harga yang ditentukan, secara berangsur-angsur, dengan mentrotel katup penutup utama di sisi keluar. Temperatur pada setiap bantalan dan getaran serta bunyi diamati terus. Demikian pula arus listrik yang masuk serta tegangannya, dll., harus dicatat selama operasi beban sebagian ini untuk dapat menemukan kondisi-kondisi yang tidak normal.

(d) Pengujian peralatan pelindung

Pada akhir operasi beban sebagian, kerja katup pengaman dan katup pembebas beban harus diuji. Di sini batas-batas tekanan yang ditentukan harus dapat dicapai sesuai dengan buku petunjuk dari pabrik.

(e) Operasi stasioner

Operasi stasioner dilakukan dengan menjaga tekanan keluar pada kompresor konstan menurut spesifikasi dari

pabrik. Selama itu temperatur di setiap bagian, getaran, bunyi tak normal, kebocoran pada pipa-pipa, dan bagian yang kendor diarnati dengan cermat.

(f) Penghentian operasi

Urutan langkah-langkah penghentian kompresor adalah sama pentingnya dengan langkah-langkah start dipandang dari segi umur mesin. Adapun urutan penghentian kompresor adalah sbb. :

- Turunkan beban kompresor sampai menjadi nol dan tutup katup air pendingin.
- Biarkan kompresor berjalan selama beberapa menit dalam keadaan tsb. pada 1) untuk membersihkan silinder-silinder dari uap air yang mengembun.
- Kemudian matikan motor, buka katup penguras dan katup laluan udara (ven), dan keuarkan air pendingin.
- Bila temperatur air pendingin di sisi keluar telah turun, aliran air pendingin melalui pendingin akhir dihentikan dan air dikeluarkan seluruhnya dari pendingin ini.
- Buang air embun dari pemisah di pendingin akhir.
- Udara tekan di dalam pipa keluar harus dibuang. Hal ini perlu untuk mencegah kembalinya air embun di pipa keluar ke dalam silinder.

E. Pemeliharaan, Identifikasi Kerusakan dan Perbaikan Kompresor Udara dan Komponen-komponennya

1) Pemeriksaan pada Operasi Harian

Operasional kompresor tiap harinya menuntut adanya pelayanan dan perawatan yang antara lain :

- a). Sediakan buku catatan operasi yang harus diisi setiap hari dengan data-data : temperatur disetiap bagian yang penting, tekanan kerja, konsumsi minyak pelumas, kebocoran-kebocoran (udara, minyak dan air), fluktuasi tekanan hidrolik, perubahan bunyi dan getaran serta hal-hal lain yang dirasa penting.
- b). Katup pengaman harus dioperasikan manual sekali tiap hari.
- c). Zat cair di dalam tangki udara dan pemisah harus dikuras dua kali tiap hari.
- d). Pastikan bahwa meter-meter bekerja dengan baik (jarum manometer dapat bergerak dengan harus dan dapat menunjuk skala nol saat tekanan kosong.
- e). Pastikan bahwa katup pengatur tekanan dan tombol tekanan akan bekerja pada daerah tekanan yang sesuai. Lakukan penyetelan jika tidak sesuai.

Untuk lebih mudah dicermati, ikhtisar pemeriksaan harian dapat dicermati pada tabel berikut :

Tabel 1.8 Ikhtisar Pemeriksaan Harian

No.	Yang Diperiksa	Cara memeriksa
1	Permukaan minyak	Jagalah agar permukaan minyak pelumas ada dalam batas-batas yang ditentukan seperti terlihat pada pengukur permukaan. Tambahkan minyak jika permukaan sudah mencapai batas terendah.
2	Pembuang air pengembunan	Bukalah katup pembuang air dari tangki udara. (Air akan mudah dikeluarkan jika tekanan di dalam tangki udara adalah $0,5 - 1,0 \text{ kg/cm}^2$ atau $0,05 - 0,1 \text{ MPa}$)
3	Pengukur tekanan	Periksa apakah jarum manometer dapat bergerak secara halus, dan jarum menunjuk angka nol (atau mendekati nol) bila tekanan di dalam tangki adalah nol.
4	Katup pengatur	Periksalah dengan mengamati manometer, apakah kompresor bekerja pada daerah tekanan sebagaimana ditetapkan pada pengatur tekanan.
5	Tombol tekanan (pressure switch)	Periksalah dengan mengamati manometer, apakah kompresor bekerja pada daerah tekanan sebagaimana ditetapkan pada tombol tekanan.
6	Katup pengaman	Tariklah sedikit jarum katup pengaman pada keadaan tekanan mencapai maksimum (jarum manometer menunjuk pada garis merah). Jika dengan tarikan ringan saja katup sudah dapat terbuka, maka katup dalam keadaan baik.
7	Lain-lain	Periksalah bagian-bagiannya apakah ada bunyi atau getaran yang luar biasa (tidak normal).

2) Pemeriksaan Rutin/ Berkala

Kompresor mempunyai berbagai bagian yang mendapat beban tumbukan dan yang saling meluncur dengan tekanan permukaan yang besar. Selain itu getaran mekanis serta denyutan tekan merupakan hal yang tak dapat dihindari. Karena itu jika diingini umur yang panjang dan performansi yang tetap baik, kompresor harus dioperasikan dengan benar serta dilakukan pemeriksaan dan pemeliharaan dengan cermat serta diperiksa secara periodik.

Prosedur pemeriksaan rutin diberikan dalam Tabel di bawah. Jangka waktu pemeriksaan rutin bervariasi tergantung pada masing-masing produk. Jadi tabel tersebut hanya dapat dipergunakan sebagai pedoman umum. Pedoman yang lebih

terperinci harus diambil dari buku petunjuk dari pabrik kompresor yang bersangkutan.

Tabel 1.9 Ikhtisar Pemeriksaan Rutin

Obyek pemeriksaan	Prosedur dan tindakan	Waktu (pilihlah yang terpendek)			Keterangan	
		Setiap 250 jam	Setiap 1000 jam	Setiap 3000 jam		
		Setiap 1 bulan	Setiap 4 bulan	Setiap 12 bulan		
Baut, sekrup, dan mur yang kendur	Kencangkan sepenuhnya dengan kunci atau obeng biasa	○				
Sabuk yang rusak atau mulur	Gantilah sabuk yang rusak. Geserlah motor jika sabuk mulur.	○				
Saringan isap kotor atau tersumbat	Bersihkan dengan sikat atau cara lain	○			Gantilah jika terlalu kotor atau rusak	
Penggantian minyak pelumas	Gantilah minyak dan bersihkan ruang engkol dan pengukur permukaan minyak. (Jika kompresor dipakai untuk pertama kali, atau jika beberapa bagian diganti, keluarkan minyak dari ruang engkol setelah 100 jam atau 2 minggu, bersihkan, dan isilah dengan minyak pelumas yang baru).	○				
Kebocoran pada katup udara	Biarkan katup sebagaimana adanya selama 30 menit pada tekanan maksimum, dan amatilah apakah tekanan akan mengalami penurunan tidak lebih dari 10% dari tekanan maksimum (atau 15% untuk kompresor dengan pembebas beban otomatis).			○	Periksalah katup udara jika tekanan turun lebih dari 10%.	
Pembongkaran dan pemeriksaan menyeluruh	Membersihkan lapisan arang dari pipa keluar dan dudukan pipa.	Bersihkan arang dan kotoran lainnya dari bagian dalam pipa dengan sikat.			○	Gantilah bila perlu. Periksa juga katup udara jika jumlah arang sangat banyak.
	Membersihkan arang dari katup udara	Bersihkan arang dan kotoran lainnya dari katup udara dengan sikat tanpa menimbulkan kerusakan.			○	Gantilah perangat katup jika arang terlalu banyak atau katup pecah.
	Goresan dan keausan pada cincin, dan silinder.	Gantilah jika ada beberapa goresan atau bila permukaan luar cincin sudah tidak mempunyai kemiringan lagi.			○	Gantilah ketiga cincin sekali gus.
	Membersihkan tangki udara	Bukalah tutup dan bersihkan.			○	

3) Penanganan Kompresor Tidak Aktif

Jika kompresor tidak dipakai untuk jangka waktu lama (tidak aktif), kompresor akan berkarat, berdebu, mutu minyaknya menurun, terjadi pengembunan uap air, pembekuan, korosi karena kandungan gas yang korosif, dsb. Jika nanti akan

digunakan lagi, kompresor dapat mengalami gangguan seandainya tidak dipelihara dengan baik pada waktu tidak dipakai. Apabila kompresor tidak dipergunakan selama lebih dari sebulan, perlu dilakukan hal-hal berikut.

- a) Jika keadaan lingkungan banyak berdebu, kompresor harus ditutup dengan lembar plastik pada tempat pernafasan kotak engkol, perapat poros, tutup katup, pompa minyak, instrumentasi, dsb.
- b) Jika mungkin, instrumen-instrumen dibuka dan disimpan.
- c) Katup-katup harus tertutup sepenuhnya untuk mencegah pipa-pipa kemasukan debu, atau air hujan.
- d) Minyak pencegah karat atau gemuk harus dilapiskan pada bagian dalam kompresor. Kompresor harus diputar dengan tangan sekali sebulan untuk mencegah pengkaratan dan untuk meratakan minyak pelumas. Jika kompresor masih terhubung dengan sumber tenaga listrik, maka dapat dijalankan selama 10 menit tiap hari tanpa beban.
- e) Jika kompresor masih terhubung dengan sumber listrik dan tidak akan dipergunakan dalam jangka waktu sangat lama, sebaiknya semua tombol dikunci supaya aman.

4) Pemeriksaan Besar (Overhaul)

Over haul kompresor Torak

Pada waktu overhaul (pembongkaran dan perakitan kembali) perlu diperhatikan hal-hat berikut.

- a) Sebelum pembongkaran atau perbaikan dilakukan, listrik harus dimatikan dari tombolnya, dan udara yang masih tersisa di dalam tangki udara dibuang habis.
- b) Bagian-bagian yang dibongkar harus diletakkan di kotak atau di atas kertas secara berurutan untuk memudahkan pada waktu pemasangan kembali. Dengan cara ini tidak akan ada suku

cadang yang terlewat atau tertukar urutan pemasangannya.

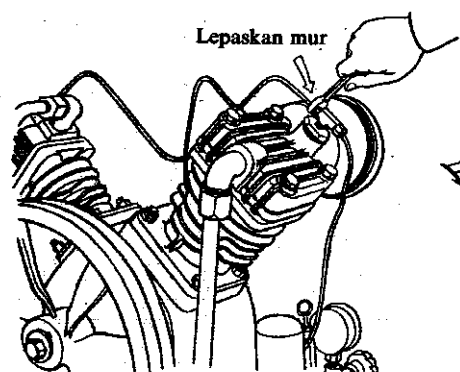
- c) Paking atau cincin yang rusak harus diganti baru. Paking yang telah dipakai tidak boleh dipasang lagi.
- d) Jika pencucian dilakukan dengan minyak yang mudah menguap, bagian-bagian harus dikeringkan benar-benar sebelum dipasang. Untuk membersihkan endapan karbon yang berasal dari minyak pelumas sebaiknya dipakai zat pembersih karbon.
- e) Torak, katup, silinder, dan bagian-bagian lain yang saling meluncur harus diperlakukan secara hati-hati tanpa melukainya.
- f) Pada waktu memasang kembali, lumurkan terlebih dahulu minyak pelumas yang sesuai pada permukaan-permukaan yang meluncur.

Kegiatan dua ini menguraikan secara ringkas prosedur overhaul yang meliputi pembongkaran, pemeriksaan dan pemasangan kembali kompresor udara jenis kompresor torak.

a) Prosedur Pembongkaran :

(1) Pembongkaran Peralatan Pembantu

- (a) Lepas tutup sabuk.
- (b) Lepas sabuk-V.
- (c) Untuk kompresor yang diperlengkapi dengan pembeban beban otomatis, lepas pipa pembebas beban antara kompresor dan katup pilot pembebas beban.



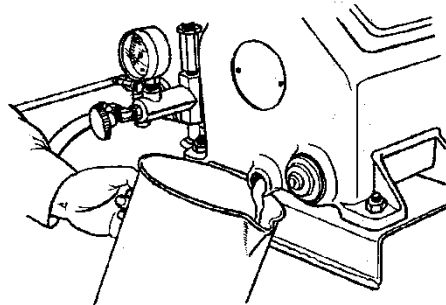
Gambar 1.37 Melepas pipa pembebas beban

(d) Peralatan pembantu yang lain (bila perlu).

(2) Pembongkaran Badan Kompresor

Badan kompresor dapat dibongkar lebih mudah jika terpasang di atas tangki udara. Prosedur pembongkarannya adalah sebagai berikut :

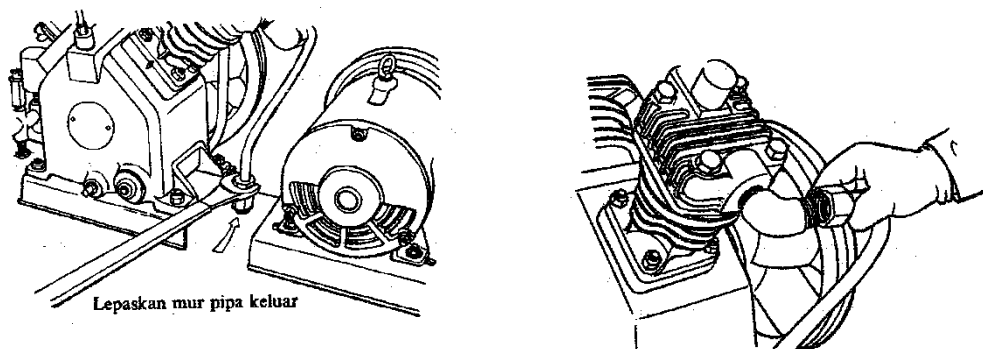
(a) Lepaskan pipa/ baut pembuangan minyak pelumas dan keluarkan/ kuras minyak pelumasnya.



Gambar 1.38 Menguras minyak pelumas

(b) Lepaskan peredam bunyi, pipa pembebas beban, dan pipa pernafasan ruang engkol.

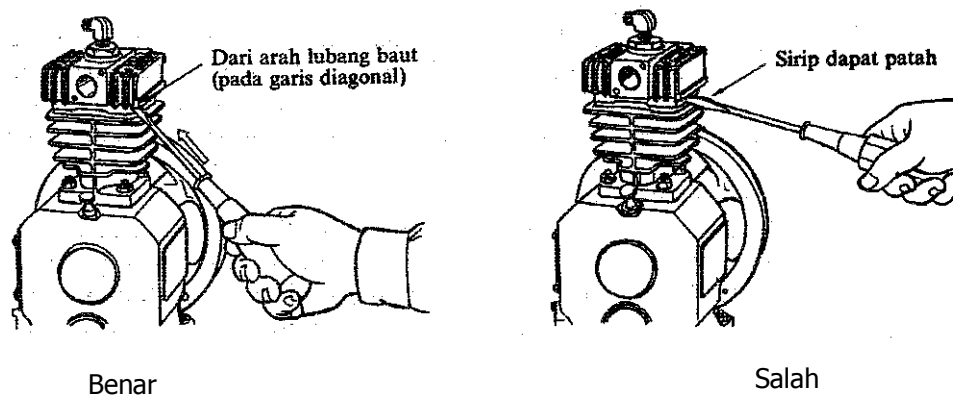
(c) Lepaskan pipa keluar. Jika mur pipa keluar sukar dibuka karena macet, biasanya mudah dilepas setelah diketok dengan palu.



Gambar 1.39 Melepas mur pipa keluar

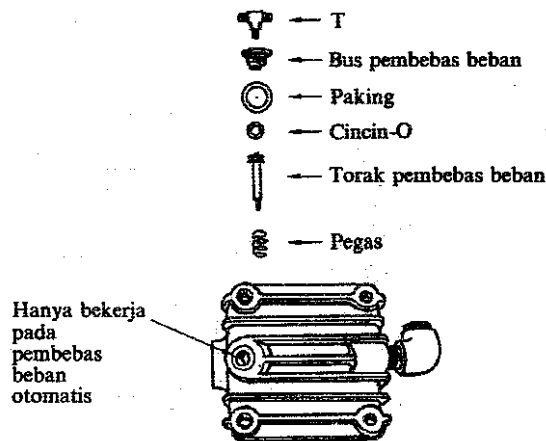
Gambar 1.40 Melepas pipa keluar

- (d) Melepaskan kepala silinder. Hal berikut ini dianjurkan pada waktu membuka kepala silinder
- Dalam hal kompresor menggunakan pembebas beban otomatis, bus pembebas beban harus dikendorkan lebih dahulu untuk memudahkan pembongkaran.
 - Jika kepala silinder tidak dapat dibuka (karena macet) sekalipun baut-baut telah dilepas, ketoklah sekeliling kepala silinder dengan palu, tusukkan obeng pada celah yang terbuka ke arah lubang baut (arah diagonal). Maka kepala silinder akan mudah dibuka. Jika obeng ditusukkan dari arah yang salah, permukaan dudukan akan rusak dan udara akan bocor.



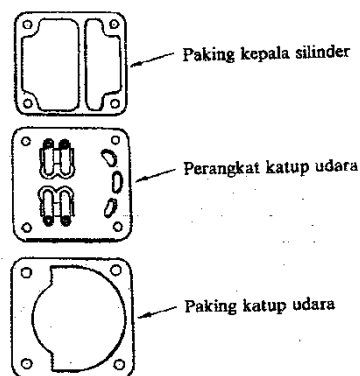
Gambar 1.41 Melepas kepala silinder

(e) Membongkar kepala silinder



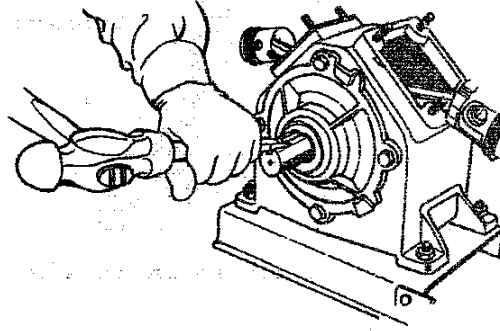
Gambar 1.42 Membongkar kepala silinder

(f) Membongkar katup udara. Karena baut dan sekrup-sekrup kecil dari plat katup dan penahan katup dari katup kepek semuanya dikunci, maka jika sudah dibuka hampir tak dapat dipakai lagi. Katup kepek hanya boleh dibersihkan dengan tiupan udara. Seperti tertera dalam ikhtisar pemeriksaan rutin (Tabel 6.2), katup harus diperiksa secara periodik kalau-kalau ada kelainan. Jika ada bagian yang rusak harus diganti. Pada waktu memasang kembali, harus digunakan paking kepala silinder dan paking katup yang baru.



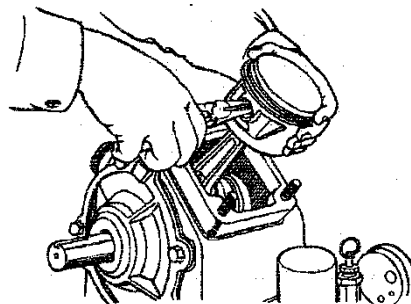
Gambar 1.43 Melepas pipa pembebas beban

- (g) Buka puli kompresor dan keluarkan pasak dengan menariknya. Pasak dapat terluka pada waktu dikeluarkan. Bagian yang tergores atau terluka harus dihaluskan kembali untuk memudahkan pemasangan.



Gambar 1.44 Melepas pasak

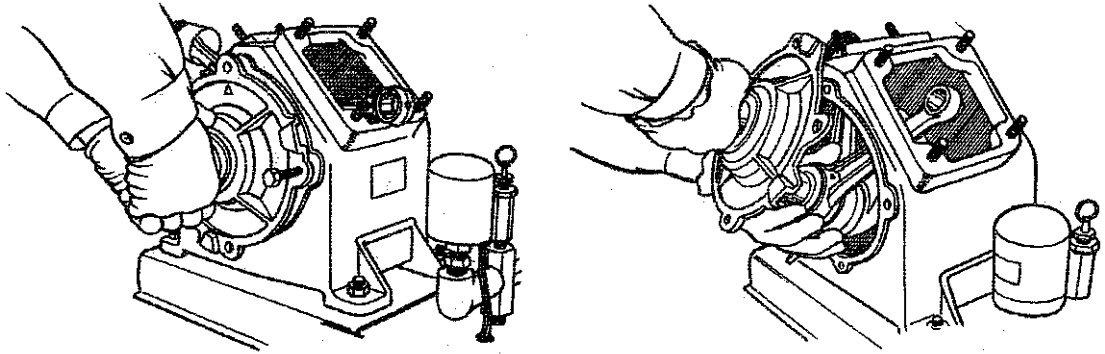
- (h) Buka silinder
(i) Buka torak. Buka cincin pengunci pen torak dengan tang snap-ring, dan keluarkan pen torak.



Gambar 1.45 Melepas torak/ piston

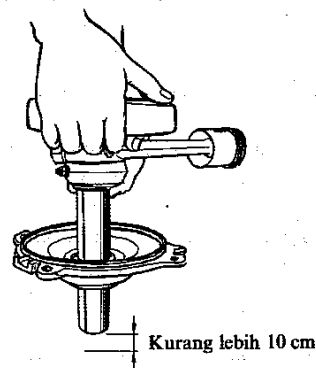
- (j) Keluarkan poros engkol, batang penggerak, bantalan bola dan rumah bantalan secara bersama-sama. Dalam hal ini perlu diperhatikan petunjuk berikut :
- Untuk mencegah lepasnya rumah bantalan dari kotak engkol, buka baut rumah bantalan, dan sebagai gantinya pasang dua buah baut dari kepala silinder pada posisi diagonal.

- Untuk mengeluarkan poros engkol, batang penggerak, bantalan bola, dan rumah bantalan dari kotak engkol secara bersama-sama, tarik bagian pengimbang pada poros engkol lebih dahulu, kemudian tarik batang penggerak keluar.



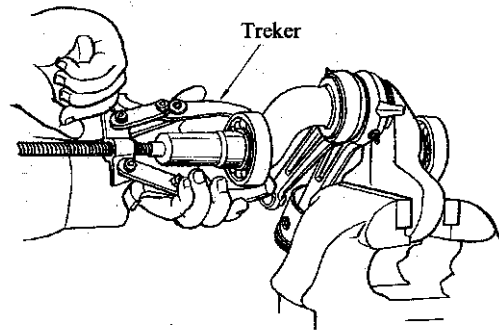
Gambar 1.46 Melepas unit poros engkol dan batang penggerak

- (k) Tarik keluar rumah bantalan. Rumah bantalan dapat dikeluarkan dengan mudah jika bantalan dengan rumahnya di sebelah bawah dijatuhkan dari ketinggian kurang lebih 10 cm ke lantai. Dalam hal ini perlu dijaga agar perapat minyak tidak rusak (terutama bibirnya) pada waktu menarik keluar rumah bantalan.



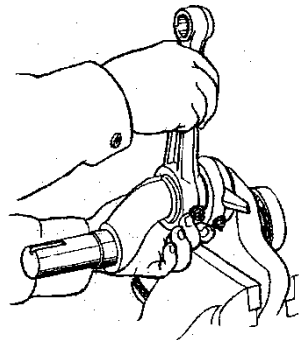
Gambar 1.47 Melepas rumah bantalan

- (l) Tarik keluar bantalan bola dari poros engkol dengan penarik (tracker). Untuk mengeluarkan bantalan dari sisi sabuk-V, sekrupkan baut-baut dan kemudian tarik bantalan keluar dengan puli untuk mencegah rusaknya ulir poros engkol



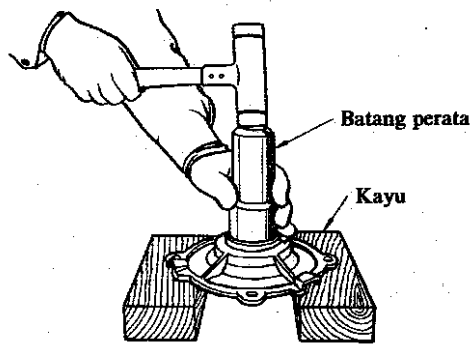
Gambar 1.48 Melepas bantalan

- (m) Buka cincin pegas dan cincin pen engkol lalu tarik keluar poros engkol. Dalam hal ini harus dijaga agar metal pen torak tidak sampai rusak pada waktu mengeluarkan batang penggerak.



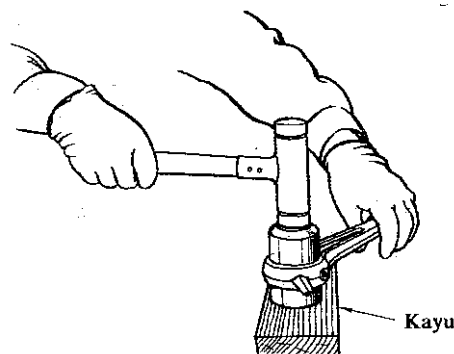
Gambar 1.49 Melepas batang torak

- (n) Tarik keluar perapat minyak dari rumah bantalan. Langkah ini tidak perlu jika perapat minyak masih baik. Untuk mengeluarkan perapat minyak yang perlu diganti, perapat harus dipukul dengan perantaraan batang perata (dengan diameter sedikit lebih kecil) agar pemukulan dapat merata.



Gambar 1.50 Melepas batang torak

- (o) Keluarkan metal-metal bantalan (pada pen engkol dan pen torak) dari batang penggerak. Pekerjaan ini tidak diperlukan jika metal masih baik, tidak aus atau tergores. Metal harus dikeluarkan dengan perantaraan batang perata yang diameternya sedikit lebih kecil dari diameter luar metal. Adapun metal pen engkol baru dapat dikeluarkan setelah sekrup penutup dibuka. Untuk mengeluarkan pen ini batang penggerak harus diletakkan di atas landasan dari sepotong kayu

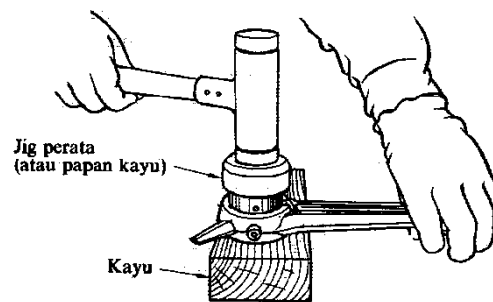


Gambar 1.51 Melepas metal dari batang torak

b) Pemeriksaan Komponen

Setelah pembongkaran, bagian-bagian kompresor seperti katup udara, silinder, cincin torak dan poros engkol harus diperiksa secara cermat dengan pengamatan visual dan pengukuran.

- c) Perakitan Kompresor Torak
- (1) Perakitan Badan Kompresor
- (a) Pasang metal-metal pada batang penggerak. Untuk ini gunakan batang perata atau papan kayu di atas metal, kemudian pukullah tegak lurus. Pada waktu memasang metal, lubang minyak pada metal harus berimpit dengan lubang minyak pada batang penggerak. Jika kompresor memakai pen engkol, lubang sekrup penetap juga harus saling berimpit.

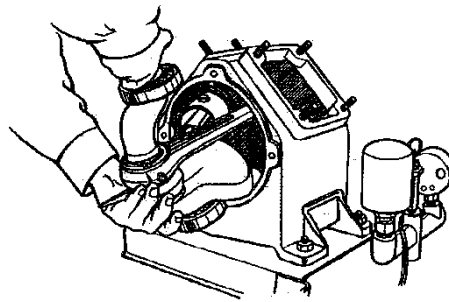


Gambar 1.52 Memasang metal

- (b) Setelah metal pen bantalan dipasang, kencangkan sekrup penetap.
- (c) Pasang perapat minyak pada rumah bantalan. Sebelum perapat dipasang, permukaannya harus diulasi dengan cat perekat. Cara memasang perapat ialah dengan memukulnya dengan palu. Agar perapat tidak rusak pada waktu dipukul harus diberi perantara batang perata atau papan kayu.
- (d) Pasang poros engkol
- Pasang batang penggerak pada poros engkol. Batang harus dipasang tanpa menggunakan paksaan dengan jalan melumasi

lebih dahulu. Jika kompresor mempunyai dua atau tiga buah sHinder, urutan pemasangan batang penggerak dan tuas pemercik minyak, serta arah pemercik minyak dan letak lubang minyak harus dijaga jangan sampai salah.

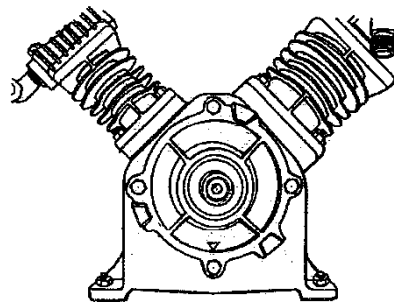
- Pasang cincin pen engkol dan cincin pegas untuk menetapkan batang peng gerak pada poros engkol.
- Pasang bantalan bola pada poros engkol. Bantalan bola dipasang setelah dipanaskan di dalam minyak pada temperatur 150° sampai 200°C. Jika pemanasan tidak diperkenankan, bantalan bola harus dipasang dengan memukulnya dengan perantaraan batang perata. Gunakan pipa baja dan kenakan pada cincin dalam bantalan, maka bantalan dapat dipukul secara merata dengan palu. Jika bantalan dipanaskan dengan minyak rnaka rninyak pemanas harus dibersihkan dari bantalan lalu diganti dengan pelumas baru.
- Pasang perangkat poros engkol, batang penggerak, dan bantalan bola pada kotak engkol. Juga lumuri keliling luar bantalan bola dengan minyak pelumas sebelum dipasang. Ujung kecil dari batang penggerak harus dimasukkan lebih dahulu ke dalam kotak engkol.



Gambar 1.53 Memasang poros engkol dan batang torak

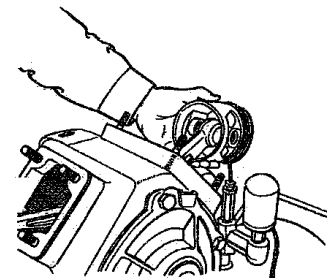
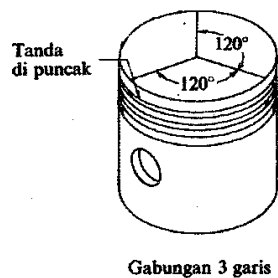
- Pasang paking rumah bantalan. Gunakan baut panjang untuk kepala silinder sebagai pemandu. Mula-mula rumah bantalan diketok dengan palu, kemudian baut bantalan dikencangkan

sedikit demi sedikit secara bergantian untuk memasang rumah bantalan pada kotak engkol. Juga gaya pengencangan engkol harus diatur setepat mungkin dengan mengatur tebal paking rumah bantalan sampai dapat mulai berputar sendiri oleh berat pengimbang.



Gambar 1.54 Memasang rumah bantalan

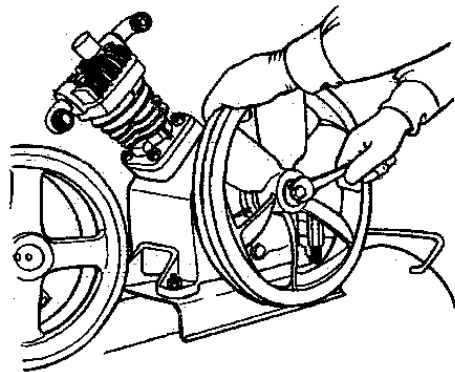
- (e) Pasang torak pada batang penggerak. Ulaskan minyak pelumas pada permukaan yang meluncur. Tandai letak beahan cincin torak pertama pada puncak torak. Belahan cincin-cincin torak berikutnya harus saling membentuk sudut 120° antara yang satu dengan yang lain setelah terpasang.



Gambar 1.55 Memasang ring torak

Gambar 1.56 Memasang torak

- (f) Pasang silinder. Puncak silinder harus diatur dengan mengatur tebal paking silinder sedemikian rupa hingga puncak silinder terletak 0 sampai 0,5 mm lebih tinggi dari pada puncak torak pada titik mati atasnya. Permukaan puncak torak tidak boleh lebih dari pada puncak silinder. Bila mengganti silinder katup kepak, sisi pembatas katup isap harus diperiksa apakah sudah dihaluskan sehingga tidak bergerigi. Jika belum harus dikikir atau diampelas. Silinder ini juga harus dipasang dengan cermat sebab arahnya tertentu.
- (g) Masukkan pasak puli ke tempatnya di poros dan pasang puli kompresor. Setelah puli terpasang pada poros engkol, kencangkan baut-baut puli.

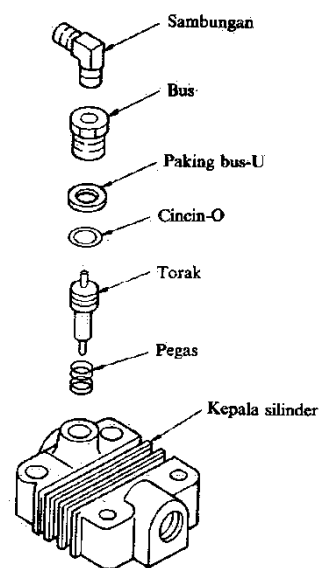


Gambar 1.57 Memasang puli kompresor

- (h) Pasang perangkat katup. Jangan buka bungkus katup kepak yang baru, sampai saat pemasangan tiba. Jika bungkus rusak dan katup terbuka di udara untuk beberapa lama, debu dapat menempel dan menyebabkan kebocoran setelah dipasang.
- (i) Pasang katup udara pada kepala silinder
- Luruskan dan pasang pen penetap posisi katup pada lubang

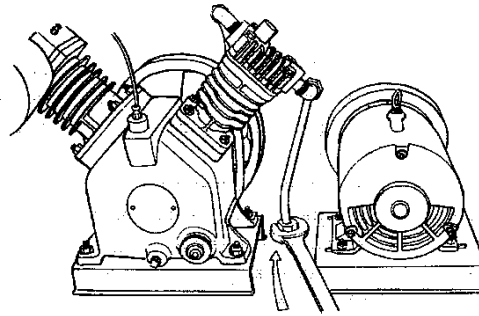
pemandu di dasar kepala silinder.

- Ganti paking katup udara dan paking kepala silinder dengan yang baru.
- Atur dengan benar letak kepala sekrup kecil penutup dari plat katup isap atau baut penutup katup isap dan penjaga katup isap di alur ruang sisa (clearance) di puncak silinder. Kemudian secara bersama-sama katup kepak, kepala silinder, dan paking dikencangkan dengan baut kepala silinder.
- Dalam hal kompresor dengan pembebas beban otomatis, pasang pembebas beban pada kepala silinder. Pada waktu cincin-O dipasang pada torak pembebas beban, cincin ini akan terpuntir. Jika demikian, harus dibetulkan setelah terpasang. Juga ulasi cincin-O dengan zat pelumas yang disebut molybdenum bisulfida. Pada bus-V, gunakan paking cair jenis tak mengering.



Gambar 1.58 Memasang pembebas beban

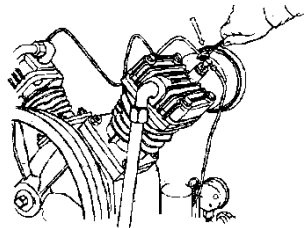
- (j) Pasang pipa keluar. Kendorkan sedikit baut kepala silinder dan untuk sementara kencangkan mur pipa keluar. Kemudian kencangkan baut kepala silinder dan selanjutnya kencangkan juga mur pipa keluar



Gambar 1.59 Memasang pipa keluar

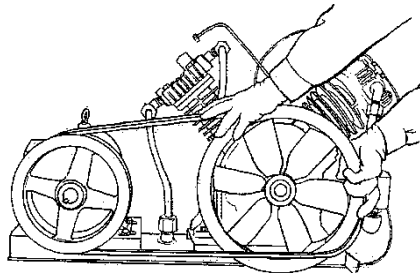
(2) Pemasangan Peralatan Pembantu

- (a) Untuk kompresor kecil dengan pembebas beban, pasang pipa pembebas beban.



Gambar 1.60 Memasang pipa pembebas beban

- (b) Pasang sabuk- V. Sebelum sabuk- V dipasang, Luruskan puli kompresor terhadap puli motor

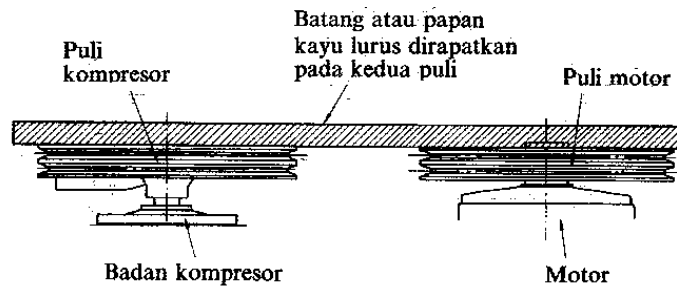


Gambar 1.61 Memasang sabuk V

- Atur letak motor sesuai dengan panjang sabuk-V. Motor ditetapkan pada jarak sedikit lebih besar dari jangkauan sabuk, baru kemudian sabuk dipasang. Setelah terpasang, tekan sabuk

pada titik tengah antara puli motor dan kompresor ke arah dalam dengan jari. Jika puli melentur 10 mm, tegangan sabuk tepat.

- Atur letak motor hingga kedua muka luar puli motor dan kompresor menjadi lurus (sebidang). Poros motor dan kompresor yang tidak sejajar akan menyebabkan getaran pada sabuk.



Gambar 1.62 Meluruskan kedudukan puli

- Periksa tegangan sabuk dan tetapkan motor.
- Pasang tutup atau pelindung sabuk. Setelah pemasangan selesai, lakukan uji coba seperti diuraikan terdahulu.

5) Gangguan/ Kerusakan dan Perbaikan

Kompresor tidak akan banyak mengalami gangguan jika pemeriksaan harian dan pemeriksaan rutin dilaksanakan dengan baik. Gangguan dapat terjadi karena perubahan kondisi kerja, pemeliharaan yang salah dan memang karena umur pemakaian. Secara umum untuk menghadapi gangguan dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- a) Jika gangguan terjadi, gejalanya harus ditentukan dengan tepat dengan menggunakan keterangan yang lengkap dari pemakai. Dari keterangan tersebut, yang di antaranya menyebutkan saat dan kondisi gangguan, dapat ditentukan sebab-sebabnya.
- b) Jika kompresor masih mungkin dijalankan, maka dapat dioperasikan untuk diamati gejala-gejala gangguannya dalam keadaan bekerja.

c) Seluruh sistem hendaknya diperiksa secara cermat sebelum membuat kesimpulan.

d) Penanganan gangguan hendaknya didasarkan atas analisa dan dilaksanakan secara sistematis.

Gangguan yang sering dan umum terjadi dan kemungkinan-kemungkinan penyebabnya, antara lain :

a) Pembebanan lebih dan pemanasan lebih pada motor

Kemungkinan penyebabnya antara lain adalah daya motor kurang, instalasi listrik motor salah (putaran terbalik), terjadi hubung singkat, salah satu kabel pada jalur 3-phase putus, slip pada sabuk-V, efek roda gaya tidak cukup, viskositas minyak pelumas terlalu tinggi/ rendah, pengisian lebih (*supercharging*) karena pulsasi tekanan dan penyumbatan saringan dan pipa.

b) Udara keluar terlalu panas

Kemungkinan penyebabnya antara lain adalah kondisi lingkungan dalam ruang kompresor jelek, karbonisasi minyak pelumas, katup keluar rusak(aliran balik) dan sistem pendingin yang tidak bekerja dengan baik.

c) Katup pengaman sering terbuka

Hal tersebut biasa terjadi karena penyetelan yang tidak tepat atau karena memang pegas katupnya sudah terlalu lemah.

d) Bunyi dan Getaran

Bunyi dan getaran pasti terjadi hanya saja jika hal itu tidak normal berarti menandakan adanya kerusakan/ keausan/ ketidaknormalan. Bunyi dan getaran biasanya disebabkan oleh : kelonggaran yang berlebihan karena keausan, pemasangan dan pelurusan yang tidak tepat, getaran sabuk dan fluktuasi momen

puntir, getaran pipa karena resonansi dan karena mesin penggerak.

e).Korosi

Bagian-bagian yang sering korosi adalah tangki udara, ruang pengeluaran udara dari kompresor, pendingin antara dan pembebas beban. Korosi disebabkan oleh : terjadinya kondensasi uap air akibat kompresi, adanya kandungan bahan korosif dalam udara isap, perembesan air pendingin terutama air laut, kualitas pelumas yang jelek, terjadinya reaksi minyak pelumas dan bahan tembaga atau karena perawatan yang tidak baik.

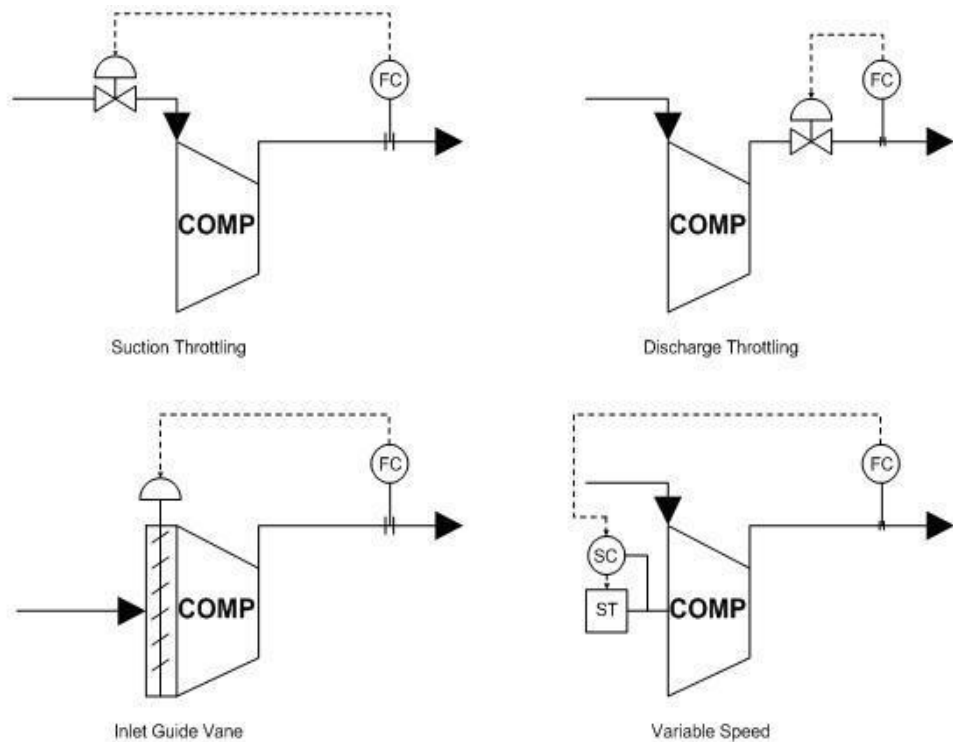
F. Pengoperasian Kompresor

Ada beberapa jenis sistem kontrol compressor centrifugal, yaitu

1) *Performance Control*, 2) *Antisurge Control*, dan 3) *Load Sharing Control*.

1. *Performance Control*.

Dalam pembahasan mengenai performance control juga terdapat dua issue penting, yaitu penentuan *controlled variable* dan *manipulated variable*. Untuk issue pertama, yang menjadi controlled variable dalam performance control bisa *flow/kapasitas*, *discharge pressure* atau *inlet/suction pressure*, bergantung pada pertimbangan operasi. Sedangkan issue kedua, yaitu manipulated variable juga terdiri dari beberapa opsi, yaitu suction flow/pressure melalui *suction throttling*, suction flow/pressure melalui *inlet guide vane*, discharge flow/pressure melalui *discharge throttling* dan *variable speed*. Gambar berikut menunjukkan beberapa konfigurasi performance control dengan flow/kapasitas sebagai control variable.

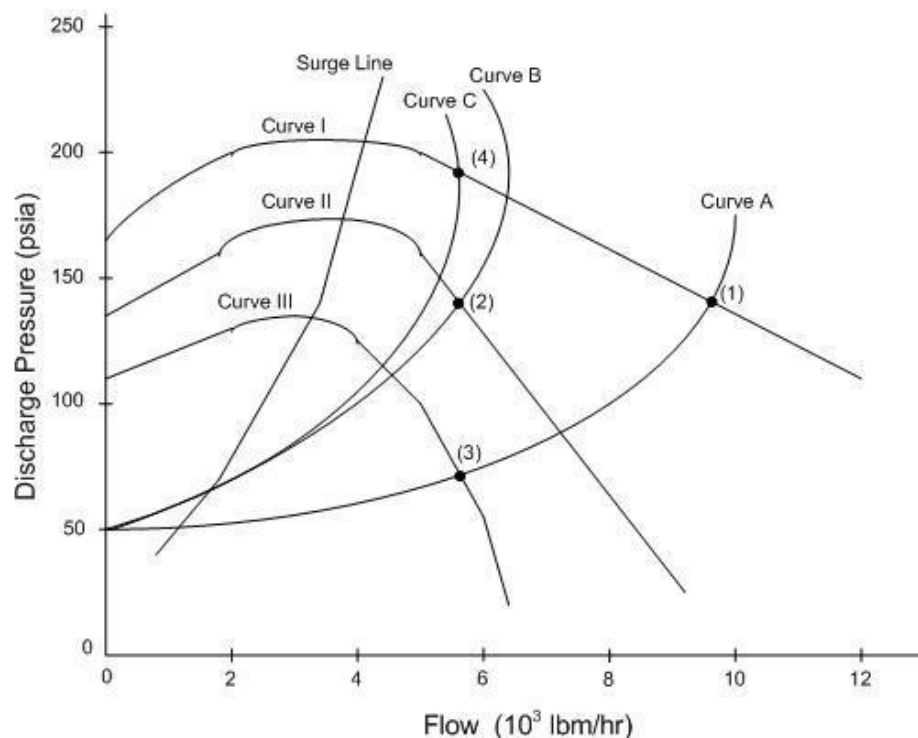


Gambar 1.63 Skema macam-macam Performance control

a) Suction throttling.

Kapasitas compressor dapat dikontrol dengan memanipulasi inlet pressure P_1 , yaitu dengan jalan menempatkan control valve di suction (suction throttling). Untuk menjelaskan operasi compressor pada konfigurasi ini, perhatikan constant speed curve pada gambar dibawah ini. Andaikan pada awalnya compressor beroperasi pada titik (1), yang merupakan perpotongan antara performance curve I dan system curve A, yaitu pada flow 9,600 lbm/hr dan discharge pressure 140 psia. Selanjutnya diinginkan flow berkurang menjadi 5,600 lbm/hr. Dengan suction throttling (mengubah inlet pressure P_1), berarti mengubah performance curve, dengan system curve-nya tetap. Jadi titik operasi baru tersebut terletak pada system curve lama A dan performance curve baru (katakan curve III), dengan flow sebesar 5,600 lbm/hr dan discharge pressure sebesar 70 psia, titik (3). Jika performance curve I tidak berubah, flow sebesar 5,900 lbm/hr terletak pada titik (4),

dengan discharge pressure sebesar 190 psia. Untuk mengubah/menggeser titik dengan flow sebesar 5,900 lbm/hr di performance curve I (titik 4) ke performance curve III (titik 3), kita harus mengurangi discharge pressure sebesar $190 \text{ psia} - 70 \text{ psia} = 120 \text{ psi}$. Jika compressor pressure ratio sebesar 10, maka untuk mengurangi discharge pressure ini diperlukan pengurangan inlet pressure sebesar $120/10 = 12 \text{ psi}$, yang dilakukan dengan menutup suction control valve.



Gambar 1.64 Kurva Suction throttling dan Discharge throttling

b) Discharge throttling

Kapasitas compressor dapat juga dikontrol dengan menempatkan control valve di discharge. Dengan discharge throttling berarti yang diubah adalah system curve, sedangkan performance curvenya tetap. Untuk menjelaskan prinsip kerjanya perhatikan kembali constant speed curve pada gambar diatas. Mula-mula compressor beroperasi pada titik (1) yang merupakan perpotongan antara performance curve I dan system curve A, yaitu pada flow 9,600 lbm/hr dan

discharge pressure 140 psia. Selanjutnya dikehendaki flow berkurang menjadi 5,900 lbm/hr. Pada performance curve I, flow sebesar 5,900 lbm/hr, terletak pada titik (4) yang merupakan perpotongan dengan system curve C, dengan discharge pressure sebesar 190 psia. Jika system curve tidak berubah, maka flow sebesar 5,900 lbm/hr ini di system curve A terletak pada titik (3), pada pressure 70 psia. Untuk mengubah/menggeser titik (3) pada curve A ke titik (4) pada curve C perlu pengurangan pressure sebesar $190-70=120$ psi, yang diperoleh dengan menutup discharge control valve.

Selanjutnya, mari kita lihat bagaimana jika titik operasi compressor bergeser dari titik (1) ke titik (2). Titik (1) merupakan perpotongan antara performance curve I dan system curve A, yaitu pada flow 9,600 lbm/hr dan discharge pressure 140 psia. Sedangkan titik (2) merupakan perpotongan antara performance curve II dan system curve B, yaitu pada flow 5,900 lbm/hr dan discharge pressure 140 psia. Karena titik operasi baru terletak pada performance curve dan system curve baru, yang berbeda dengan sebelumnya, maka pergeseran ini hanya bisa dilakukan dengan jalan suction throttling (merubah performance curve) dan discharge throttling (mengubah system curve) sekaligus. Kita mulai dengan melihat perubahan system curve A ke B. Flow sebesar 5,900 lbm/hr pada curve A terletak di titik (3) pada discharge pressure 70 psia, sedangkan flow yang sama pada curve B terletak pada titik (2) pada pressure 140 psia, jadi harus ada pengurangan discharge pressure sebesar $140-70=70$ psi, yaitu dengan menutup discharge control valve. Selanjutnya mari kita lihat perubahan performance curve I ke II. Flow sebesar 5,900 lbm/hr pada curve I terletak di titik (4) yaitu pada pressure 190 psia, sedangkan pada curve II terletak di titik (2) pada pressure 140 psia, jadi harus

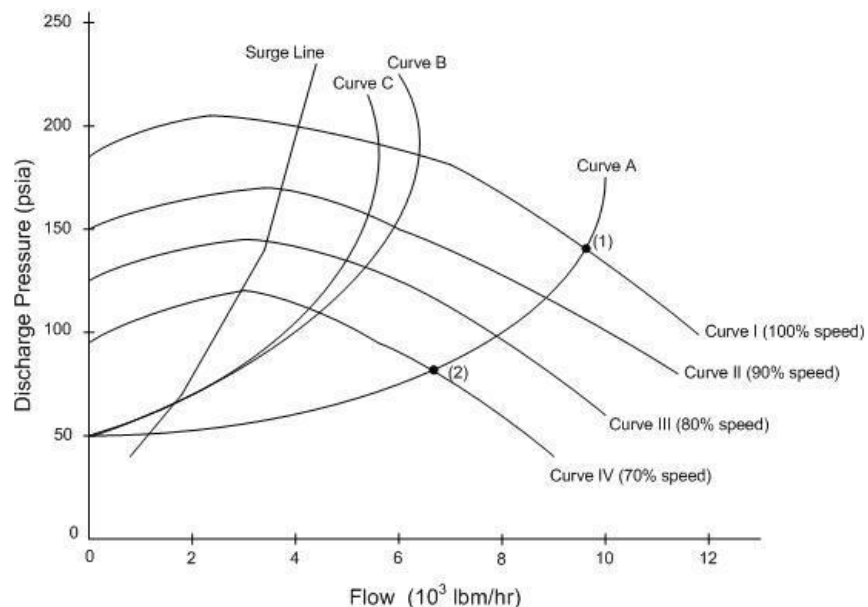
ada pengurangan discharge pressure $190-140=50$ psi. Jika compressor pressure ratio sebesar 10, maka untuk pengurangan discharge pressure ini diperlukan pengurangan inlet pressure sebesar $50/10=5$ psia, ini dilakukan dengan menutup suction control valve.

c) Inlet Guide Vane

Dalam metode ini, inlet pressure/flow diubah-ubah dengan mengatur guide vane yang terletak pada inlet compressor. Jadi prinsip kerjanya sama dengan inlet throttling, yaitu mengubah performance curve. Keuntungan guide vane dibandingkan dengan inlet throttling adalah lebih efisien karena pressure loss yang terjadi sangat kecil. Akan tetapi, kekurangannya adalah lebih kompleks dan harganya jauh lebih mahal dibandingkan dengan control valve.

d) Variable Speed

Kapasitas control juga dapat dilakukan dengan mengubah-ubah speed compressor. Untuk lebih jelasnya perhatikan kurva variable speed berikut.



Gambar 1.64 Kurva Variabel speed

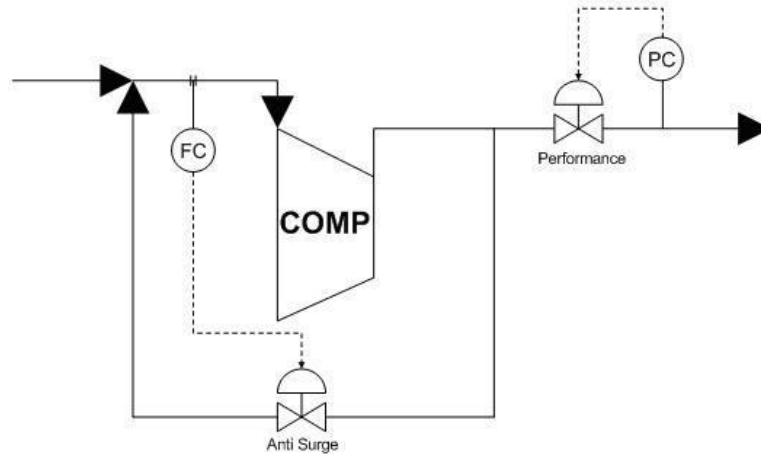
Andaikan kita mau mengubah titik operasi compressor dari (1) pada flow 9,600 lbm/hr dan discharge pressure 140 psia ke (2) pada flow 6,700 lbm/hr dan discharge pressure 80 psia, maka yang dilakukan adalah hanya dengan mengurangi speed compressor dari 100% menjadi 70%. Jika hal ini dilakukan dengan suction throttling, maka inlet pressure harus dikurangi $(140-80)/10=6$ psi, yang merupakan kehilangan pressure (losses) di inlet control valve. Ini sangat bertolak belakang dengan variable speed, dimana pengurangan speed ke 70% berarti daya yang diperlukan juga berkurang. Hal inilah yang merupakan keuntungan dari variable speed control dibandingkan dengan suction throttling, yaitu lebih efisien.

2. Antisurge Control

Antisurge control berfungsi untuk menjaga agar tidak terjadi surging pada compressor yang sedang beroperasi, yaitu dengan jalan menjaga titik operasinya agar selalu berada di sebelah kanan surge line. Terdapat banyak konfigurasi antisurge control, sebagian akan dibahas di sini.

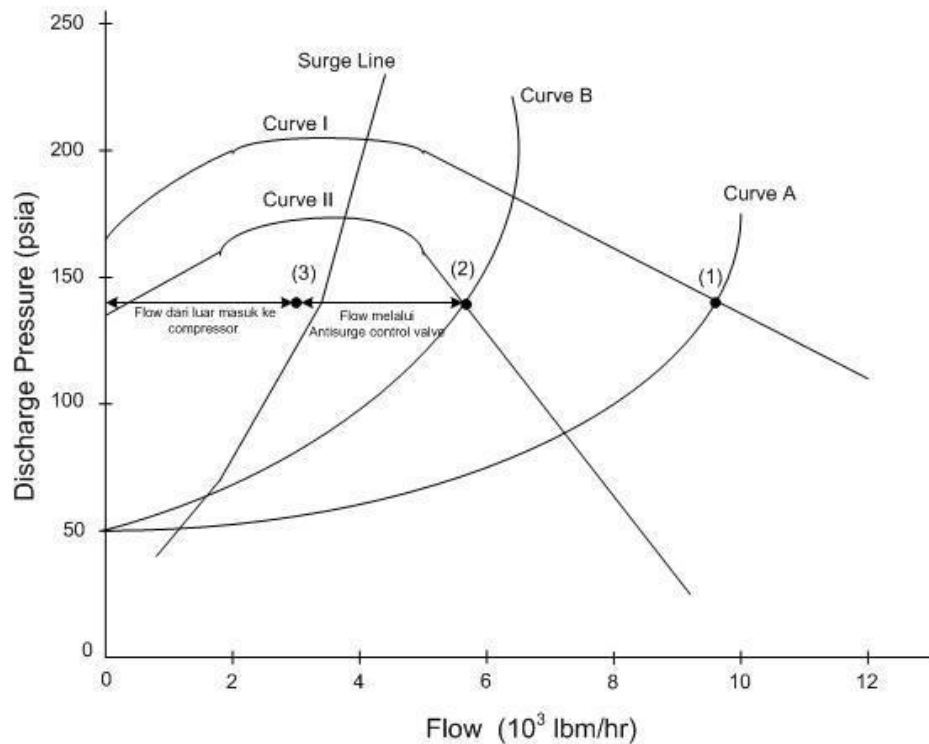
3. Fixed Setpoint Antisurge Control

Untuk menjaga agar titik operasi compressor selalu berada di sebelah kanan surge line, yang berarti juga menjaga agar discharge flow selalu lebih besar dari surge flowrate, dapat dilakukan dengan mengembalikan sebagian flow dari discharge ke suction/inlet compressor, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 1.65 Skema Fixed Setpoint Antisurge Control

Sesuai dengan namanya, maka pada konfigurasi ini, setpoint untuk antisurge controller (FC) dibuat fixed/tidak berubah. Biasanya nilai setpoint tersebut diambil cukup besar sehingga aman untuk semua kondisi operasi. Sebagai contoh perhatikan performance curve berikut ini.



Gambar 1.66 Kurva Fixed Setpoint Antisurge Control

Misalnya titik operasi compressor berada pada titik (1) yang merupakan perpotongan antara performance curve I dan system

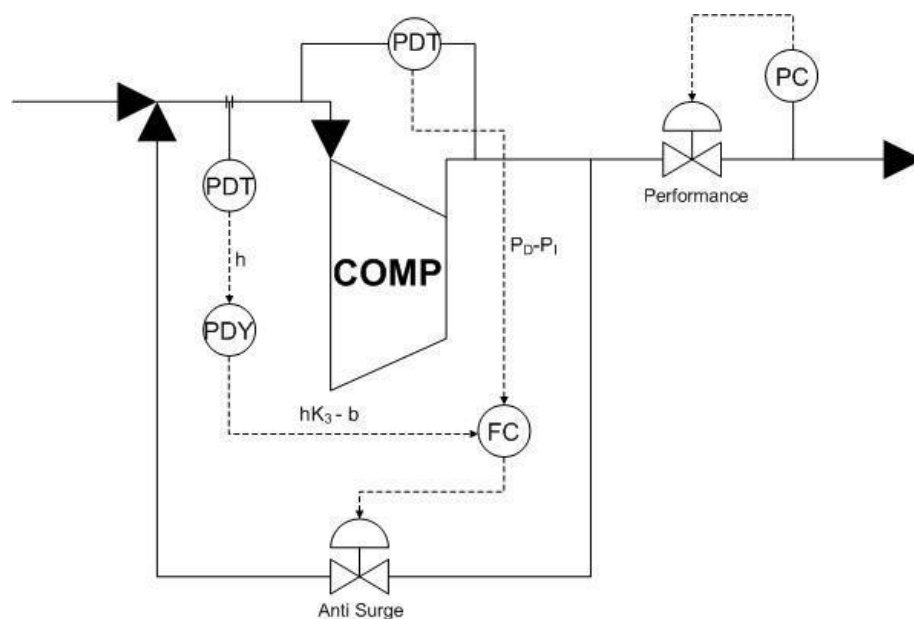
curve A, yaitu pada flow 9,600 lbm/hr dan discharge pressure 140 psia. Andaikan setpoint antisurge control (FC) adalah 5,700 lb/hr. Apabila karena sesuatu hal, flow yang berasal dari hulu compressor berkurang, yang berarti suction pressure turun, maka performance curve akan bergeser ke bawah, discharge pressure turun. Untuk mempertahankan discharge pressure, performance control (PC) akan menutup discharge control valve, system curve akan bergeser ke atas. Jika suction flow berkurang hingga 5,700 lbm/hr, maka titik operasi baru akan bergeser ke titik (2) yang merupakan perpotongan antara performance curve II dan system curve B, yaitu pada flow 5,700 lbm/hr dan discharge pressure 140 psia. Jika flow dari hulu terus turun, maka antisurge valve akan mulai membuka, sehingga sebagian discharge flow akan dikembalikan ke suction. Dengan cara ini flow yang masuk ke compressor akan dijaga pada 5,700 lbm/hr, sehingga tidak terjadi surging, walaupun mungkin flow yang dari hulu sudah berada di bawah surge line.

4. Variable Setpoint Antisurge Control

Konfigurasi fixed setpoint antisurge control di atas mempunyai banyak kelemahan, diantaranya tidak efisien karena untuk menjaga agar kondisi tetap aman pada semua kondisi operasi, maka setpoint untuk antisurge control harus diambil cukup besar sehingga akan banyak gas (flow) yang dikembalikan ke suction. Untuk meningkatkan efisiensi, bisa saja setpoint controller diambil tidak terlalu besar/tidak terlalu jauh dari surge line sehingga tidak banyak gas dikembalikan ke suction, akan tetapi ini bisa mendatangkan risiko, yaitu apabila terjadi perubahan kondisi operasi yang menyebabkan surge line bergeser ke kanan, maka bisa jadi setpoint tersebut sudah masuk ke daerah surging. Untuk mengatasinya, maka setpoint antisurge

controller dibuat tidak fixed, tetapi berubah-ubah sesuai kondisi operasi saat itu.

Surge curve dapat dihitung (diperkirakan) dengan persamaan $(P_D - P_I) - K_1 Q^2 (P_I/T_I)$, dengan Q adalah volume flowrate dan K_1 merupakan konstanta. Karena head loss (differential pressure) pada orifice $h = K_2 Q^2 (P_I/T_I)$ maka dapat diperoleh persamaan untuk surge curve $(P_D - P_I) = K_3 h$. Titik operasi aman berada pada kondisi $(P_D - P_I) < K_3 h$, jadi antisurge control dapat dilakukan dengan menjaga kondisi ini, seperti pada gambar berikut.



Gambar 1.67 Skema Variable Setpoint Antisurge Control

Nilai b adalah safety margin yang merupakan jarak antara surge point dan setpoint. Dengan konfigurasi ini, setpoint antisurge control tidak fix, melainkan bergantung pada kondisi operasi. Jika surge pointnya bergerak ke kiri, maka setpointnya juga ikut bergerak ke kiri dengan jarak tetap sebesar b, dengan cara ini

energy loss akibat kebanyakan flow yang dikembalikan ke suction dapat dihindari. Karena control dalam konfigurasi ini bersifat discontinuous, maka controller yang digunakan harus dilengkapi dengan *anti reset windup*.

5. *Trisen Antisurge Control*

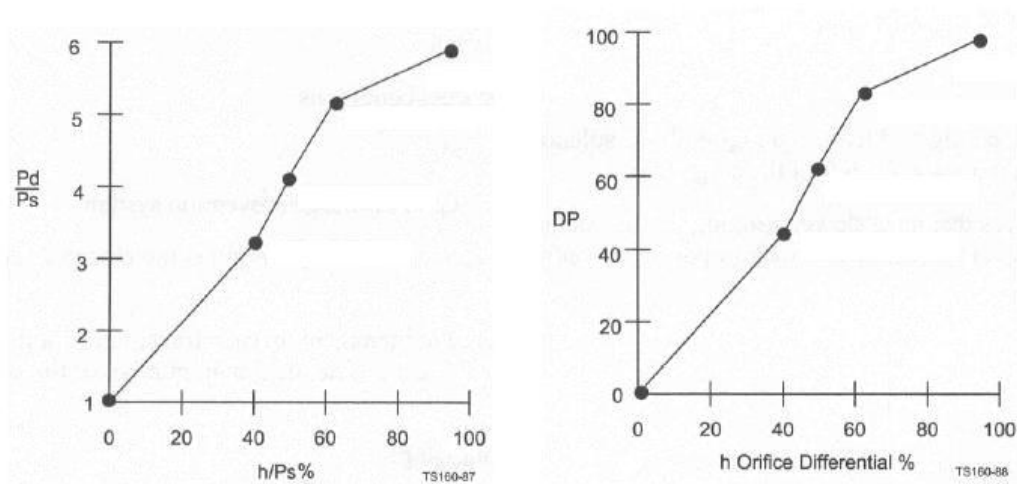
Pada kedua tipe antisurge control sebelumnya, dapat dilihat bahwa pencegahan surging dilakukan dengan mengembalikan sebagian discharge flow ke suction, pada hal mengembalikan flow ke suction sama saja dengan membuang-buang energi. Karena itu, issue yang paling penting dalam antisurge control adalah bagaimana merancang konfigurasi antisurge control sedemikian sehingga energi yang terbuang tersebut bisa diminimumkan sambil tetap menjaga agar tidak terjadi surging. Hal inilah yang juga mendasari perancangan Trisen Antisurge Control.

Secara garis besar, beberapa fitur yang dimiliki oleh Trisen Antisurge Control adalah:

- 1) Tersedia dua jenis performance curve sebagai basis algoritma, yaitu (P_D/D_I) vs (h/P_I) dan (P_D-P_I) vs h .
- 2) Berdasarkan *control line* dengan *safety margin* berubah secara otomatis jika terjadi surging.
- 3) Dilengkapi dengan *setpoint hover function* yang mengembalikan titik operasi mendekati control line.
- 4) Tersedia algoritma dengan *dynamic adaptive gain*.
- 5) Dilengkapi *proportion only function* yang akan membuka antisurge valve tanpa dipengaruhi oleh normal antisurge control.
- 6) Dilengkapi *valve linearization function*.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa surging line pada curve dibuat dengan asumsi kondisi suction maupun gas properties konstan, pada hal pada kondisi aktual tidak demikian, sehingga bisa saja terjadi pada saat operasi, surging line akan

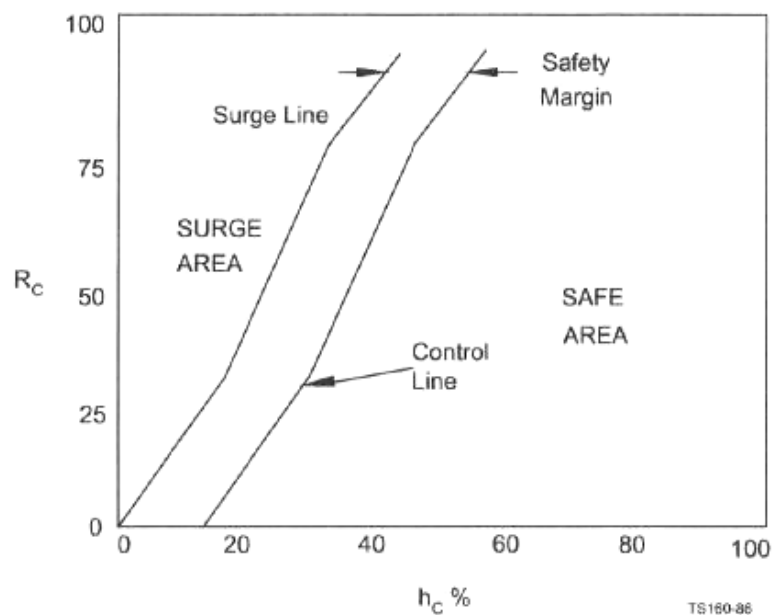
bergeser ke kanan atau ke kiri, yang menyebabkan surging terjadi diluar prediksi controller. Untuk mengatasi permasalahan ini, dalam Trisen control, performance curve tidak diplot dengan basis PD vs V tetapi menggunakan basis $R_c (P_D/P_I)$ vs $h_c (h/P_I)$ (h adalah orifice differential pressure), yang disebut sebagai *pressure ratio methode*. Pada curve baru ini, surge line tidak berubah, walaupun terjadi perubahan pada kondisi suction maupun gas properties. Oleh karena itu, curve ini disebut juga dengan *universal surge line*. Atau pada kondisi dimana P_I relatif konstant atau surge line linear maka bisa menggunakan basis yang lebih sederhana, yaitu $(P_D - P_I)$ vs h , yang disebut dengan *pressure rise methode*.



Gambar 1.68 Kurva trisen antisurge control

Seperti terlihat pada performance curve di atas, bahwa surge line tidak tegak lurus tetapi berbentuk parabolik, yang berarti bahwa surge flow berubah-ubah bergantung pada kondisi operasi saat itu. Selain itu, mengingat adanya delay baik yang berasal dari karakteristik kontrolnya sendiri maupun dari prosesnya, maka untuk menghindari surging, control harus sudah mulai beraksi sebelum terjadinya surging. Jadi harus ada safety margin antara surge point dan point dimana control mulai beraksi. Untuk

maksud ini, didefinisikan suatu parameter yang disebut dengan *control line*, yaitu sebuah garis yang identik dengan surge line dan terletak di sebelah kanan surge line, yang dibuat dengan cara menambah nilai safety margin ke surge line. Setpoint untuk antisurge control akan mengikuti control line ini. Control line ini tidak tetap tetapi bisa berubah. Jika karena sesuatu sebab (misalnya transmitter rusak, surge line yang dibuat salah, safety margin yang terlalu kecil, kondisi proses yang berubah secara cepat atau karena controller tuning yang tidak benar) sehingga terjadi surging (titik operasi menyeberangi surge line ke kiri), maka safety margin secara otomatis akan bertambah sehingga dengan sendirinya control line akan bergeser ke kanan. Ini dimaksud agar surge control dapat bereaksi lebih cepat, untuk mengembalikan titik operasi ke daerah aman.



Gambar 1.69 Kurva trisen antisurge control R_c-h_c

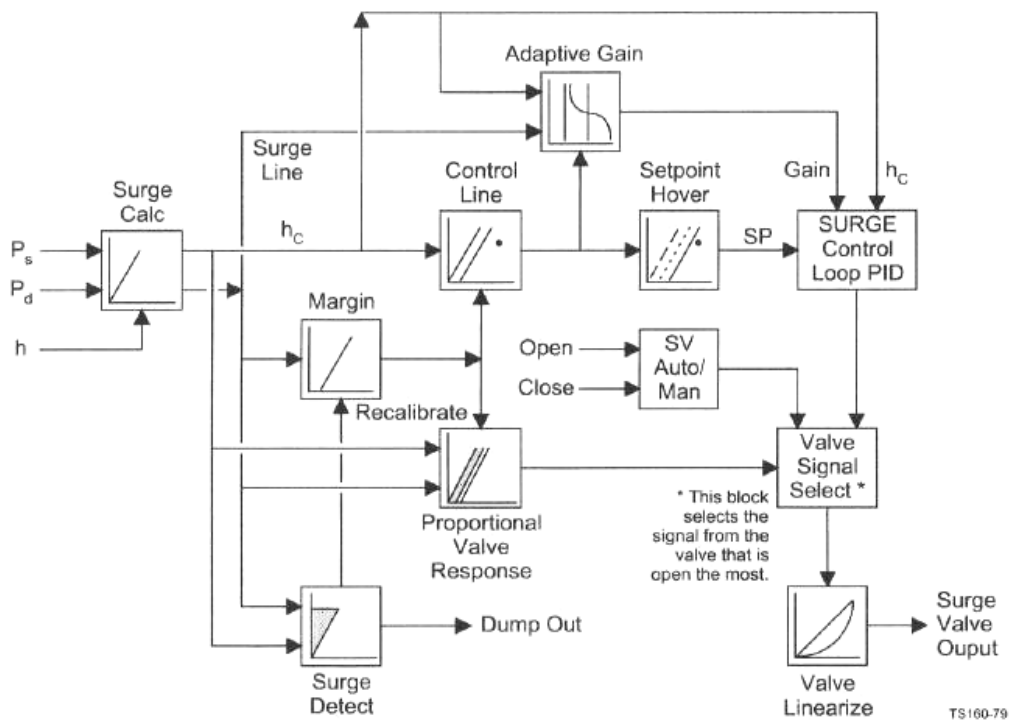
Umumnya, titik operasi compressor tidak selalu berada pada control line, terkadang dia berada jauh di sebelah kanan control line. Suatu fungsi dalam Trisen Control yang disebut dengan *setpoint hover function* digunakan untuk mengembalikan

titik operasi ke control line dengan jalan mengurangi setpoint (*ramped down*).

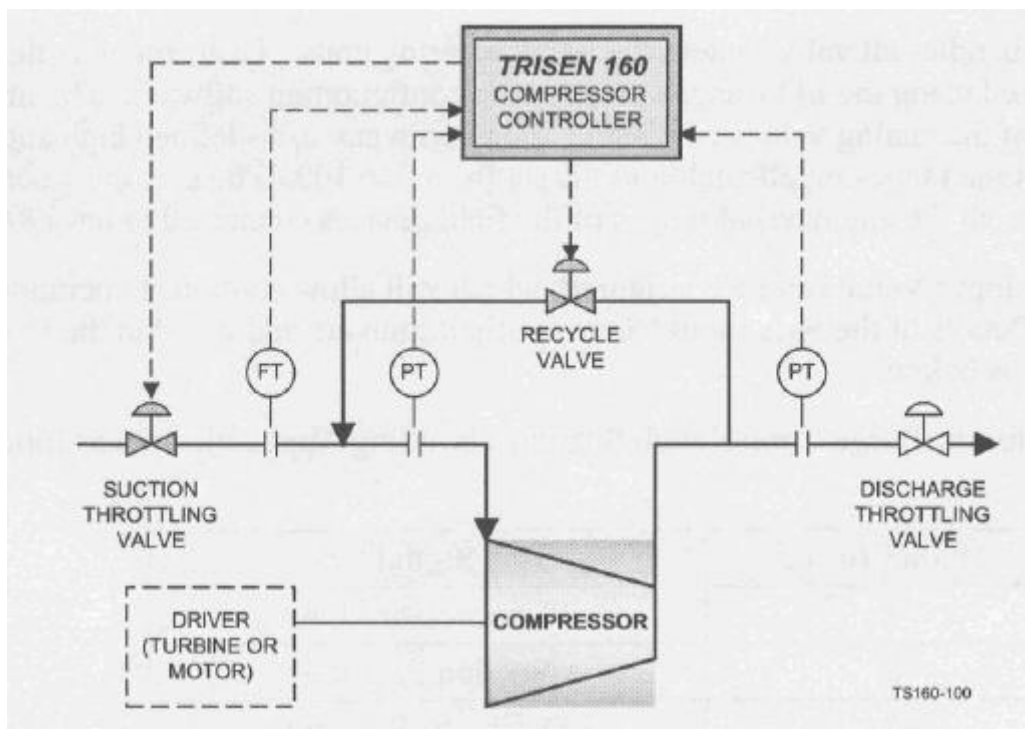
Trisen Control juga dilengkapi dengan *dynamic adaptive gain*. Jika titik operasi berada di sebelah kanan control line, maka control gain akan berkurang. Sebaliknya jika titik operasi bergerak mendekati control line, control gain akan bertambah dan terus bertambah jika titik operasi masih terus bergerak ke kiri mendekati surge line. Dengan cara ini, maka surge control akan meresponse dengan cepat untuk membuka antisurge control valve ketika titik operasi mendekati surge line sehingga surging bisa dihindari. Sebaliknya jika titik operasi bergerak ke kanan, antisurge control valve akan menutup secara perlahan.

Trisen Control juga dilengkapi dengan *proportional only function*. Dengan fungsi ini, Trisen Control akan memaksa membuka control valve tanpa menghiraukan aksi normal antisurge control. Fitur ini berfungsi pada kondisi dimana oleh karena suatu sebab (misalnya terjadi process upset) sehingga titik operasi bergeser ke kiri melewati control line, dan normal antisurge control tidak mampu mengembalikannya. Pada kondisi tersebut, fungsi ini akan memulai membuka antisurge control valve pada jarak/margin tertentu dari surge line (sesuai setting) dan mencapai bukaan penuh saat titik operasi mencapai surge line. Dengan fungsi ini, compressor bisa terhindar dari terjadinya surging.

Trisen Control juga menyediakan *valve linearization function* untuk control valve dengan tipe equal presentage, sehingga bisa diperoleh proses gain yang linear. Dengan cara ini, ketidak stabilan sistem yang disebabkan perubahan titik operasi dapat dihindari.



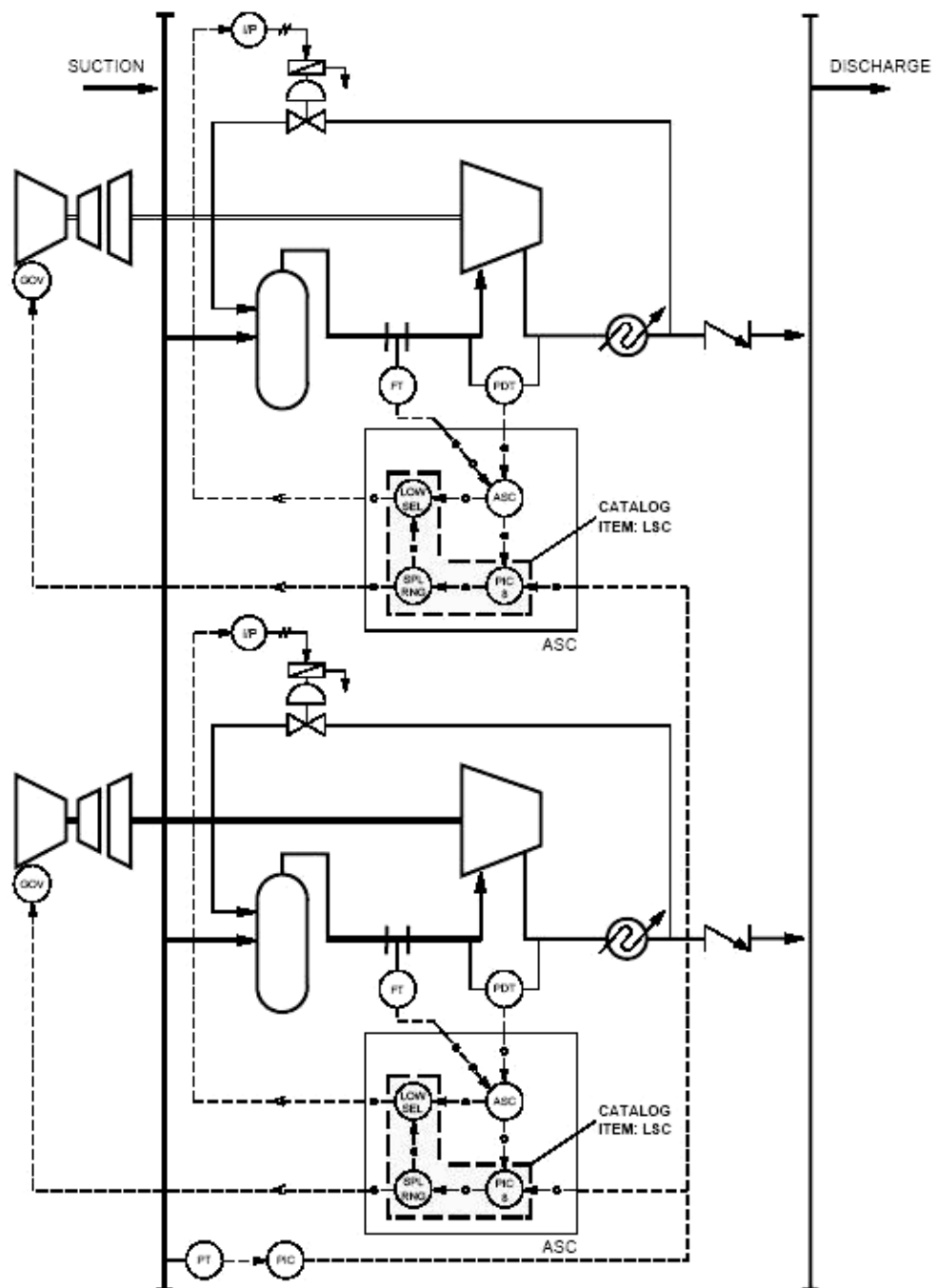
Gambar 1.70 blok diagram Trisen Antisurge Control



Gambar 1.71 Skema Trisen Antisurge Control

6. Load Sharing Control

Dalam operasinya sering kali dua atau lebih compressor digunakan secara paralel. Tujuannya bermacam-macam antara lain untuk meningkatkan kapasitas atau agar bisa digunakan dalam mode *operation/standby/repair*. Load sharing control berguna untuk menyeimbangkan beban kepada semua compressor yang digunakan secara paralel tersebut. Tujuannya adalah untuk mencegah jangan sampai ada compressor yang mengalami surging sementara compressor lainnya masih jauh dari surging, juga untuk meningkatkan efisiensi. Gambar berikut adalah contoh konfigurasi load sharing control.



Gambar 1.72 Skema load sharing control

Selain konfigurasi/struktur kontrol yang digunakan, pemilihan perangkat keras yang akan digunakan juga akan mempengaruhi kinerja compressor control yang dibangun, terutama menyangkut *response time* dari perangkat keras tersebut. Compressor merupakan sistem

dengan response yang sangat cepat, oleh karena itu perangkat keras yang digunakan juga harus memiliki response time yang cepat.

1. Control System Hardware

Hingga saat ini, jenis perangkat keras control system yang digunakan untuk aplikasi compressor control sangat bervariasi, mulai dari pneumatic control, analog electronic sampai dengan perangkat yang berbasis teknologi digital. Untuk mengimbangi response compressor yang sangat cepat, maka waktu eksekusi (execution time) control juga harus cepat, umumnya yang digunakan adalah lebih kecil dari 100 ms. Itu sebabnya, mengapa beberapa vendor menyediakan perangkat compressor control khusus dengan waktu eksekusi yang lebih cepat dibandingkan dengan perangkat control untuk pemakaian yang lebih umum.

2. Control Valve

Control valve yang digunakan untuk compressor control juga harus memiliki response yang cepat. Umumnya response time control valve sekitar 10 detik. Akan tetapi dengan menggunakan special stroke, response control valve bisa lebih cepat hingga dibawah 1 detik.

3. Transmitter

Response time transmitter juga perlu diperhatikan, terutama PD transmitter. Transmitter umumnya terdiri dari moving part sehingga memiliki sifat redam (damp), hal inilah yang menyebabkan transmitter tidak bisa me-response dengan cepat. Ukuran response time transmitter adalah *63.2% response time*, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencapai 63.2% response terhadap step input. Umumnya PD transmitter memiliki response time lebih besar dari 1 detik. Akan tetapi ada transmitter dengan design khusus memiliki response time lebih kecil dari 1 detik. Transmitter jenis ini bisa digunakan untuk aplikasi compressor control.

G. Tugas

- 1). Lakukan observasi ke bengkel khusus/ industri yang menangani pemeliharaan dan atau perbaikan kompresor berkapasitas menengah besar, dan buatlah laporan hasil observasi anda!
- 2). Lakukan Over Houl Kompresor Torak mengikuti petunjuk pada Joob Sheet Berikut

JOB SHEET

PRAKTEK KOMPRESOR

A. ALAT DAN BAHAN

1. 1 unit kompresor udara
2. Peralatan tangan, kunci pas/ring, tang(sesuai kebutuhan)
3. Alat ukur jangka sorong
4. Minyak pelumas
5. Sealed tape
6. Lap / majun

B. KESELAMATAN KERJA

1. Gunakan peralatan tangan sesuai dengan fungsinya
2. Ikutilah instruksi dari guru atau prosedur kerja yang tertera pada lembar kerja
3. Mintalah ijin guru bila hendak melakukan pekerjaan yang tidak tertera pada lembar kerja
4. Bila perlu mintalah buku manual dari mesin yang digunakan
5. Jangan memukul poros, ulir atau bagian lainnya dengan palu besi secara langsung

C. LANGKAH KERJA

1. Periapkan alat dan bahan praktikum secara cermat, efektif dan seefisien mungkin
2. Perhatikan instruksi praktek yang disampaikan oleh guru
3. Lakukan pembongkaran unit kompresor udara dengan langkah yang efektif, efisien dan sistematis
4. Lakukan pemeriksaan dengan pengamatan dan pengukuran pada komponen-komponen kompresor udara yang sudah dilepas
5. Gambarkan dan berikan ukuran-ukuran untuk setiap komponen
6. Buatlah catatan-catatan penting kegiatan praktek secara ringkas
7. Diskusikan mengenai kondisi komponen, kemungkinan penyebab kerusakan, kemungkinan perbaikan serta kemungkinan akibat jika kerusakan terjadi dan dibiarkan
8. Lakukan pemasangan kembali terhadap komponen-komponen yang dibongkar
9. Diskusikan inovasi usaha apa yang bisa dikembangkan setelah anda mengetahui tentang kompresor udara dan instalasinya
10. Setelah selesai, bereskan kembali peralatan dan bahan yang telah digunakan seperti keadaan semula serta bersihkan tempat kerja.
11. Buatlah laporan praktek tersebut secara ringkas dan jelas

Selamat Bekerja !

LEMBAR PENGAMATAN OVERHOUL KOMPRESOR

NO	NAMA KOMPONEN	UKURAN	KEADAAN	JUMLAH KOMPONEN	TINDAK LANJUT
----	---------------	--------	---------	-----------------	---------------

1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Pertanyaan :

1. Gambarkan dan berikan ukuran pada masing-masing komponen !
2. Hitung Volume silinder dari kompresor yang anda kerjakan !

H. Tes Formatif

- 1) Jelaskan apa yang dimaksud dengan kompresor !
- 2) Jelaskan perbedaan kompresor perpindahan positif dengan kompresor dinamik!
- 3) Sebutkan 2 jenis kompresor perpindahan positif !
- 4) Jelaskan prinsip kerja kompresor sentrifugal !
- 5) Jelaskan prinsip kerja kompresor torak/resiprok !
- 6) Sebutkan komponen-komponen utama kompresor torak !
- 7) Sebutka komponen-komponen utama kompresor sentrifugal
- 8) Sebutkan karakteristik kompresor torak !
- 9) Sebutkan karakteristik kompresor sentrifugal !
- 10)Jelaskan apa yang dilakukan pada pemeriksaan operasi harian!
- 11)Jelaskan apa yang dilakukan pada pemeriksaan operasi rutin!

- 12)Jelaskan gangguan apa yang sering ditemukan pada kompresor udara dan kemungkinan penyebabnya!
- 13)Jelaskan apa yang perlu dilakukan pada kompresor udara yang tidak aktif lebih dari 1 bulan!
- 14)Jelaskan apa yang perlu diperiksa pada motor listrik penggerak kompresor udara!

Bab 2

POMPA



Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek.

Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan – tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui.

Pompa memiliki dua kegunaan utama:

- Memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya (misalnya air dari aquifer bawah tanah ke tangki penyimpanan air)
- Mensirkulasikan cairan sekitar sistim (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan)

Pompa juga dapat digunakan pada proses - proses yang membutuhkan tekanan *hidraulik* yang besar. Hal ini bisa dijumpai antara lain pada peralatan - peralatan berat. Dalam operasi, mesin - mesin peralatan berat membutuhkan tekanan *discharge* yang besar dan tekanan isap yang rendah. Akibat tekanan yang rendah pada sisi isap pompa maka fluida akan naik dari kedalaman tertentu, sedangkan akibat tekanan

yang tinggi pada sisi *discharge* akan memaksa fluida untuk naik sampai pada ketinggian yang diinginkan.

Pompa secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*).

7. Pompa Kerja Positif (*Positive Displacement Pump*)

Disebut juga dengan pompa aksi positif. Energi mekanik dari putaran poros pompa dirubah menjadi energi tekanan untuk memompakan fluida. Pada pompa jenis ini dihasilkan head yang tinggi tetapi kapasitas yang dihasilkan rendah. (pompa putar/*Rotary* dan pompa torak/*Reciprocating*)

8. Pompa Sentrifugal (*Dynamic Pump / Sentrifugal Pump*)

Merupakan suatu pompa yang memiliki elemen utama sebuah motor dengan sudu impeler berputar dengan kecepatan tinggi. Fluida masuk dipercepat oleh impeler yang menaikkan kecepatan fluida maupun tekanannya dan melemparkan keluar volut. (Pompa sentrifugal)

A. Jenis-jenis pompa Pompa Kerja Positif (*Positive Displacement Pump*)

1. Pompa Putar (*Rotary*)

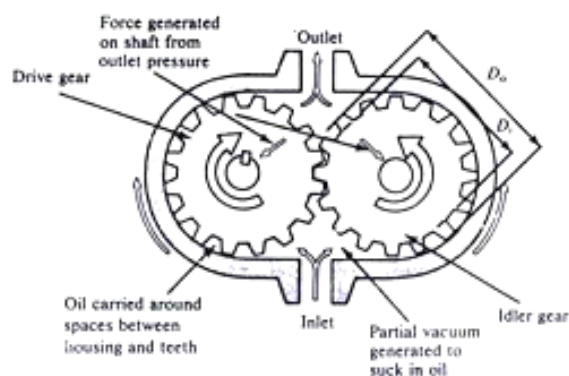
Komponen pompa ini secara garis besar terdiri sebuah rumah pompa dengan sambungan saluran isap (*suction*) dan sambungan saluran kempa (*discharge*) dan didalam rumah pompa tersebut terdapat komponen yang berputar, yang dapat berupa roda gigi (*gear pumps*), atau silinder dengan sudu-sudu (*sliding-vane pumps*), atau ulir (*screw pumps*).

Secara umum prinsip kerja rotary pumps adalah sebagai berikut. Berputarnya elemen dalam rumah pompa menyebabkan penurunan tekanan pada saluran isap, sehingga terjadi aliran cairan dari sumber masuk ke rumah pompa. Cairan tersebut akan mengisi ruang kosong yang ditimbulkan oleh elemen-elemen yang berputar dalam rumah pompa tersebut, cairan terperangkap dan ikut berputar. Pada saluran kempa terjadi pengecilan rongga, sehingga cairan terkompakan ke luar. Untuk memperjelas hal ini akan dibahas satu-persatu jenis-jenis pompa yang termasuk jenis rotary pumps.

Macam-macam pompa *Rotary* :

1) Pompa Roda Gigi Luar

Pompa ini merupakan jenis pompa rotari yang paling sederhana. Apabila gerigi roda gigi berpisah pada sisi hisap, cairan akan mengisi ruangan yang ada diantara gerigi tersebut. Kemudian cairan ini akan dibawa berkeliling dan ditekan keluar apabila giginya bersatu lagi.



Gambar 2.1 Pompa roda gigi luar

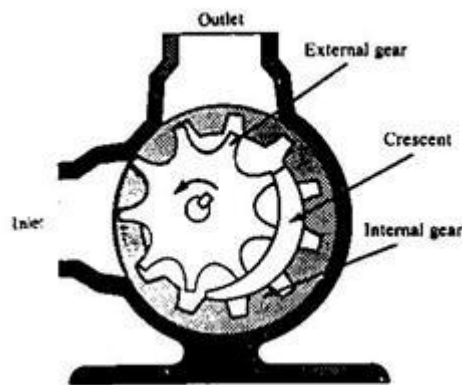
Saran umum untuk penggunaan gear pumps yaitu: Untuk mencegah terjadinya kemacetan dan aus saat pompa digunakan maka zat cair yang dipompa tidak boleh mengandung padatan dan tidak bersifat korosif.

Pompa dengan penggigian luar banyak digunakan untuk memompa minyak pelumas atau cairan lain yang mempunyai sifat pelumasan yang baik.

Pompa dengan penggigian dalam dapat digunakan untuk memompa zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas) tinggi, seperti tetes, sirop, dan cat.

2) Pompa roda gigi dalam

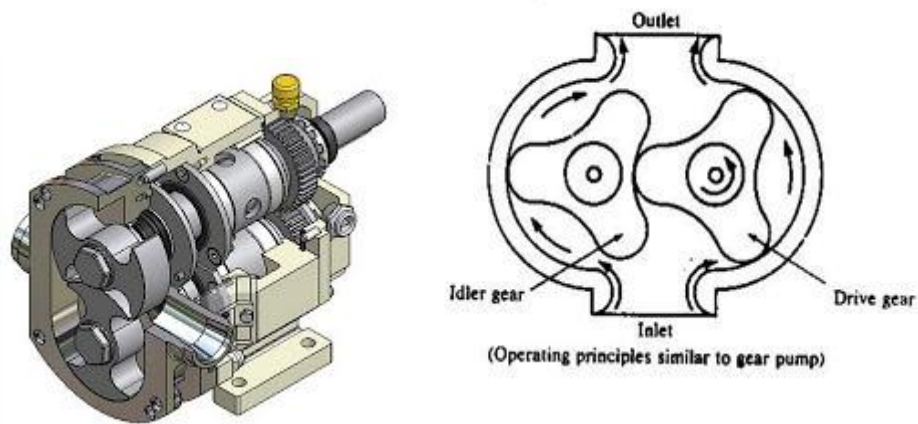
Jenis ini mempunyai rotor yang mempunyai gerigi dalam yang berpasangan dengan roda gigi kecil dengan penggigian luar yang bebas (idler). Sebuah sekat yang berbentuk bulan sabit dapat digunakan untuk mencegah cairan kembali ke sisi hisap pompa.



Gambar 2.2 Pompa roda gigi dalam

3) Pompa cuping (*lobe pump*)

Pompa cuping ini mirip dengan pompa jenis roda gigi dalam hal aksinya dan mempunyai 2 rotor atau lebih dengan 2,3,4 cuping atau lebih pada masing-masing rotor. Putaran rotor tadi diserempakkan oleh roda gigi luarnya.

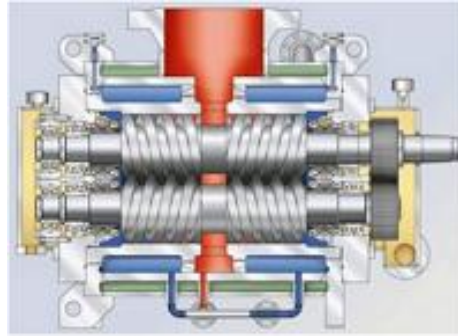


Gambar 2.3 : Lobe pump

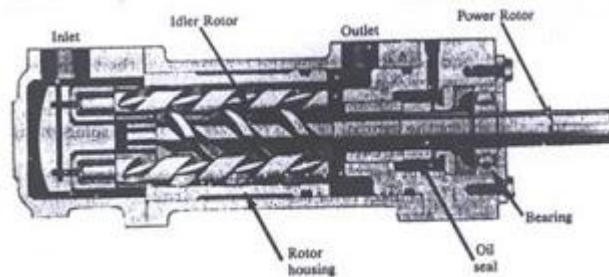
Pompa lobe dapat digunakan untuk memompa cairan yang kental (viskositasnya tinggi) dan mengandung padatan. Pemilihan dua rotor lobe atau tiga rotor lobe didasarkan atas ukuran padatan yang terkandung dalam cairan, kekentalan cairan, dan kontinuitas aliran. Dua rotor lobe cocok digunakan untuk cairan kental, ukuran padatan yang relatif kasar dengan kontinuitas kecepatan aliran yang tidak halus.

4) Pompa sekrup (*screw pump*)

Pompa ini mempunyai 1,2 atau 3 sekrup yang berputar di dalam rumah pompa yang diam. Pompa sekrup tunggal mempunyai rotor spiral yang berputar di dalam sebuah stator atau lapisan heliks dalam (internal helix stator). Pompa 2 sekrup atau 3 sekrup masing-masing mempunyai satu atau dua sekrup bebas (idler).



Gambar 2.4 Two Screw Pump



Gambar 2.5 : Three-screw pump

Pompa jenis ini hanya dapat digunakan untuk tekanan pada saluran kempa lebih rendah dari tekanan pada saluran isap dan bila zat cair yang dipompa mempunyai kekentalan tinggi. Pada keadaan kering pompa ini tidak dapat mengisap sendiri, sehingga sebelum digunakan pompa ini harus terisi cairan yang akan dipompa.

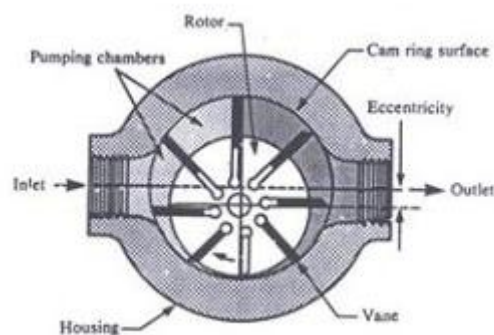
Sama halnya dengan pompa roda gigi, pompa ulir ini cocok untuk memompa zat cair yang bersih dan mempunyai sifat pelumasan yang baik.

Secara umum pompa rotary mempunyai kecepatan aliran volum yang konstan asal kecepatan putarannya dapat dipertahankan tetap. Selain itu alirannya lebih teratur (tidak terlalu pulsatif). Hal ini sangat berbeda dengan pompa reprocating (bandingkanlah setelah pembahasan pompa reprocating). Pompa rotary cocok

untuk operasi pada kisaran tekanan sedang dan untuk kisaran kapasitas dari kecil sampai sedang (lihat gambar pemilihan jenis pompa berdasarkan karakteristiknya).

5) Pompa baling geser (*Sliding Vane Pump*)

Pompa berporos tunggal yang di dalam rumah pompa berisi sebuah rotor berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur lurus pada kelilingnya. ke dalam alur-alur ini dimasukkan sudu-sudu lurus yang menempel pada dinding dalam rumah pompa dan dapat berputar secara radial dengan mudah. Rotor ini dipasang asimetri dalam rumah pompa. Ketika rotor berputar tekanan dalam rumah pompa turun sehingga terjadi kerja isap dan pada saluran pemasukkan terjadi pembesaran ruang kosong, sehingga cairan dapat mengalir dari sumber dan mengisi rongga kosong dalam rumah pompa. Pada tempat pengeluaran terjadi pengecilan ruang kosong sehingga pada tempat ini terjadi kerja kempa. Dengan cara ini secara berturut-turut terjadi kerja isap dan kerja kempa. Pompa jenis ini digunakan untuk pompa vakum.



Gambar 2.6 Vane pump

2. Pompa Torak (Piston)

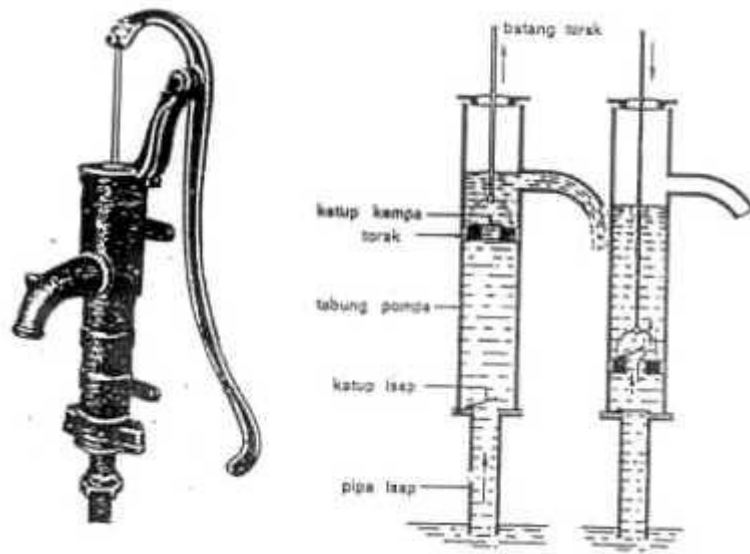
Pompa torak mengeluarkan cairan dalam jumlah yang terbatas selama pergerakan piston sepanjang langkahnya. Volume cairan yang dipindahkan selama 1 langkah piston akan sama dengan perkalian luas piston dengan panjang langkah.

Menurut cara kerjanya pompa torak dapat dikelompokkan dalam kerja tunggal dan kerja ganda. Sedangkan menurut jumlah silinder yang digunakan, dapat dikelompokkan dalam pompa torak sinder tunggal dan pompa torak silinder banyak.

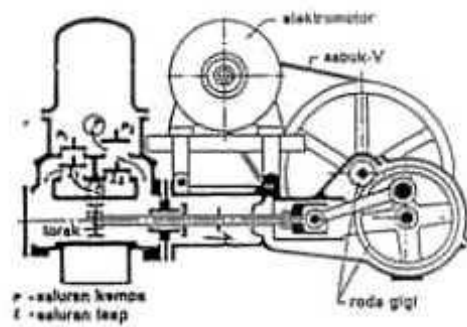
Untuk pompa torak kerja tunggal dan silinder tunggal, aliran cairan terjadi sebagai berikut. Bila batang torak dan torak bergerak ke atas, zat cair akan terisap oleh katup isap di sebelah bawah dan pada saat yang sama cairan yang ada disebelah atas torak akan terkempakan ke luar. Jika torak bergerak ke bawah katup isap akan tertutup dan katup kempa terbuka sehingga cairan tertekan ke atas torak melalui katup kempa. Dengan gerakan ini maka akan terjadi kerja isap dan kerja kempa secara bergantian. Aliran cairan yang dihasilkan terputus-putus.

Cara kerja pompa torak kerja ganda pada prinsipnya sama dengan cara kerja pompa torak kerja tunggal, tetapi pada pompa torak kerja ganda terdapat dua katup isap dan dua katup kempa yang masing-masing bekerja secara bergantian. Sehingga pada saat yang sama terjadi kerja isap dan kerja kempa. Karena itu aliran zat cair menjadi relatif lebih teratur.

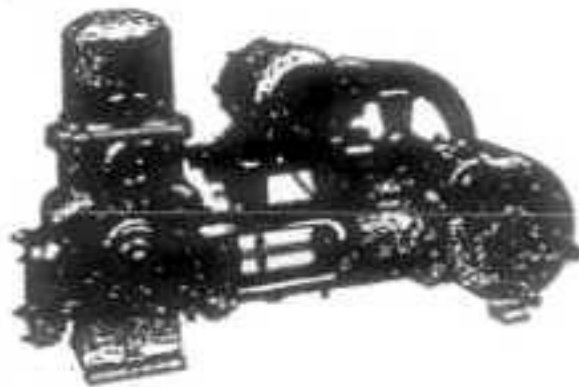
Untuk memperoleh kecepatan aliran zat cair yang lebih konstan dapat digunakan pompa torak kerja ganda dengan silinder banyak.



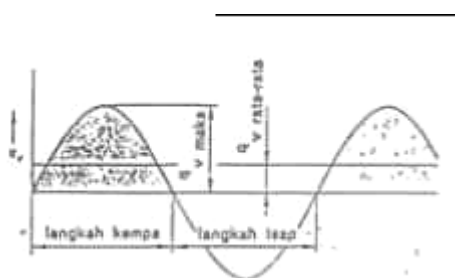
Gambar 2.7 Skema prinsip kerja pompa torak kerja tunggal silinder tunggal



Gambar 2.8 Skema prinsip kerja pompa torak kerja ganda silinder tunggal



Gambar 2.9 Potongan pompa torak kerja ganda silinder tunggal



Gambar 2.10 Aliran zat cair pompa torak kerja tunggal silinder tunggal



Gambar 2.11 Aliran zat cair pompa torak kerja ganda silinder tunggal



Gambar 2.12 Aliran zat cair pompa torak kerja ganda dengan tiga silinder

Pompa torak cocok digunakan untuk pekerjaan pemompaan dengan daya isap (suction head) yang tinggi disamping itu pompa torak dapat digunakan untuk memompa udara dalam kapasitas yang besar.

Pompa torak terdiri dari komponen-komponen berikut: 1. torak, 2. silinder, 3. katup, 4. mekanik engkol dan mekanik batang penggerak, 5. lemari roda gigi, dan 6. satu sungkup udara atau lebih. Bagian ini masing-masing akan dibahas dengan lebih rinci.

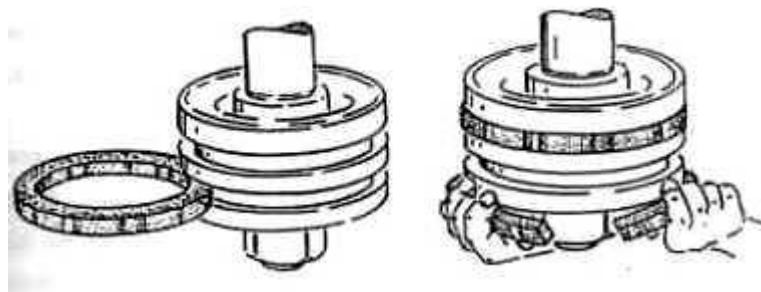
1) TORAK

Torak mengatur perpindahan tempat zat cair. Torak terdiri dari sejumlah cakram yang biasanya terbuat dari besi tuang dan

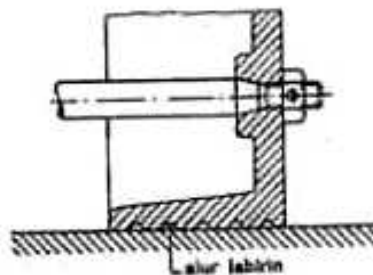
diantaranya dipasang sebuah atau lebih gelang perapat, yang bertugas merapatkan ruang antara antara torak dan silinder. Gelang perapat dapat berupa manset atau gelang torak. Kadang-kadang torak pada penggunaannya tidak diperlengkapi dengan gelang perapat khusus. Untuk mengurangi rugi bocor biasanya totak dibuat lebih panjang dan sekelilingnya diberi alur labirin. Oleh karena torak tidak atau hampir tidak menyinggung silinder maka rugi gesekan tidak besar, sehingga dapat diperoleh penghematan kerja.



Gambar 2.13 Manset



Gambar 2.14 Gelang torak dan cara pemasangannya



Gambar 2.15 Torak dengan perapat labirin

2) SILINDER

Silinder biasanya dilapisi dengan perunggu atau lapisan lain yang dapat diganti. Bagian sebelah dalam harus dibuat sebulat dan selicin mungkin. Sehingga bila aus pelapis silinder dapat diganti dengan mudah.

3) KATUP

Katup gunanya untuk membuka dan menutup lubang pemasukkan dan lubang pengeluaran ke dan dari silinder pada saat yang tepat dan bekerja secara otomatis karena adanya perbedaan tekanan di atas dan di bawah katup. Sering kali katup diperlengkapi dengan pegas katup guna menutup katup menurut cara dan pada saat yang tepat.

4) MEKANIK ENKOL

Mekanik engkol dan mekanik batang penggerak mengatur supaya gerak putar motor diubah menjadi gerak bolak-balik torak.

5) LEMARI RODA GIGI

Jumlah putaran motor diperlambat oleh suatu transmisi tali. Pada pompa torak yang berjalan lambat, jumlah putaran cakra-tali yang tinggi diperlambat sampai ke jumlah putaran poros engkol yang sesuai melalui suatu transmisi roda gigi. Lemari roda gigi harus diisi minyak sampai ketinggian tertentu. Minyak tidak hanya mengatur pelumasan roda gigi tetapi juga mengatur pelumasan mekanik engkol.

6) SUNGKUP UDARA

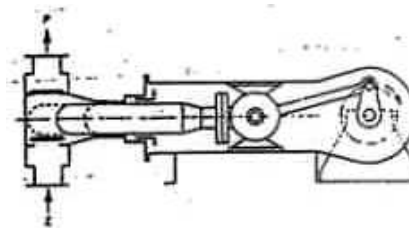
Sungkup udara digunakan agar aliran zat cair stabil (tetap). Tanpa sungkup udara aliran zat cair sering berubah-ubah hal ini disebabkan karena kecepatan torak sulit dipertahankan stabil. Ada dua sungkup udara yaitu sungkup udara isap dan sungkup udara

kempa. Pada saat langkah kempa bila ada kenaikan kecepatan torak sebagian zat cair dikompaksi ke dalam sungkup udara kempa. Dengan demikian udara yang ada di dalam sungkup terdesak sehingga tekanannya meningkat, bila kecepatan torak turun kembali maka air dapat mengalir keluar dari sungkup udara dengan sendirinya. Jika pompa sudah beroperasi pada waktu yang cukup lama ada kemungkinan pompa berbunyi gaduh, hal ini disebabkan karena udara sebagian besar telah hilang dari sungkup udara. Pada saat seperti ini perlu dilakukan penambahan udara ke dalam sungkup dengan cara membiarkan sebentar pompa menghisap udara atau mengeluarkan air dari dalam sungkup.

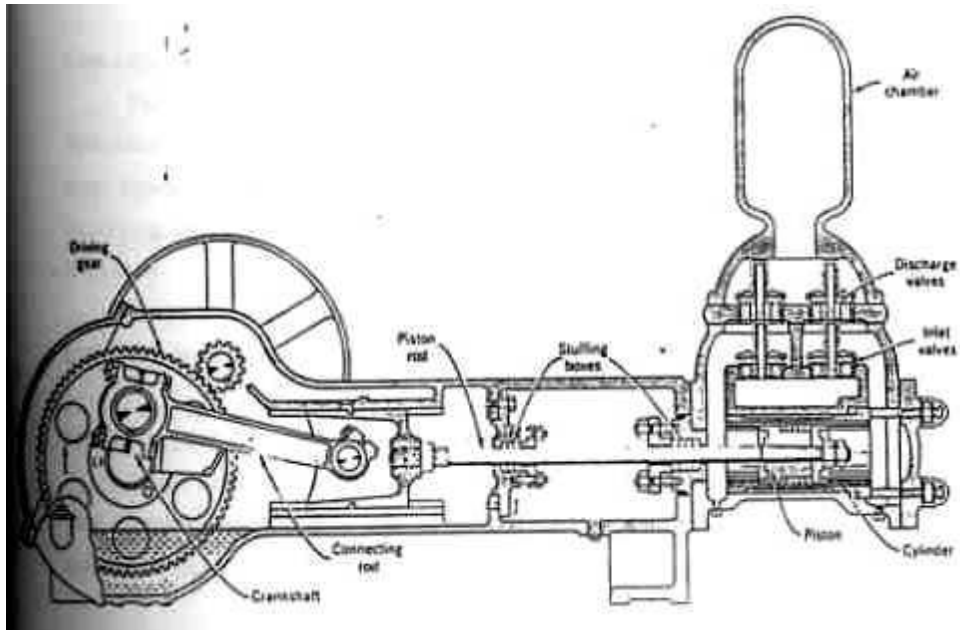
3. POMPA PLUNYER (*PLUNGER PUMP*)

Prinsip kerja pompa plunyer sama dengan prinsip kerja pompa torak, tetapi torak diganti dengan plunyer.

Pompa plunyer pada umumnya digunakan untuk aliran volum (kapasitas) yang kecil tetapi tekanan yang dapat dicapai lebih tinggi dari pada yang dapat dicapai dengan pompa torak. Pompa plunyer banyak digunakan untuk pompa bahan bakar motor diesel.



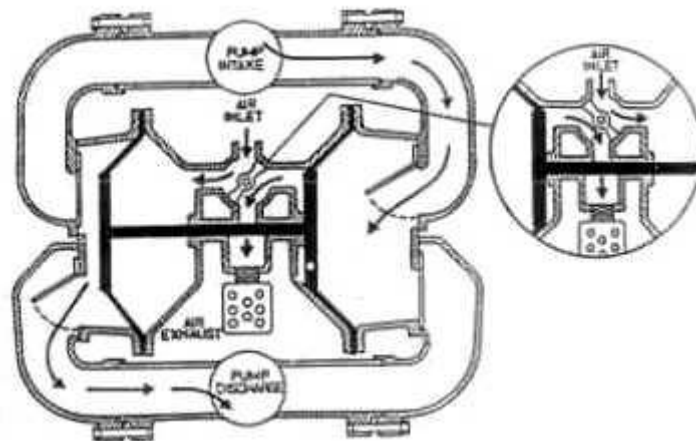
Gambar 2.16 Prinsip kerja pompa plunyer



Gambar 2.17. Pompa plunger dengan penggerak uap (steam-driven tandem duplex plunger pump)

4. POMPA MEMBRAN

Pada pompa ini, pembesaran dan pengecilan ruang dalam rumah pompa disebabkan oleh membran yang kenyal. Seperti halnya pompa torak, pompa membran dapat digunakan sebagai kerja tunggal dan kerja ganda, dan juga memberikan aliran cairan yang terputus-putus.



Gambar 2.18. Prinsip kerja pompa membran

Pompa membran sering digunakan untuk memompa air kotor (pompa kepala kucing) dan dapat digunakan untuk pompa bahan bakar.

Pompa torak gerak bolak-balik digerakkan oleh motor listrik atau mesin uap, yang dilengkapi dengan tali atau rantai yang menghubungkan antara motor penggerak dengan roda gigi dan poros engkol untuk merubah kerja putar menjadi kerja bolak-balik.

Seperti halnya karakteristik pompa putar, kapasitas pompa torak gerak bolak-balik tidak dipengaruhi oleh tekanan yang dibangkitkan.

B. Jenis-jenis Pompa Sentrifugal (*Dynamic Pump / Sentrifugal Pump*)

Pompa sentrifugal memiliki sebuah *impeller* (baling – baling) yang bertujuan untuk mengalirkan zat cair dari suatu tempat ketempat lain dengan cara mengubah energi zat cair yang dikandung menjadi lebih besar.

Akibat dari putaran *impeller* yang menimbulkan gaya sentrifugal, maka zat cair akan mengalir dari tengah impeler keluar lewat saluran di antara sudu - sudu dan meninggalkan impeler dengan kecepatan yang tinggi.

Zat cair yang keluar dari impeler dengan kecepatan tinggi kemudian melalui saluran yang penampangnya semakin membesar yang disebut *volute*, sehingga akan terjadi perubahan dari head kecepatan menjadi head tekanan. Jadi zat cair yang keluar dari *flens* keluar pompa head totalnya bertambah besar. Sedangkan proses pengisapan terjadi

karena setelah zat cair dilemparkan oleh impeller, ruang diantara sudu - sudu menjadi vakum, sehingga zat cair akan terisap masuk.

Selisih energi persatuan berat atau head total dari zat cair pada *flens* keluar dan *flens* masuk disebut sebagai head total pompa. Sehingga dapat dikatakan bahwa pompa sentrifugal berfungsi mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan head kecepatan, head tekanan dan head potensial secara kontinu. Adapun bentuk dari motor dan pompa sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Motor dan Pompa Sentrifugal

1. Klasifikasi Pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain:

- 1) Bentuk arah aliran yang terjadi di *impeller*. Arah aliran fluida dalam *impeller* dapat berupa *axial flow* (aliran axial), *mixed flow* (campuran aliran), atau *radial flow* (aliran radial).

- 2) Bentuk konstruksi dari *impeller*: *impeller* yang digunakan dalam pompa sentrifugal dapat berupa open *impeller*, *semi – open impeller*, atau *close impeller*.
- 3) Banyaknya jumlah *suction inlet*. Beberapa pompa sentrifugal memiliki *suction inlet* lebih dari dua buah. Pompa yang memiliki satu *suction inlet* disebut *single – suction pump* sedangkan untuk pompa yang memiliki dua *suction inlet* disebut *double – suction pump*.
- 4) Banyaknya *impeller*. Pompa sentrifugal khusus memiliki beberapa *impeller* bersusun. Pompa yang memiliki satu *impeller* disebut *single – stage pump* sedangkan pompa yang memiliki lebih dari satu *impeller* disebut *multi – stage pump*.

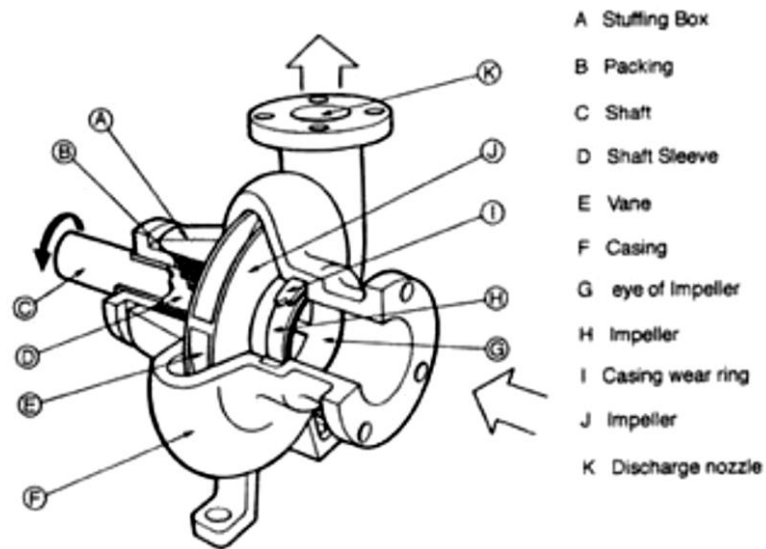
2. Bagian – Bagian Utama Pompa Sentrifugsl

Dalam pengoperasian pompa sentrifugal ada beberapa bagian yang perlu diperhatikan agar pompa dapat bekerja dengan baik dan dapat bertahan lama.

Adapun bagian – bagian utama pompa sentrifugal tersebut antara lain:

1) Rumah Pompa Sentrifugal

Rumah Pompa Sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.20

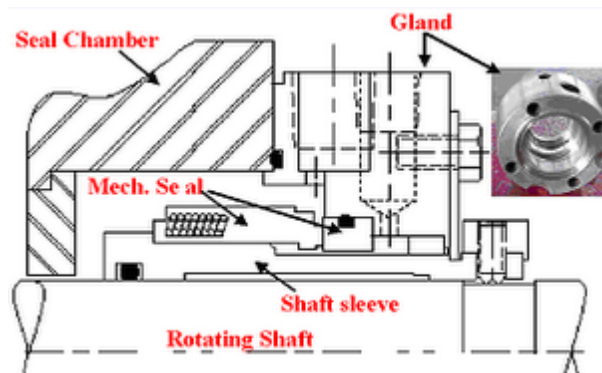


- A Stuffing Box
- B Packing
- C Shaft
- D Shaft Sleeve
- E Vane
- F Casing
- G eye of Impeller
- H Impeller
- I Casing wear ring
- J Impeller
- K Discharge nozzle

Gambar 2.20 Rumah Pompa Sentrifugal

a) Stuffing Box

Stuffing Box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.



Gambar 2.21 Stuffing Box (Mechanical Seal)

b) Packing

Packing digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.

Packing Ring Cut to Size



Gambar 2.22 Packing

c) Shaft (poros)

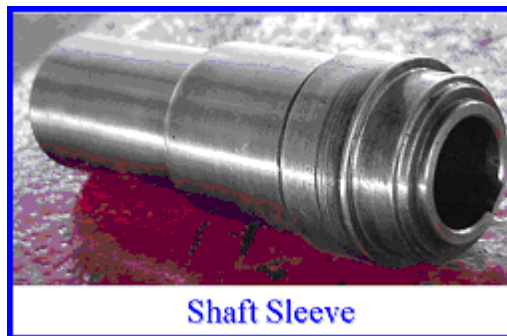
Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian - bagian berputar lainnya. Adapun bentuk dari shaft (poros) dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Shaft (poros)

d) Shaft-sleeve

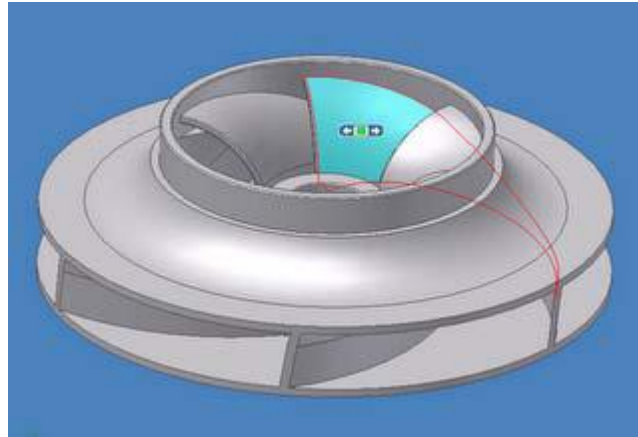
Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*. Pada pompa *multi stage* dapat sebagai *leakage joint*, internal bearing dan *interstage* atau *distance sleeve*. Adapun bentuk dari shaft-sleeve dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Shaft-sleeve

e) Vane

Vane impeller berfungsi sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller*. Adapun bentuk dari *vane* dapat dilihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Vane

f) **Casing**

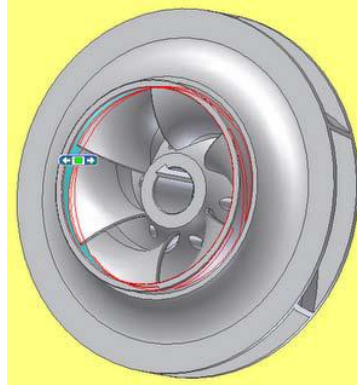
Casing merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffusor (*guide vane*), inlet dan outlet nozel serta tempat memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*). Adapun bentuk dari casing dapat dilihat pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Casing

g) Eye of Impeller

Bagian sisi masuk pada arah isap *impeller*. Adapun bentuk dari *eye of impeller* dapat dilihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Eye of Impeller

h) Impeller

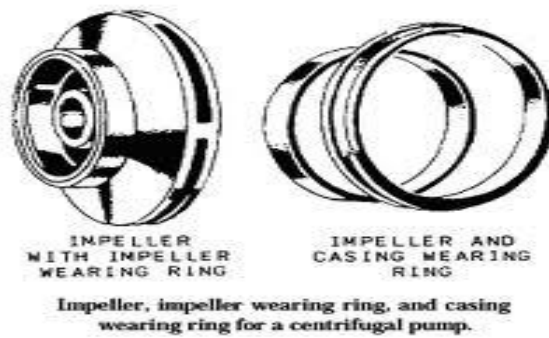
Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontiniu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya. Adapun bentuk dari *impeller* dapat dilihat pada Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Impeller

i) Wearing Ring

Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeller.



Gambar 2.29 Wearing Ring

j) **Bearing**

Bearing (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. Bearing juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.



Gambar 2.30 Bearing

k) **Discharge Nozzle**

Discharge nozzle adalah saluran cairan keluar dari pompa dan berfungsi juga untuk meningkatkan energi tekanan keluar pompa

2) **Impeller**

Impeller adalah bagian penting pompa sentrifugal dimana terjadi perubahan energi mekanis berupa putaran menjadi kecepatan, aliran impeller akan diputar oleh motor penggerak pompa, menyebabkan aliran akan berputar dan gerakan aliran akan

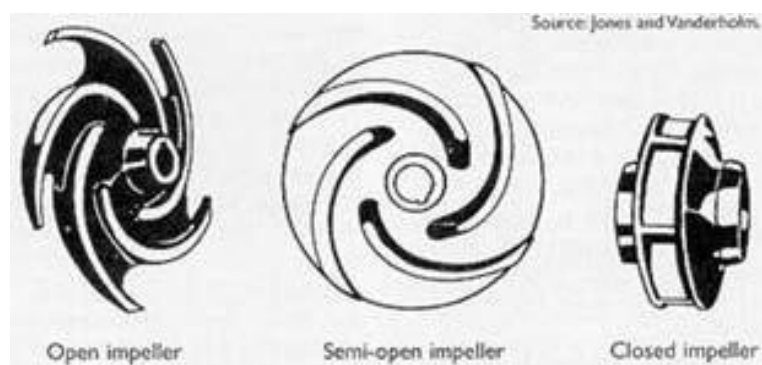
mengikuti *impeller* dan keluar dengan kecepatan yang besar. Pada *impeller* juga terjadi head atau tekanan dan kecepatan aliran akan bertambah besar.

Kecepatan aliran yang besar berubah menjadi tekanan aliran atau head pompa. Perubahan kecepatan head ini terjadi pada rumah kontak dan *impeller*. Hal ini akan dipergunakan untuk mengatasi head losses dan beban lainnya pada instalasi pompa jika head pada instalasi pipa ternyata masih lebih besar dari head maksimum yang dihasilkan pompa maka aliran tidak akan sampai tujuan akhir instalasi pipa. Aliran akan berhenti pada daerah tertentu walaupun pompa terus bekerja. Head maksimum dimana kapasitas pompa akan menjadi panas jika dibiarkan terus – menerus dapat menyebabkan kerusakan pada pompa.

Impeller di bagi beberapa jenis antara lain:

1. Closed Impeller
2. Semi open impeller
3. Open impeller.

Adapun jenis – jenis dari impeller dapat dilihat pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Jenis – Jenis Impeller

3. Karakteristik Pompa Sentrifugal

Karakteristik dari pompa sentrifugal merupakan sebuah cara dimana tinggi tekan tekanan diferensial bervariasi dengan keluaran (output) pada kecepatan konstan. Karakteristik dapat juga menyertakan kurva efisiensi dan harga brake horse power-nya. Kurva kapasitas tinggi tekan ditunjukkan sebagai kapasitas peningkatan total tinggi tekan, dimana tinggi tekan pompa mampu untuk dinaikkan atau dikurangi. Umumnya sebuah pompa sentrifugal akan menaikkan tinggi tekan terbesarnya pada suatu titik, dimana tidak ada aliran yang sering dianggap sebagai shut off head. Jika shut off head kurang dari harga maksimum tinggi tekan, pompa menjadi tidak stabil dan dibawah beberapa kondisi dapat memperbesar daya dan kecepatan fluktuasi yang menyebabkan getaran mekanis yang besar pada sistem pemipaan.

2) Head Pompa

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang.

Menurut persamaan Bernauli, ada tiga macam head (energi) fluida dari sistem instalasi aliran, yaitu, energi tekanan, energi kinetik dan energi potensial .

Hal ini dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{P_A}{\gamma_A} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A + H = \frac{P_B}{\gamma_B} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + \text{Losses A ke B}$$

$$H = \left(\frac{P_B}{\gamma_B} - \frac{P_A}{\gamma_A} \right) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + (Z_B - Z_A) + HL$$

Karena $\gamma_A = \gamma_B$ maka,

$$H = \left(\frac{P_B - P_A}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_B^2 - V_A^2}{2g} \right) + (Z_B - Z_A) + HL$$

$$H = \left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right) + \left(\frac{\Delta V^2}{2g} \right) + H_{st} + HL \quad \dots\dots\dots 2)$$

Dimana :

H : Head total pompa

$\frac{\Delta P}{\gamma}$: Head pompa karena perbedaan tekanan pada sisi isap dengan sisi tekan

$$: \frac{P_B - P_A}{\gamma}$$

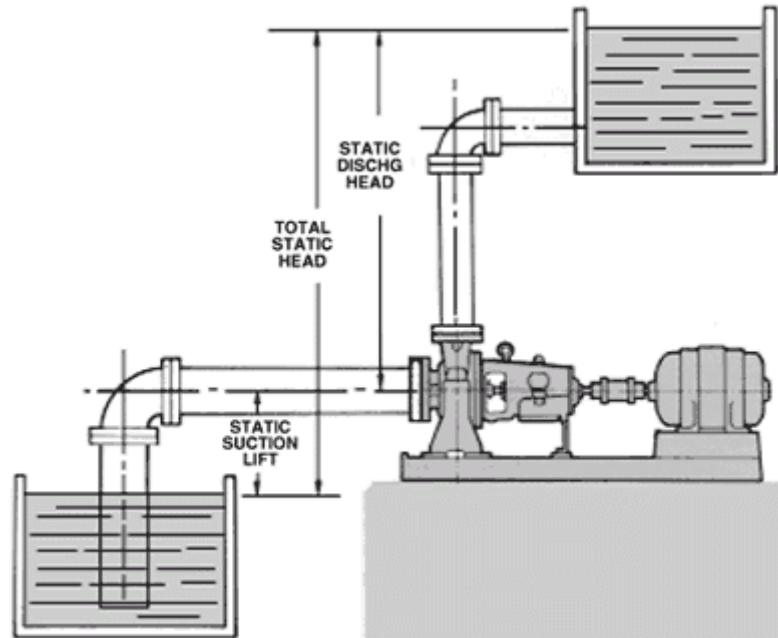
$\frac{\Delta V^2}{2g}$: Head yang diakibatkan karena ada perbedaan kecepatan

$$: \frac{V_B^2 - V_A^2}{2g}$$

H_{st} : Head statis = $Z_B - Z_A$

HL : Head losses dari A ke B

Karena energi itu kekal, maka bentuk head (tinggi tekan) dapat bervariasi pada penampang yang berbeda. Namun pada kenyataannya selalu ada rugi energi (losses).



Gambar 2.32 Head yang terjadi pada sistem pemompaan

Tekanan diperlukan untuk memompa cairan melewati sistem pada laju tertentu. Tekanan ini harus cukup tinggi untuk mengatasi tahanan sistem, yang juga disebut "head". Head total merupakan jumlah dari head statik dan head gesekan/ friksi:

a) *Head Statik*

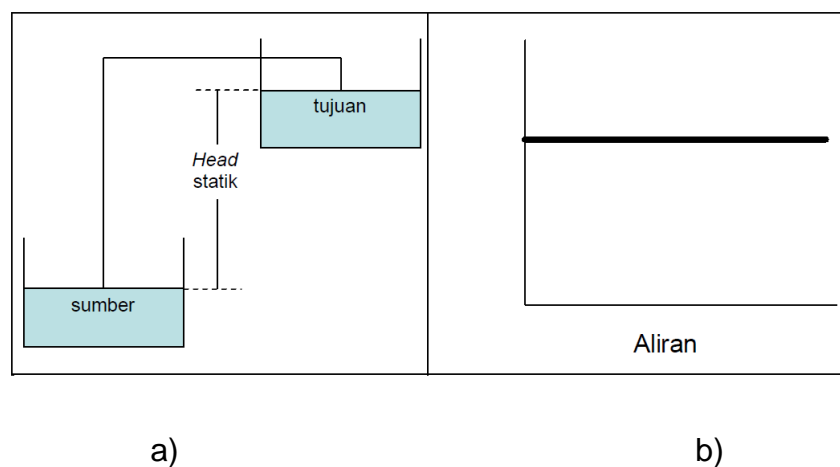
Head statik merupakan perbedaan tinggi antara sumber dan tujuan dari cairan yang dipompa (lihat Gambar 2.33a). *Head* statik merupakan aliran yang independen (lihat Gambar 2.33b). *Head* statik pada tekanan tertentu tergantung pada berat cairan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Head (dalam feet)} = \frac{\text{Tekanan (psi)} \times 2,31}{\text{Specific gravity}}$$

Specific gravity

Head statik terdiri dari:

- *Head* hisapan statis (h_s): dihasilkan dari pengangkatan cairan relatif terhadap garis pusat pompa. h_s nilainya positif jika ketinggian cairan diatas garis pusat pompa, dan negative jika ketinggian cairan berada dibawah garis pusat pompa (juga disebut “pengangkat hisapan”)
- *Head* pembuangan statis (h_d): jarak vertikal antara garis pusat pompa dan permukaan cairan dalam tangki tujuan.



Gambar 2.33 a. *Head* Statik b. *Head* statik versus aliran

b) *Head* gesekan/ friksi (h_f)

Ini merupakan kehilangan yang diperlukan untuk mengatasi tahanan untuk mengalir dalam pipa dan sambungan-sambungan. *Head* ini tergantung pada ukuran, kondisi dan jenis pipa, jumlah dan jenis sambungan, debit aliran, dan sifat dari cairan. *Head* gesekan/ friksi sebanding dengan kwadrat debit . *Loop* tertutup sistim sirkulasi hanya menampilkan *head* gesekan/ friksi (bukan *head* statik).

Dalam hampir kebanyakan kasus, head total sistim merupakan gabungan antara *head* statik dan *head* gesekan.

3) Kecepatan Spesifik Pompa

Performansi pompa sentrifugal (kecuali turbin regeneratif) dihubungkan pada suatu parameter yang disebut kecepatan spesifik (specific speed). Seperti yang didefinisikan oleh The Hydraulic Institute hal ini merupakan hubungan antara kapasitas, tinggi tekan, dan kecepatan pada efisiensi optimum yang mengklasifikasikan impeller pompa dengan respek terhadap persamaan geometris. Kecepatan spesifik merupakan sebuah bilangan aljabar yang dinyatakan sebagai: (Sularso, 1978)

$$N_s = N \cdot \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Dimana:

N_s = Kecepatan spesifik pompa (m/min)

N = Putaran pompa (rpm)

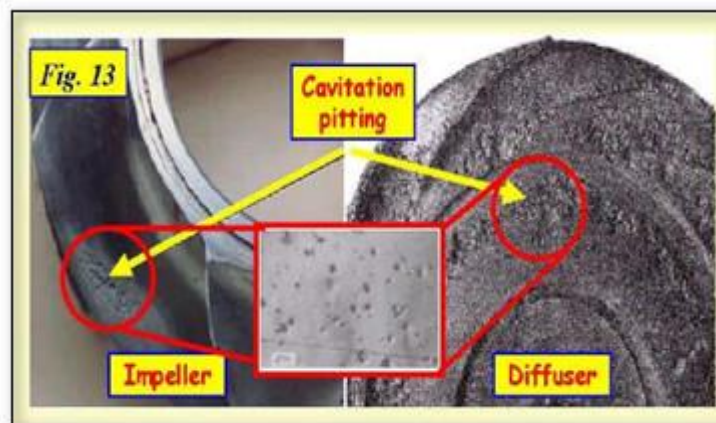
Q = Kapasitas pompa (m³/min)

H = Head total pompa (m)

4) Kavitasi

Kavitasi adalah peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung uap di dalam cairan yang terjadi akibat turunnya tekanan cairan sampai di bawah tekanan uap jenuh cairan pada suhu operasi pompa. Gelembung uap yang terbentuk dalam proses ini mempunyai siklus yang sangat singkat. Knapp (Karassik dkk, 1976) menemukan bahwa mulai terbentuknya gelembung sampai gelembung pecah hanya memerlukan waktu sekitar 0,003 detik. Gelembung ini akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih

besar daripada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung tersebut akan pecah dan akan menyebabkan shock pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan. Peristiwa ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan mekanis pada pompa.



Gambar 2.34 Kerusakan permukaan sudu impeller akibat kavitasi

5) Net Positive Suction Head (NPSH)

Kavitasi akan terjadi bila tekanan statis suatu aliran turun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Untuk menghindari kavitasi diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran didalam pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Dalam hal ini perlu diperhatikan dua macam tekanan yang memegang peran penting. Pertama, tekanan yang ditentukan oleh kondisi lingkungan dimana pompa dipasang, dan kedua, tekanan yang ditentukan oleh keadaan aliran didalam pompa.

Berhubungan dengan dua hal diatas maka didefinisikanlah suatu *Net Positive Suction Head* (NPSH) atau *Head Isap Positif Neto* yang dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap

kavitasi. Ada dua macam NPSH, yaitu NPSH yang tersedia pada sistem (instalasi), dan NPSH yang diperlukan oleh pompa. Pompa terhindar dari kavitasi jika NPSH yang tersedia lebih besar daripada NPSH yang dibutuhkan.

a. *Net Positive Suction Head Available* (NPSH yang tersedia)

NPSH yang tersedia adalah head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut. Dalam hal pompa yang mengisap zat cair dari tempat terbuka, maka besarnya NPSH yang tersedia dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_L$$

Dimana:

h_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan atmosfer (kg/m^2)

P_v = Tekanan uap jenuh (kg/m^2)

γ = Berat zat cair per satuan volume (kg/m^3)

h_s = Head isap statis (m), h_s adalah positif (bertanda +) jika pompa terletak diatas permukaan zat cair, dan negatif (bertanda -) jika dibawah.

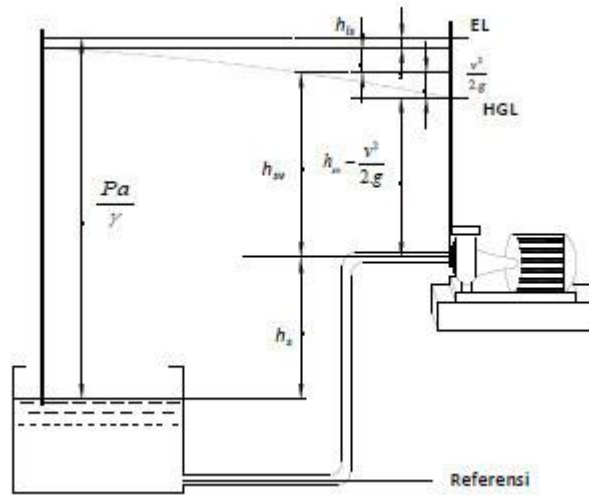
h_L = Kerugian head didalam pipa isap (m).

Jika zat cair diisap dari tangki tertutup, maka harga P_a menyatakan tekanan mutlak yang bekerja pada permukaan zat cair didalam tangki tertutup tersebut. Khususnya jika tekanan diatas permukaan zat cair sama dengan tekanan uap jenuhnya, maka $P_a = P_v$. Dalam hal pompa yang mengisap zat cair dari tempat terbuka, maka besarnya NPSH yang tersedia dapat dituliskan sebagai berikut:

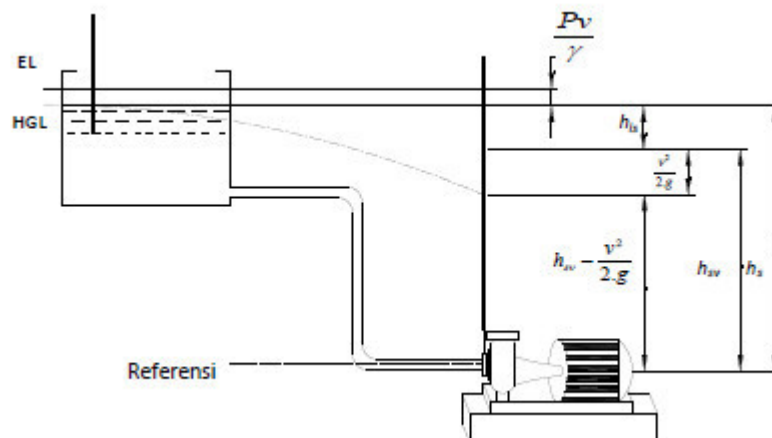
$$h_{sv} = -h_s - h_L$$

Harga h_s adalah negatif (-) karena permukaan zat cair didalam tangki lebih tinggi dari pada sisi isap pompa.

Pemasangan pompa semacam ini diperlukan untuk mendapatkan harga NPSHA positif.



Gambar 2.35 Posisi pompa di atas permukaan fluida yang diisap



Gambar 2.36 Posisi pompa dibawah permukaan fluida yang diisap

- b. *Net Positive Suction Head Required* (NPSH yang diperlukan)
Tekanan terendah didalam pompa biasanya terdapat disuatu titik dekat setelah sisi masuk sudu impeller. Ditempat tersebut,tekanan adalah lebih rendah dari pada tekanan pada lubang isap pompa.Hal ini disebabkan oleh kerugian

head dinosel isap,kenaikan kecepatan aliran karena luas penampang yang menyempit,dan kenaikan kecepatan aliran karena tebal sudu setempat.

Agar tidak terjadi pengupuan zat cair,maka tekanan pada lubang masuk pompa dikurangi dengan penurunan tekanan didalam pompa harus lebih tinggi dari pada tekanan uap zat cair.Head tekanan yang besar sama dengan penurunan tekanan ini disebut NPSH yang diperlukan/net positive suction head required.Besarnya NPSH yang diperlukan berbeda untuk setiap pompa.Untuk suatu pompa tertentu , NPSH yang diperlukan berubah menurut kapasitas dan putarannya.Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi,maka harus dipenuhi syarat NPSH yang tersedia lebih besar dari pada NPSH yang diperlukan.Harga NPSH yang diperlukan harus diperoleh dari pabrikan pompa yang bersangkutan.Namun untuk penaksiran secara kasar,NPSH yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{H_{svN}}{H_N}$$

Dimana:

σ = Koefisien kavitasi *Thoma*

H_{svN} = NPSH yang diperlukan (m)

H_N = Head total pompa pada titik efisiensi maksimum (m).

Kecepatan spesifik sisi isap (S) dapat juga digunakan sebagai pengganti Koefisien kavitasi *Thoma* dalam menghitung NPSH yang diperlukan.Hubungannya dapat dilihat dalam persamaan:

$$H_{svN} = \left(\frac{n}{S}\right)^{4/3} \cdot Q_N^{2/3}$$

Dimana:

H_{svN} = NPSH yang diperlukan (m)

n = Putaran pompa (rpm)

Q_N = Kapasitas pompa (m^3/min)

S = Kecepatan spesifik sisi isap (m/min).

$$\sigma = \frac{H_{svN}}{H_N}$$

Dimana:

σ = Koefisien kavitasi *Thoma*

H_{svN} = NPSH yang diperlukan (m)

H_N = Head total pompa pada titik efisiensi maksimum (m).

C. Pengoperasian Pompa

Dalam pembahasan mengenai *pump control* ini, terdapat dua hal penting, yaitu penentuan *controlled variable* dan *manipulated variable*.

Untuk hal pertama, yang menjadi *controlled variable* bisa flow/kapasitas, level atau pressure (upstream atau downstream) bergantung kebutuhan proses/operasi. Dari ketiga variable ini, yang paling banyak digunakan adalah flow. Jika yang digunakan adalah level (biasanya level inlet/outlet vessel), maka output controller bisa langsung menggerakkan control valve atau bisa juga melalui flow control (konfigurasi cascade).

Hal kedua yaitu *manipulated variable*, secara teoritis terdapat empat opsi, yaitu suction flow/pressure melalui *suction throttling*, discharge flow/pressure melalui *discharge throttling*, recycle flow melalui *recycle throttling* dan *variable speed*.

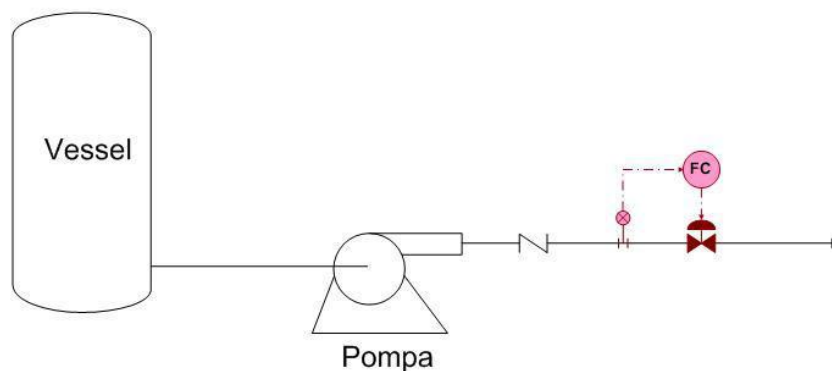
1. Suction throttling

Suction throttling, yaitu dengan menempatkan control valve di suction/inlet pompa. Secara teoritis ini akan mengubah performance

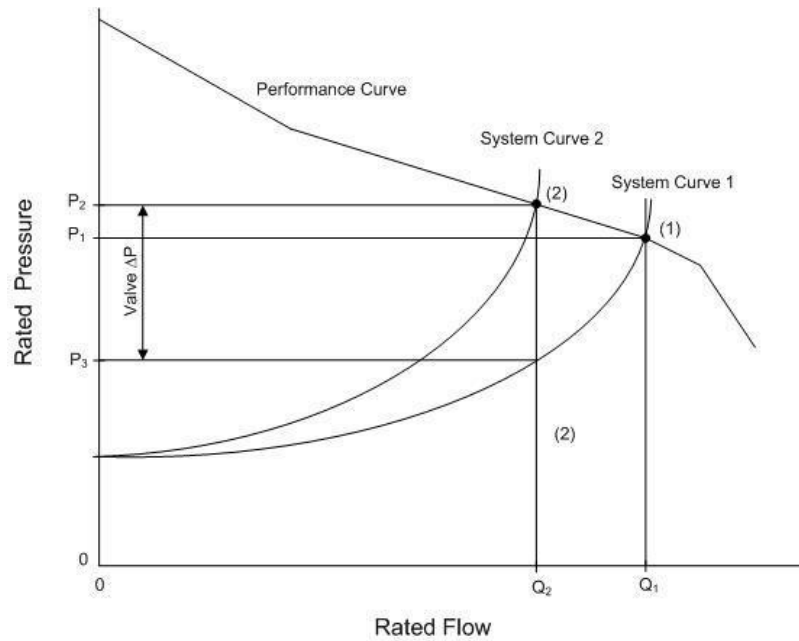
curve, akan tetapi cara ini sangat fatal karena dapat memicu terjadinya kavitasi, sehingga cara ini tidak pernah digunakan.

2. *Discharge throttling*

Dengan discharge throttling berarti mengubah system curve, seperti diperlihatkan pada gambar 2.37 berikut. Misalnya pada suatu saat, pompa beroperasi pada titik (1), yaitu pada flow Q_1 dan pressure P_1 . Kemudian dikehendaki, flow berkurang menjadi Q_2 , sehingga titik operasi digeser ke titik (2), yaitu pada flow Q_2 dan pressure P_2 . Ini dilakukan dengan menutup sedikit discharge control valve (menutup control valve berarti menggeser/memutar system curve ke kiri). Perhatikan gambar tersebut, P_2 adalah pressure pada keluaran/discharge pompa sebelum control valve, sedangkan pressure sesudah control valve sebesar P_3 , sehingga pressure yang hilang (drop) di control valve sebesar $P_2 - P_3$.



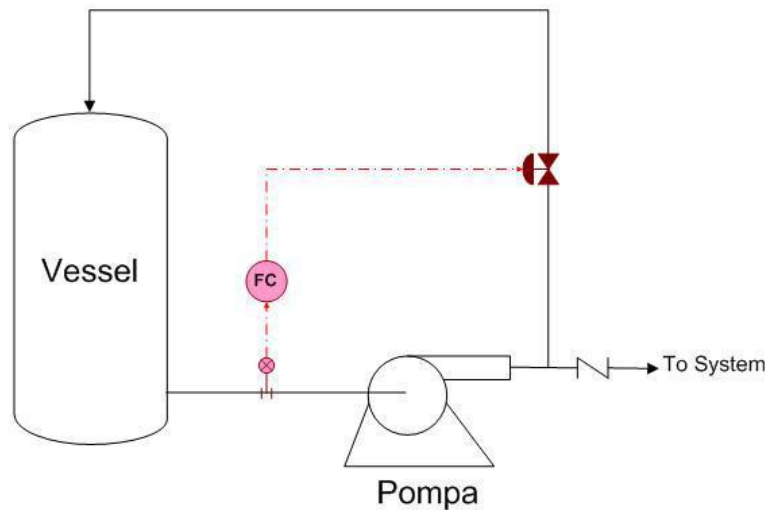
Gambar 2.37 Skema pengontrolan *Discharge throttling*



Gambar 2.38 Kurva sistem pengontrolan discharge throttling

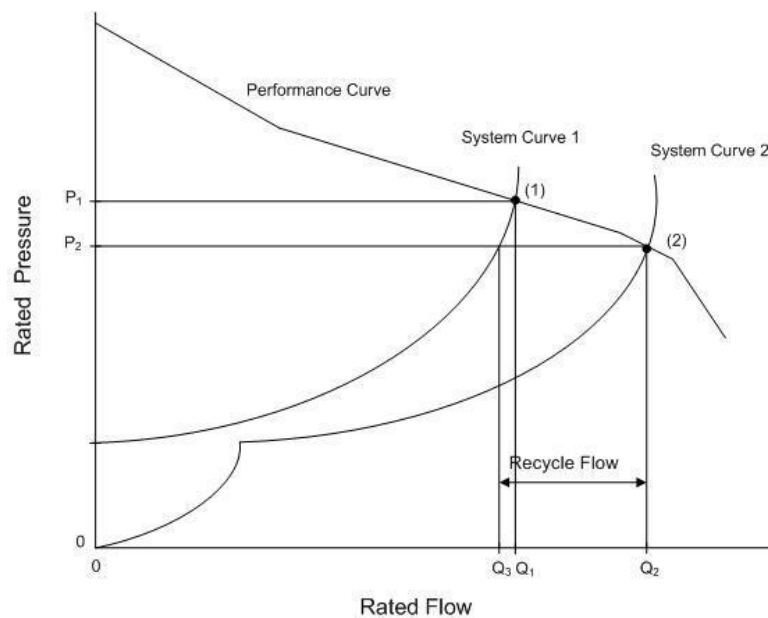
3. Recycle control

Dalam konfigurasi kontrol ini, sebagian cairan di saluran keluar dikembalikan ke saluran masuk, seperti diperlihatkan pada gambar berikut. *Recycle control* ini berguna untuk mencegah terjadinya kavitasi karena kekurangan flow/pressure pada suction pompa.



Gambar 2.39 Skema pengontrolan Recycle control

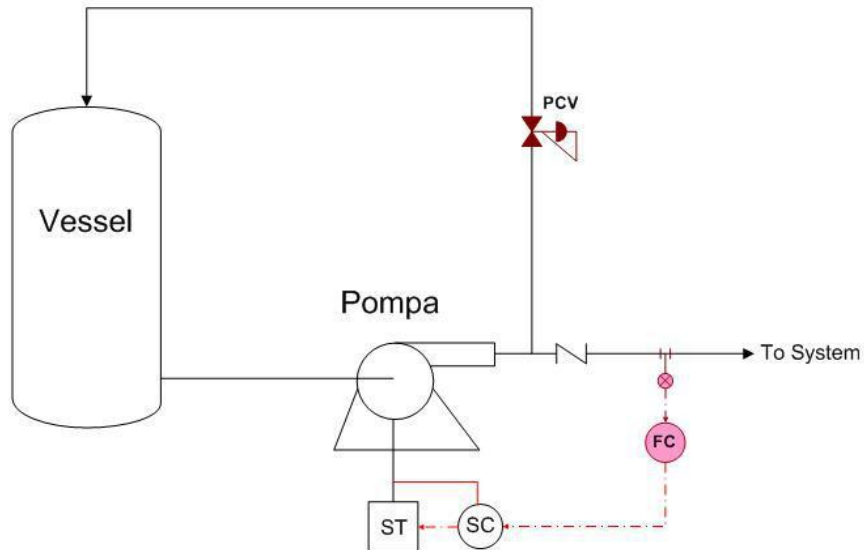
Sama dengan pada discharge throttling, prinsip dari recycle control adalah juga merubah/menggeser system curve. Seperti diperlihatkan pada gambar 2.40 berikut, misalnya pada suatu saat, pompa beroperasi pada titik (1), yaitu pada flow Q_1 dan pressure P_1 . Kemudian karena suatu dan lain hal, level vessel turun sehingga flow yang masuk ke pompa (suction flow) juga turun di bawah setpoint FC. Sebagai reaksi dari penurunan suction flow ini, FC akan membuka recycle control valve sehingga titik operasi pompa bergeser ke titik (2), yaitu pada flow Q_2 dan pressure P_2 . Perhatikan gambar tersebut, Q_2 adalah discharge flow sebelum recycle tie, sedangkan flow sesudah recycle tie yang masuk ke system adalah Q_3 , sedangkan recycle flow adalah sebesar $Q_2 - Q_3$. Bagian bawah curve 2 yang agak berbeda menggambarkan flow yang melalui recycle valve sebelum check valve membuka.



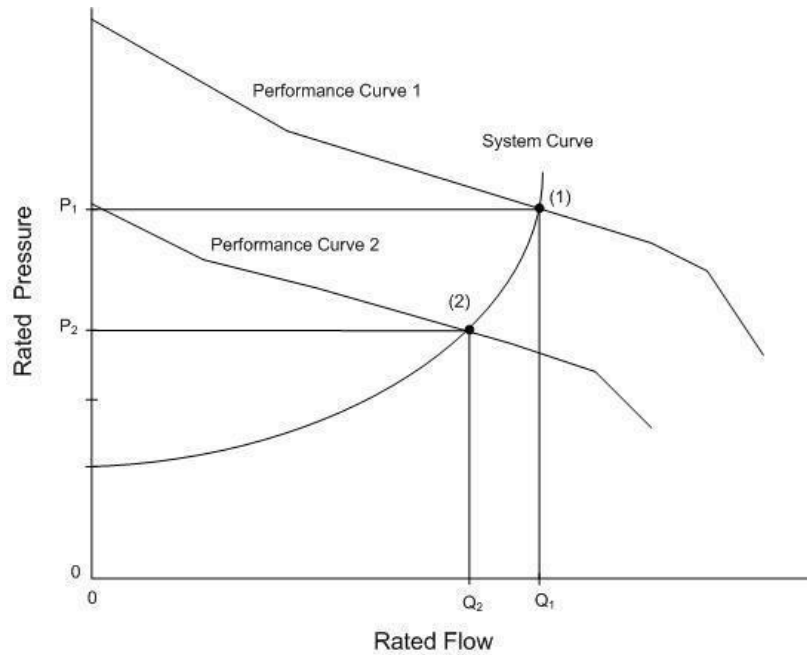
Gambar 2.40 Kurva sistem pengontrolan Recycle control

4. Speed control

Cara lain untuk menyesuaikan pompa dengan system yang dilayaninya adalah melalui speed control, yang berarti dengan merubah/menggeser performance curve, seperti gambar berikut.



Gambar 2.41 Skema pengontrolan speed control

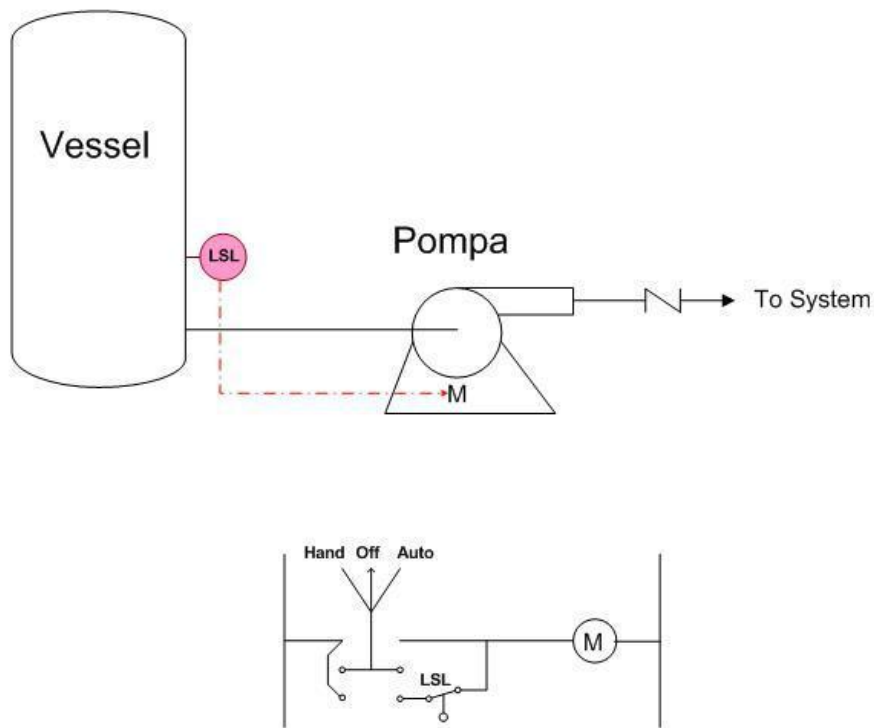


Gambar 2.42 Kurva sistem pengontrolan Speed control

Misalnya pada suatu saat, pompa beroperasi pada titik (1), yaitu pada flow Q_1 dan pressure P_1 . Selanjutnya andaikan discharge flow hendak diubah dari Q_1 ke Q_2 , maka yang dilakukan adalah hanya dengan mengurangi speed pompa, sehingga titik operasi bergeser ke titik (2), yaitu pada flow Q_2 dan pressure P_2 .

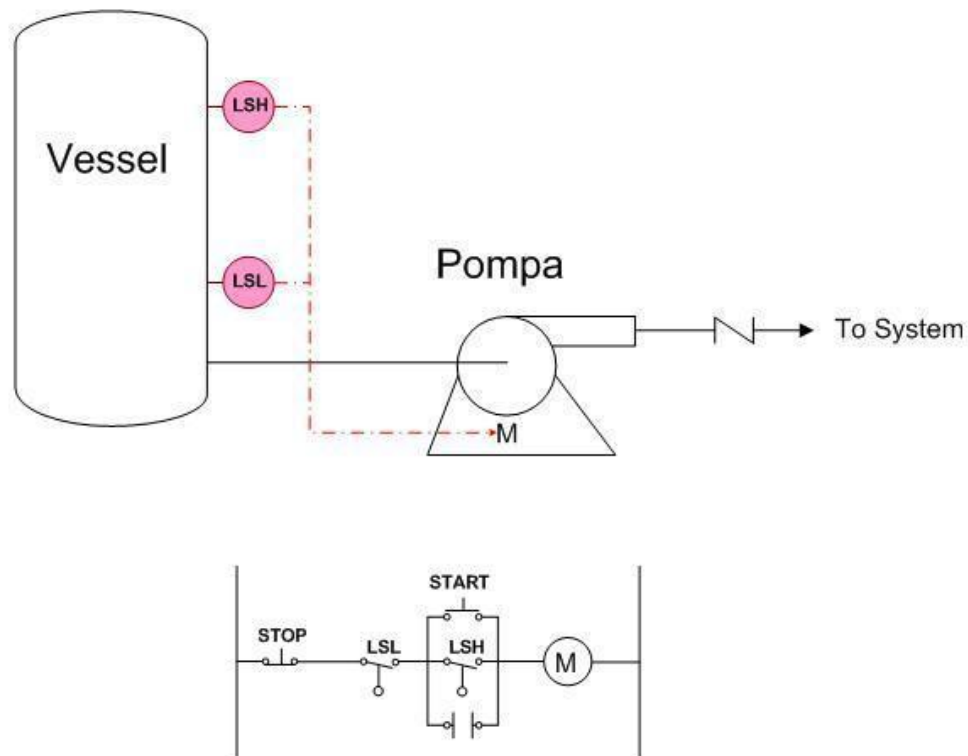
5. On-off control.

Selain konfigurasi kontrol yang sudah dibahas di atas, jenis kontrol lain yang juga banyak digunakan adalah *on-off control*. Jenis kontrol ini digunakan apabila tidak dibutuhkan kontrol yang presisi. Salah satu contohnya adalah system control pompa-pompa seperti pada gambar 2.43 berikut. LSL switch akan membuka/off jika level berada di bawah setpoint.



Gambar 2.43 Skema pengontrolan Low level switch

Apabila dikehendaki agar level selalu berada dalam rentang atas (high level/on) dan bawah (low level/off), maka konfigurasi berikut dapat digunakan. Dalam konfigurasi ini, operator bisa menjalankan (start) dan menghentikan (stop) pompa apabila level vessel berada pada rentang atas dan bawah sesuai setting. Operator tidak dapat menghentikan pompa apabila level vessel melebihi batas atas (high level), begitu pula sebaliknya ia tidak dapat menjalankan pompa apabila level vessel kurang dari batas bawah (low level).



Gambar 2.43 Skema pengontrolan Low and High level switch

D. Evaluasi

I. Pengujian Pompa Sentrifugal (Tunggal, seri, dan Paralel)

1) Tujuan pengujian :

Untuk mendapatkan karakteristik dari :

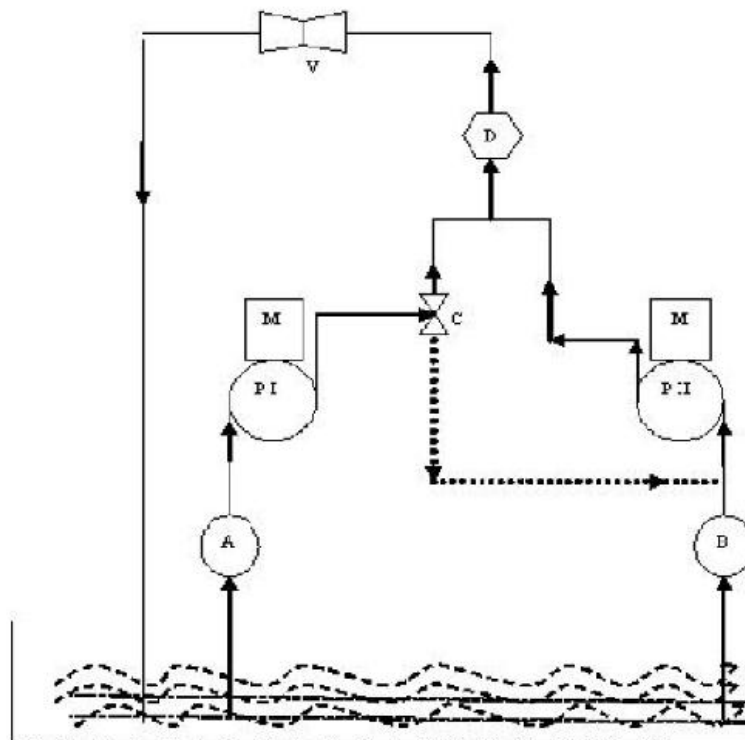
- a. Kapasitas terhadap head
- b. Kapasitas terhadap efisiensi
- c. Kapasitas terhadap daya
- d. Kapasitas terhadap torsi

2) Alat-alat untuk pengujian

Instalasi pengujian terdiri dari :

- 2 pompa sentrifugal
- 2 dinamo meter (neraca pegas)
- 1 buah Manometer raksa dan manometer jenis bourdon

- Jaringan pipa dilengkapi dengan 2 katup isap untuk dua pompa
- Katup pengatur aliran tunggal, seri dan paralel
- Katup pengatur pengeluaran
- Venturi meter



3) Langkah Percobaan

1. Periksa kedudukan alat ukur agar tidak menyimpang.
2. Pastikan tangki air terisi
3. Pastikan dinamometer dalam keadaan setimbang
4. Katup A buka, katup B tertutup (pengujian pompa tunggal)
5. Pompa I dihidupkan
6. Besar putaran dilihat pada tachometer digital. Jaga putaran tetap konstan
7. Dalam keadaan katup buang tertutup catat semua data pada alat ukur

8. Ulangi langkah 7 dengan membuka katup dengan putaran 180° , untuk tiap pengambilan data. Lakukan hingga terbuka penuh
9. Untuk mengakhiri pengujian putar perlahan pengatur kecepatan agar kecepatan melambat. Katup buang ditutup kembali. Matikan pompa.
10. Pada pengujian pompa seri katup C diubah kedudukannya 180° dan pompa II dihidupkan. Langkah 7 – 8 diulangi lagi
11. Pada pengujian pompa paralel katup C diubah kedudukannya 180° (seperti kedudukan awal), katup B dibuka dan pompa II dihidupkan. Langkah 7 – 8 diulangi lagi
12. Percobaan selesai.

II. Tes Tertulis

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Pompa !
2. Apa fungsi Pompa ?
3. Jelaskan perbedaan Pompa perpindahan positif dengan Pompa dinamik!
4. Sebutkan 2 jenis Pompa perpindahan positif !
5. Jelaskan prinsip kerja Pompa sentrifugal !
6. Jelaskan prinsip kerja Pompa torak/resiprok !
7. Sebutkan komponen-komponen utama Pompa torak !
8. Sebutka komponen-komponen utama Pompa sentrifugal !
9. Sebutkan karakteristik Pompa torak !
10. Sebutkan karakteristik Pompa sentrifugal !

Bab 3

Ketel Uap (Boiler)



Uap atau steam merupakan gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan steam adalah air bersih.

Proses untuk menghasilkan uap yang sederhana dapat kalian temui pada saat orang tua kalian memasak air atau pada saat menanak nasi. Pada proses tersebut dapat kalian amati, uap akan keluar dari tempat memasak air atau memasak nasi tadi. Pada saat uap sudah keluar berarti telah terjadi proses perubahan wujud dari zat cair menjadi uap air akibat pemanasan.

Uap yang dihasilkan pada proses tersebut jika kita simpan dalam suatu wadah/tabung, maka akan dihasilkan tenaga yang cukup besar. Sehingga dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari.

Untuk lebih jelasnya tentang pemanfaatan tenaga uap ini. Dapat kalian pelajari pada uraian tentang boiler.

A. Pengertian Boiler / Ketel Uap

Boiler merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam berupa energi

kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik pada komponen-komponennya.



Gambar 3.1 Konstruksi Boiler

B. Sistem pada Boiler

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar.

1. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem steam.

2. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler, steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan.
3. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Cara kerja boiler adalah sebagai berikut:

1. Air yang disuplay dari feed water tank ke dalam boiler dengan menggunakan pompa sehingga air mencapai level yang telah ditentukan, maka feed pump ini start atau stop secara otomatis selama level air didalam boiler masih bergeser turun mencapai batas yang telah ditentukan.
2. Selanjutnya untuk proses pembakaran dimana fuel pump burner akan bekerja menekan bahan ke dalam ruang chamber, sehingga mengubah bentuk seperti kabut dan menyala untuk proses pemanasan air.

C. Pengolahan Air Umpan Boiler

Memproduksi steam yang berkualitas tergantung pada pengolahan air yang benar untuk mengendalikan kemurnian steam, endapan dan korosi. Sebuah boiler merupakan bagian dari sistem boiler, yang menerima semua bahan pencemar dari sistem di depannya. Kinerja boiler, efisiensi dan umur layanan merupakan hasil langsung dari pemilihan dan pengendalian air umpan yang digunakan dalam boiler.

Jika air umpan masuk boiler, kenaikan suhu dan tekanan menyebabkan komponen air memiliki sifat yang berbeda. Hampir semua

komponen dalam air umpan dalam keadaan terlarut. Walau demikian dibawah kondisi panas dan tekanan hampir seluruh komponen terlarut keluar dari larutan sebagai padatan partikulat, kadang-kadang dalam bentuk Kristal dan pada waktu yang lain dalam bentuk amorph. Jika kelarutan komponen spesifik dalam air terlewati, maka akan terjadi pembentukan kerak dan endapan. Air boiler harus cukup bebas dari pembentukan endapan padat supaya terjadi perpindahan panas yang cepat dan efisien dan harus tidak korosif terhadap logam boiler.

1. Jenis-jenis pengolahan air boiler :

1) Pengolahan Air Internal

Pengolahan air internal adalah penambahan bahan kimia ke boiler untuk mencegah pembentukan kerak. Senyawa pembentuk kerak diubah menjadi lumpur yang mengalir bebas, yang dapat dibuang dengan blowdown. Metode ini terbatas pada boiler dimana air umpan mengandung garam sadah yang rendah, dengan tekanan rendah, kandungan TDS tinggi dalam boiler dapat ditoleransi, dan jika jumlah airnya sedikit. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka laju blowdown yang tinggi diperlukan untuk membuang lumpur. Hal tersebut menjadi tidak ekonomis sehubungan dengan kehilangan air dan panas. Jenis sumber air yang berbeda memerlukan bahan kimia yang berbeda pula. Senyawa seperti sodium karbonat, sodium aluminat, sodium fosfat, sodium sulfit, dan senyawa organik dan anorganik seluruhnya dapat digunakan untuk maksud ini. Untuk setiap kondisi air diperlukan bahan kimia tertentu. Harus dikonsultasikan dengan seorang spesialis dalam menentukan bahan kimia yang paling cocok untuk digunakan pada setiap kasus. Pengolahan air hanya dengan pengolahan internal tidak direkomendasikan.

2) Pengolahan Air Eksternal

Pengolahan eksternal digunakan untuk membuang padatan tersuspensi, padatan terlarut (terutama ion kalsium dan magnesium

yang merupakan penyebab utama pembentukan kerak) dan gas-gas terlarut (oksigen dan karbondioksida). Proses perlakuan eksternal yang ada adalah:

- a. Pertukaran ion
- b. Penghilangan mineral/demineralisasi.
- c. De-aerasi

Sebelum digunakan cara diatas, perlu untuk membuang padatan dan warna dari bahan baku air, sebab bahan tersebut dapat mengotori resin yang digunakan pada bagian pengolahan selanjutnya. Metode pengolahan awal adalah sedimentasi dalam tangki pengendapan atau pengendapan dalam clarifiers dengan bantuan koagulan dan flokulan. Penyaring pasir bertekanan, dengan aerasi untuk menghilangkan karbondioksida dan besi, dapat digunakan untuk menghilangkan garam-garam logam dari air sumur. Tahap pertama pengolaha adalah menghilangkan garam sadah garam non sadah. Penghilangan hanya garam sadah disebut pelunakan, sedangkan penghilangan total garam dari larutan disebut penghilangan mineral atau demineralisasi.

Proses pengolahan air eksternal antara lain:

- a) Proses Pertukaran Ion (Plant Pelunakan).

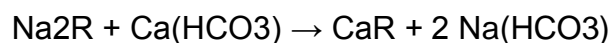
Pada proses pertukaran ion, kesadahan dihilangkan dengan melewati air pada bed zeolit alam atau resin sintetik dan tanpa pembentukan endapan. Jenis paling sederhana adalah "pertukaran basa" dimana ion kalsium dan magnesium ditukar dengan ion sodium. Setelah jenuh, dilakukan regenerasi dengan sodium klorida. Garam sodium mudah larut, tidak membentuk kerak dalam boiler. Dikarenakan penukar basa hanya menggantikan kalsium dan magnesium dengan sodium, maka

tidak mengurangi kandungan TDS, dan besarnya blowdown. Penukar basa ini juga tidak menurunkan alkalinya.

b) Demineralisasi (Penghilangan mineral).

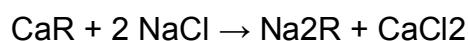
Demineralisasi merupakan penghilangan lengkap seluruh garam. Hal ini dicapai dengan menggunakan resin “kation”, yang menukar kation dalam air baku dengan ion hydrogen menghasilkan asam hidroklorida, asam sulfat dan asam karbonat. Asam karbonat dihilangkan dalam menara degassing dimana udara dihembuskan melalui air asam. Berikutnya, air melewati resin “anion”, yang menukar anion dengan asam mineral (misalnya asam sulfat) dan membentuk air. Regenerasi kation dan anion perlu dilakukan pada jangka waktu tertentu dengan menggunakan asam mineral dan soda kaustik. Penghilangan lengkap silika dapat dicapai dengan pemilihan resin anion yang benar. Proses pertukaran ion, jika diperlukan, dapat digunakan untuk demineralisasi yang hampir total, seperti untuk boiler pembangkit tenaga listrik.

Reaksi pelunakan:



Reaksi

regenerasi



c) *Deaerasi*

Dalam de-aerasi, gas terlarut seperti oksigen dan karbondioksida dibuang dengan pemanasan awal air umpan masuk ke boiler. Seluruh air alam mengandung gas terlarut dalam larutannya. Gas-gas tertentu seperti karbon dioksida dan oksigen sangat meningkatkan korosi. Bila dipanaskan dalam sistem boiler, karbondioksida (CO₂) dan oksigen (O₂) dilepaskan

sebagai gas dan bergabung dengan air (H_2O) membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Penghilangan oksigen, karbondioksida dan gas lain yang tidak dapat terembunkan dari air umpan boiler sangat penting bagi umur peralatan boiler dan juga keamanan operasi. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan umur peralatan dan pemipaan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke boiler akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada boiler dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas.

Tabel 3.1 Spesifikasi air umpan boiler

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
pH	Unit	10.5 – 11.5
Conductivity	$\mu\text{mhos/cm}$	5000, max
TDS	Ppm	3500, max
P – Alkalinity	Ppm	-
M – Alkalinity	Ppm	800, max
O – Alkalinity	Ppm	$2.5 \times SiO_2$, min
T. Hardness	Ppm	-
Silica	Ppm	150, max
Besi	Ppm	2, max
Phosphat residual	Ppm	20 – 50
Sulfite residual	Ppm	20 – 50
pH condensate	Unit	8.0 – 9.0

NALCOH. Reference

2. Pengendalian Endapan

Endapan dalam boiler dapat diakibatkan dari kesadahan air umpan dan hasil korosi dari sistem kondensat dan air umpan. Kesadahan air umpan dapat terjadi karena kurangnya sistem pelunakan. Endapan dan korosi menyebabkan kehilangan efisiensi yang dapat menyebabkan kegagalan dalam pipa boiler dan ketidakmampuan memproduksi steam.

Endapan bertindak sebagai isolator dan memperlambat perpindahan panas. Sejumlah besar endapan diseluruh boiler dapat mengurangi perpindahan panas yang secara signifikan dapat menurunkan efisiensi boiler. Berbagai jenis endapan akan mempengaruhi efisiensi boiler secara berbeda-beda, sehingga sangat penting untuk menganalisis karakteristik endapan. Efek pengisolasian terhadap endapan menyebabkan naiknya suhu logam boiler dan mungkin dapat menyebabkan kegagalan pipa karena pemanasan berlebih.

Bahan kimia yang paling penting dalam air yang mempengaruhi pembentukan endapan dalam boiler adalah garam kalsium dan magnesium yang dikenal dengan garam sadah. Kalsium dan magnesium bikarbonat larut dalam air membentuk larutan basa/kali dan garam-garam tersebut dikenal dengan kesadahan alkali. Garam-garam tersebut terurai dengan pemanasan, melepaskan karbondioksida dan membentuk lumpur lunak, yang kemudian mengendap. Hal ini dikenal dengan kesadahan sementara.

Kesadahan sementara adalah kesadahan yang dapat dibuang dengan pendidihan. Kalsium dan magnesium sulfat, klorida dan nitrat, dan lain-lain. Jika dilarutkan dalam air secara kimiawi akan menjadi netral dan dikenal dengan kesadahan non alkali. Bahan tersebut disebut bahan kimia sadah permanen dan membentuk kerak yang keras pada permukaan boiler yang sulit dihilangkan. Bahan kimia sadah non-alkali terlepas dari larutannya karena penurunan daya larut dengan meningkatnya suhu, dengan pemekatan karena penguapan yang berlangsung dalam boiler, atau dengan perubahan bahan kimia menjadi senyawa yang kurang larut.

Keberadaan silika dalam air boiler dapat meningkatkan pembentukan kerak silika yang keras. Silika juga berinteraksi dengan garam kalsium dan magnesium, membentuk silikat kalsium dan magnesium dengan daya konduktivitas panas yang rendah. Silika dapat meningkatkan endapan padasirip turbin, setelah terbawa dalam bentuk

tetes air dalam steam, atau dalam bentuk yang mudah menguap dalam steam pada tekanan tinggi.

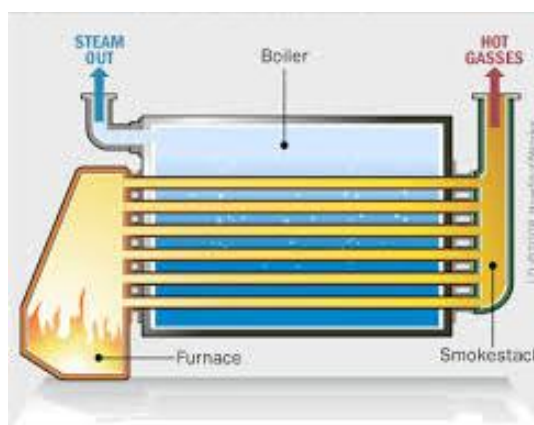
D. Jenis - jenis Boiler

Setelah mengetahui proses singkat, sistem boiler, dan komponen pembentuk sistem boiler, perlu diketahui keanekaragaman boiler. Berbagai bentuk boiler telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari produk-produk boiler sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang boiler yang mempengaruhi lingkungan dan produk steam seperti apa yang akan dihasilkan. Berikut klasifikasi boiler yang telah dikembangkan:

1. Berdasarkan tipe pipa :

1) Fire Tube Boiler

Fire Tube Boiler Adalah jenis boiler yang pemanasannya berada didalam pipa sedangkan airnya berada dibagian luar pipa, lalu bila ditinjau dari segi susunan pipa phase aliran gas atau udara panas hasil pembakaran dapat dibagi menjadi:



Gambar 3.2 Boiler pipa api

a. Boiler Two Phase

Yang dimaksud dengan type/ model *boiler two phase* adalah susunan kelompok pipa lorong api dari ruang chamber menuju ke pipa dan langsung keluar ke cerobong pembuang udara bebas.

b. *Boiler Three Phase*

Yang dimaksud dengan type/ model boiler there phase adalah kondisi kelompok susunan pipa lorong api atau fire tube. Boiler terdapat 2 kali tahapan saluran sebagai surface area perpindahan panas dari sumber pembakaran (ruang chamber) akan menuju ke cerobong pembuangan hasil pembakaran dengan susunan sebagai berikut:

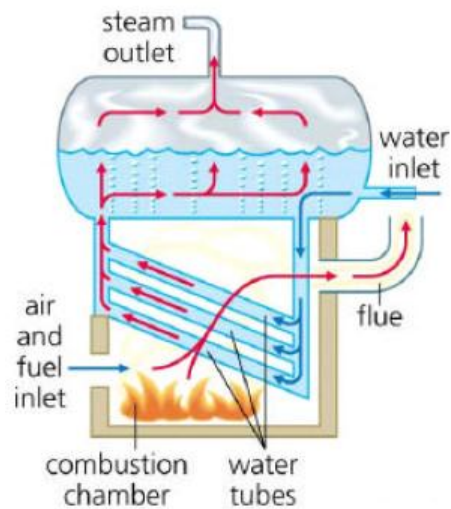
1. Phase pertama adalah ruang chamber.
2. Phase kedua adalah pipa lorong api kelompok tengah.
3. Phase ketiga adalah lorong api paling atas langsung keluar kecerobong.

c. *Boiler Four Phase*

Untuk boiler empat phase keatas dimana sekat kelompok pipa terdapat 3 kali susunan ditambah 1 kali dari ruang chamber. Dan untuk jenis / type boiler ini biasanya termasuk katagori special boiler yang mempunyai kapasitas besar.

2) **Water Tube Boiler**

Water tube boiler adalah merupakan type yang pada umumnya berkapasitas besar serta bertekanan yang cukup tinggi dan biasa sering digunakan di pembangkit listrik tenaga uap dan banyak dipakai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Karena dalam system proses kerja kerja dari water tube boiler adalah air yang akan dipanaskan berada didalam pipa, sedangkan api berada dibagian luar pipa. Jadi terlihat perbedaan antara water tube dan fire tube boiler yang sangat nyata, terutama dari sisi model kontruksi serta pemanasan air itu sendiri.



Gambar 3.3 Diagram sederhana Water Tube Boiler

Tabel 3.2. Keuntungan dan kerugian boiler berdasarkan tipe pipa.

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
1	Fire Tube	Proses pemasangan mudah dan cepat, Tidak membutuhkan setting khusus	Tekanan operasi steam terbatas untuk tekanan rendah 18 bar
		Investasi awal boiler ini murah	Kapasitas steam relatif kecil (13.5 TPH) jika dibandingkan dengan water tube
		Bentuknya lebih compact dan portable	Tempat pembakarannya sulit dijangkau untuk dibersihkan, diperbaiki, dan diperiksa kondisinya.

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
		Tidak membutuhkan area yang besar untuk 1 HP boiler	Nilai effisiensinya rendah, karena banyak energi kalor yang terbuang langsung menuju stack
2	Water Tube	Kapasitas steam besar sampai 450 TPH	Proses konstruksi lebih detail
		Tekanan operasi mencapai 100 bar	Investasi awal relatif lebih mahal
		Nilai effisiensinya relatif lebih tinggi dari fire tube boiler	Penanganan air yang masuk ke dalam boiler perlu dijaga, karena lebih sensitif untuk sistem ini, perlu komponen pendukung untuk hal ini
		Tungku mudah dijangkau untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan.	Karena mampu menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang lebih besar, maka konstruksinya dibutuhkan area yang luas

2. Berdasarkan bahan bakar yang digunakan :

1) *Solid Fuel*

Tipe boiler bahan bakar padat memiliki karakteristik : harga bahan baku pembakaran relatif lebih murah dibandingkan dengan boiler yang menggunakan bahan bakar cair dan listrik. Nilai efisiensi dari tipe ini lebih baik jika dibandingkan dengan boiler tipe listrik.

Cara kerja : pemanasan yang terjadi akibat pembakaran antara campuran bahan bakar padat (batu bara, baggase, rejected product, sampah kota, kayu) dengan oksigen dan sumber panas.

2) *Oil Fuel*

Tipe boiler bahan bakar cair memiliki karakteristik : harga bahan baku pembakaran paling mahal dibandingkan dengan semua tipe. Nilai efisiensi dari tipe ini lebih baik jika dibandingkan dengan boiler bahan bakar padat dan listrik.

Cara kerja : pemanasan yang terjadi akibat pembakaran antara campuran bahan bakar cair (solar, IDO, residu, kerosin) dengan oksigen dan sumber panas.

3) *Gaseous Fuel*

Tipe boiler bahan bakar gas memiliki karakteristik : harga bahan baku pembakaran paling murah dibandingkan dengan semua tipe boiler. Nilai efisiensi dari tipe ini lebih baik jika dibandingkan dengan semua tipe boiler berdasarkan bahan bakar.

Cara kerja : pembakaran yang terjadi akibat campuran bahan bakar gas (LNG) dengan oksigen dan sumber panas.

4) *Electric*

Tipe boiler listrik memiliki karakteristik : harga bahan baku pemanasan relatif lebih murah dibandingkan dengan boiler yang menggunakan bahan bakar cair. Nilai efisiensi dari tipe ini paling rendah jika dibandingkan dengan semua tipe boiler berdasarkan bahan bakarnya.

Cara kerja : pemanasan yang terjadi akibat sumber listrik yang menyuplai sumber panas.

Tabel 3.3. Keuntungan dan kerugian boiler berdasarkan bahan bakar.

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
1	Solid Fuel	Bahan baku mudah didapatkan.	Sisa pembakaran sulit dibersihkan
		Murah konstruksinya.	Sulit mendapatkan bahan baku yang baik.
2	Oil Fuel	Sisa pembakaran tidak banyak dan lebih mudah dibersihkan.	Harga bahan baku paling mahal.
		Bahan bakunya mudah didapatkan.	Mahal konstruksinya.
3	Gaseous Fuel	Harga bahan bakar paling murah.	Mahal konstruksinya.
		Paling baik nilai effisiensinya.	Sulit didapatkan bahan bakunya, harus ada jalur distribusi.
4	Electric	Paling mudah perawatannya.	Paling buruk nilai effisiensinya.
		Mudah konstruksinya dan mudah didapatkan sumbernya.	Temperatur pembakaran paling rendah.

3. Berdasarkan kegunaan boiler :

1) Power Boiler

Tipe power boiler memiliki karakteristik : kegunaan utamanya sebagai penghasil steam sebagai pembangkit listrik, dan sisa steam digunakan untuk menjalankan proses industri.

Cara kerja : steam yang dihasilkan boiler ini menggunakan tipe water tube boiler, hasil steam yang dihasilkan memiliki tekanan dan kapasitas yang besar, sehingga mampu memutar steam turbin dan menghasilkan listrik dari generator.

2) Industrial Boiler

Tipe industrial boiler memiliki karakteristik : kegunaan utamanya sebagai penghasil steam atau air panas untuk menjalankan proses industri dan sebagai tambahan pemanas.

Cara kerja : steam yang dihasilkan boiler ini dapat menggunakan tipe water tube atau fire tube boiler, hasil steam yang dihasilkan memiliki kapasitas yang besar dan tekanan yang sedang.

3) Commercial Boiler

Tipe commercial boiler memiliki karakteristik : kegunaan utamanya sebagai penghasil steam atau air panas sebagai pemanas dan sebagai tambahan untuk menjalankan proses operasi komersial.

Cara kerja : steam yang dihasilkan boiler ini dapat menggunakan tipe water tube atau fire tube boiler, hasil steam yang dihasilkan memiliki kapasitas yang besar dan tekanan yang rendah.

4) Residential Boiler

Tipe residential boiler memiliki karakteristik : kegunaan utamanya sebagai penghasil steam atau air panas tekanan rendah yang digunakan untuk perumahan.

Cara kerja : steam yang dihasilkan boiler ini menggunakan tipe fire tube boiler, hasil steam yang dihasilkan memiliki tekanan dan kapasitas yang rendah

5) Heat Recovery Boiler

Tipe heat recovery boiler memiliki karakteristik : kegunaan utamanya sebagai penghasil steam dari uap panas yang tidak terpakai. Hasil steam ini digunakan untuk menjalankan proses industri.

Cara kerja : steam yang dihasilkan boiler ini menggunakan tipe water tube boiler atau fire tube boiler, hasil steam yang dihasilkan memiliki tekanan dan kapasitas yang besar.

Tabel 3.4. Keuntungan dan kerugian boiler berdasarkan kegunaan.

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
1	Power Boiler	Dapat menghasilkan listrik dan sisa steam dapat menjalankan proses industri.	Konstruksi awal relatif mahal.
		Steam yang dihasilkan memiliki tekanan tinggi	Perlu diperhatikan faktor safety.
2	Industrial Boiler	Penanganan boiler lebih mudah.	Steam yang dihasilkan memiliki tekanan rendah.
		Konstruksi awal relatif murah.	
3	Commercial Boiler	Penanganan boiler lebih mudah.	Steam yang dihasilkan memiliki tekanan rendah.
		Konstruksi awal relatif murah.	

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
4	Residential Boiler	Penanganan boiler lebih mudah.	Steam yang dihasilkan memiliki tekanan rendah.
		Konstruksi awal relatif murah.	
5	Heat Recovery Boiler	Penanganan boiler lebih mudah.	Steam yang dihasilkan memiliki tekanan rendah.
		Konstruksi awal relatif murah.	

4. Berdasarkan konstruksi boiler :

1) *Package Boiler*

Tipe package boiler memiliki karakteristik : perakitan boiler dilakukan di pabrik pembuat, pengiriman langsung dalam bentuk boiler.

2) *Site Erected Boiler*

Tipe site erected boiler memiliki karakteristik : perakitan boiler dilakukan di tempat akan berdirinya boiler tersebut, pengiriman dilakukan per komponen.

E. Komponen Boiler

Komponen boiler terdiri dari komponen utama dan komponen tambahan.

1. *Komponen Utama Boiler*

Secara umum komponen utama boiler terdiri dari : wall tube, steam drum/main drum, superheater, reheater dan economizer.

1) *Wall Tube*

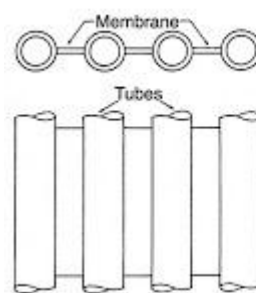
Dinding *boiler* terdiri dari *tubes* / pipa-pipa yang disatukan oleh membran, oleh karena itu disebut dengan *wall tube*. Di dalam *wall tube* tersebut mengalir air yang akan dididihkan. Dinding

pipa *boiler* adalah pipa yang memiliki ulir dalam (*ribbed tube*), dengan tujuan agar aliran air di dalam *wall tube* berpusar (turbulen), sehingga penyerapan panas menjadi lebih banyak dan merata, serta untuk mencegah terjadinya *overheating* karena penguapan awal air pada dinding pipa yang menerima panas radiasi langsung dari ruang pembakaran .

Wall tube mempunyai dua *header* pada bagian bawahnya yang berfungsi untuk menyalurkan air dari *downcomers*.

Downcomer merupakan pipa yang menghubungkan *steam drum* dengan bagian bawah *low header*.

Untuk mencegah penyebaran panas dari dalam *furnace* ke luar melalui *wall tube*, maka disisi luar dari *walltube* dipasang dinding isolasi yang terbuat dari *mineral fiber*.



Gambar 3.4 *Wall tube boiler*

2) *Steam Drum*

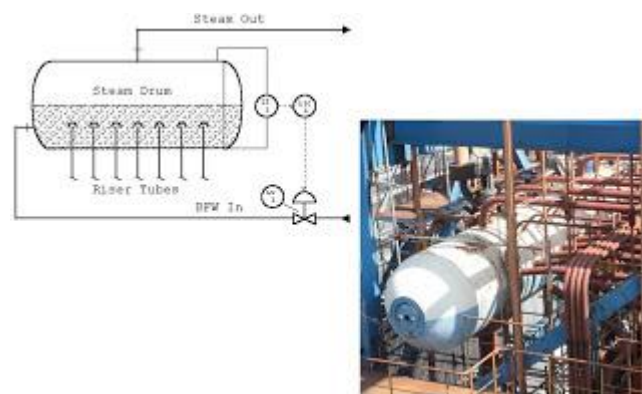
Steam Drum adalah bagian dari *boiler* yang berfungsi untuk :

1. Menampung air yang akan dipanaskan pada pipa-pipa penguap (*wall tube*), dan menampung uap air dari pipa-pipa penguap sebelum dialirkan ke *superheater*.

2. Memisahkan uap dan air yang telah dipisahkan di ruang bakar (*furnace*).
3. Mengatur kualitas air *boiler*, dengan membuang kotoran-kotoran terlarut di dalam boiler melalui *continious blowdown*.
4. Mengatur permukaan air sehingga tidak terjadi kekurangan saat *boiler* beroperasi yang dapat menyebabkan *overheating* pada pipa *boiler*.

Bagian-bagian dari *steam drum* terdiri dari : *feed pipe*, *chemical feed pipe*, *sampling pipe*, *baffle pipe*, *sparator*, *scrubber*, *dryer*, dan *dry box*.

Level air dari drum harus selalu dijaga agar selalu tetap setengah dari tinggi drum. Sehingga banyaknya air pengisi yang masuk ke *steam drum* harus sebanding dengan banyaknya uap yang meninggalkan drum, supaya level air tetap konstan.

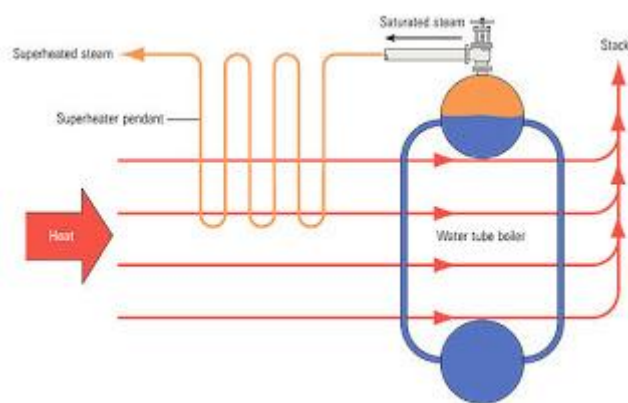


Gambar 3.5 Steam drum boiler

Pengaturan level air dilakukan dengan mengatur *Flow Control Valve*. Jika level air di dalam drum terlalu rendah, akan menyebabkan terjadinya *overheating* pada pipa *boiler*, sedangkan bila level air dalam drum terlalu tinggi, kemungkinan butir-butir air terbawa ke *Turbine* dan akan mengakibatkan kerusakan pada *Turbine*.

3) *Superheater*

Superheater berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh menjadi uap panas lanjut dengan memanfaatkan gas panas hasil pembakaran. Uap yang masuk ke *superheater* berasal dari *steam drum*. Temperatur masuk *superheater* adalah 304°C dan temperatur keluar sebesar 541°C . Uap yang keluar dari *superheater* kemudian digunakan untuk memutar *HP Turbine*.



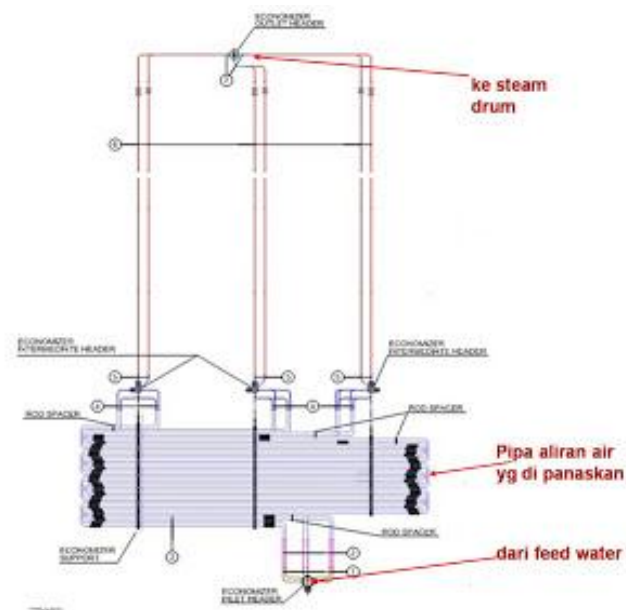
Gambar 3.6 *Superheater*

4) *Reheater*

Reheater berfungsi untuk memanaskan kembali uap yang keluar dari *HP Turbine* dengan memanfaatkan gas hasil pembakaran yang temperaturnya relatif masih tinggi. Pemanasan ini bertujuan untuk menaikkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Perpindahan panas yang paling dominan pada *reheater* adalah perpindahan panas konveksi. Uap ini kemudian digunakan untuk menggerakkan *IP Turbine*, dan setelah uap keluar dari *IP Turbine*, langsung digunakan untuk memutar *LP Turbine* tanpa mengalami pemanasan ulang.

5) *Economizer*

Economizer berupa pipa-pipa air yang dipasang ditempat laluan gas hasil pembakaran sebelum *air heater*. *Economizer* menyerap panas dari gas hasil pembakaran setelah melewati *superheater*, untuk memanaskan air pengisi sebelum masuk ke *main drum*. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dan air yang ada dalam *steam drum* tidak terlalu tinggi, sehingga tidak terjadi *thermal stress* (tegangan yang terjadi karena adanya pemanasan) di dalam *main drum*. Selain itu dengan memanfaatkan gas sisa pembakaran, maka akan meningkatkan efisiensi dari boiler dan proses pembentukan uap lebih cepat.

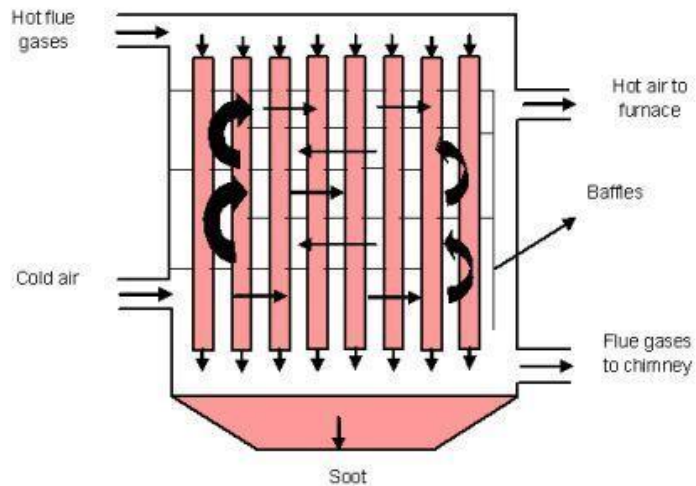


Gambar 3.7 *Economizer*

Perpindahan panas yang terjadi di *economizer* terjadi dengan arah aliran kedua fluida berlawanan (*counter flow*). Air pengisi *steam drum* mengalir ke atas menuju *steam drum*, sedangkan udara pemanas mengalir ke bawah.

6) *Air Heater*

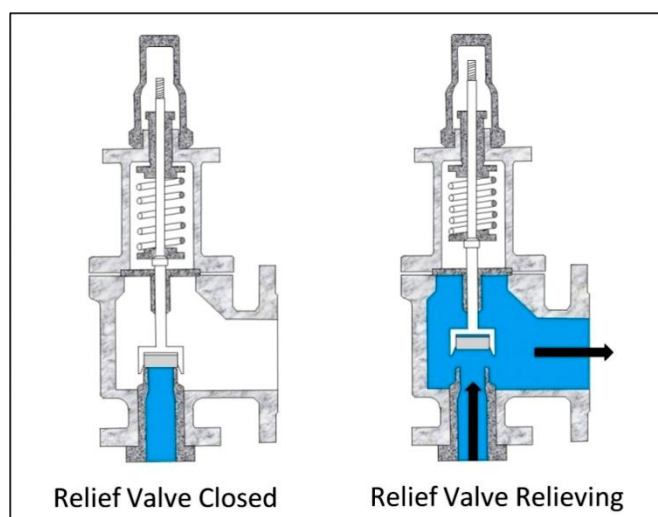
Komponen ini merupakan ruangan pemanas yang digunakan untuk memanaskan udara luar yang diserap untuk meminimalisasi udara yang lembab yang akan masuk ke dalam tungku pembakaran



Gambar 3.8 Air Heater

7) *Safety valve*

Komponen ini merupakan saluran buang *steam* jika terjadi keadaan dimana tekanan *steam* melebihi kemampuan boiler menahan tekanan *steam*.



Gambar 3.9 Safeti valve boiler

8) *Blowdown valve*

Komponen ini merupakan saluran yang berfungsi membuang endapan yang berada di dalam pipa *steam*.



Gambar 3.10 Blowdown valve

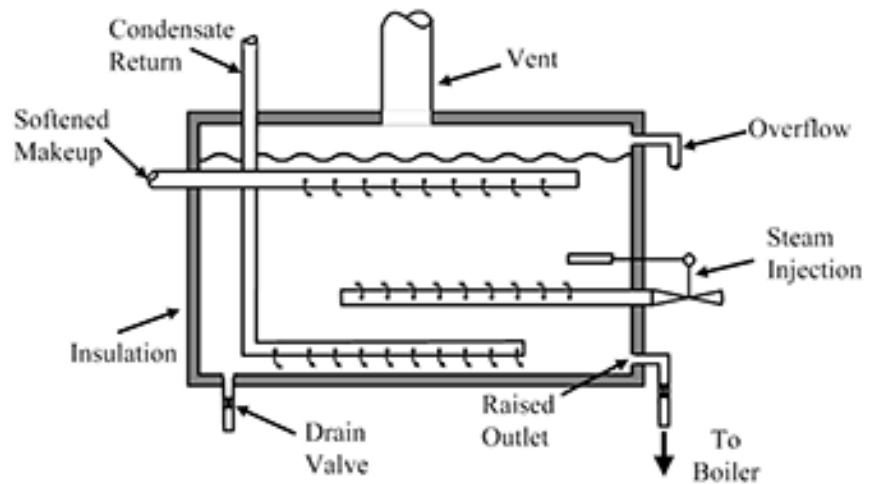
2. Komponen Pembantu

Selain komponen utama, boiler juga memiliki komponen pembantu agar dapat menghasilkan uap atau *steam*. Adapun komponen pembantu pada boiler adalah sebagai berikut :

1) *Feed Tank*

Feed tank berfungsi sebagai tempat penampungan air umpan boiler yang sudah didemineralized melalui proses pertukaran ion di Cation dan Anion Exchanger. Mutu air umpan boiler ini penting untuk terus dijaga, agar terbebas dari logam oksidator dan lumpur yang dapat menyebabkan terjadinya kerak dan korosi pada pipa boiler serta dapat menurunkan perpindahan panasnya.

Feed Water Tank juga berfungsi untuk melakukan pemanasan air pada air umpan sehingga tercapai temperatur 70°C.

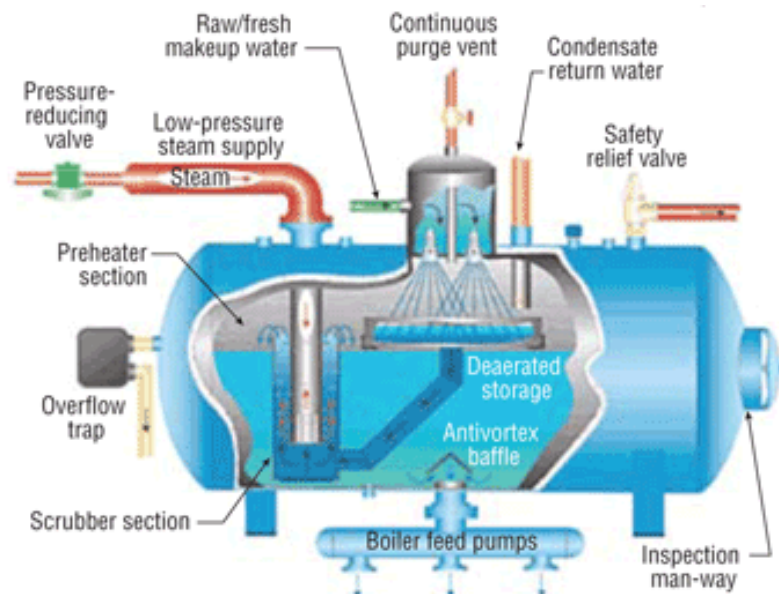


www.feedwater.co.uk

Gambar 3.11 Feed water tank

2) Vacuum Dearator

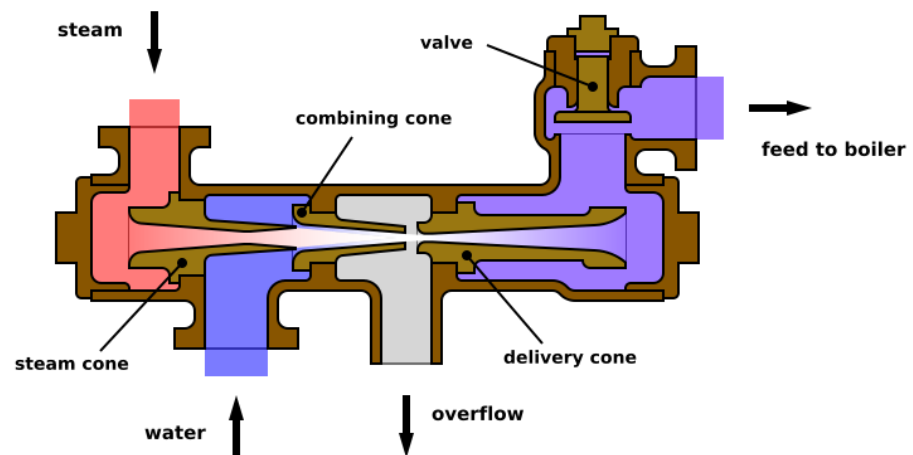
Vacuum Dearator berfungsi untuk menangkap konsentrasi gas-gas terlarut dalam air umpan boiler. Gas-gas terlarut dapat menyebabkan terjadinya korosi dan kerak pada jaringan perpipaan dan drum pada boiler.



Gambar 3.12 Vacuum deaerator

3) Ejector

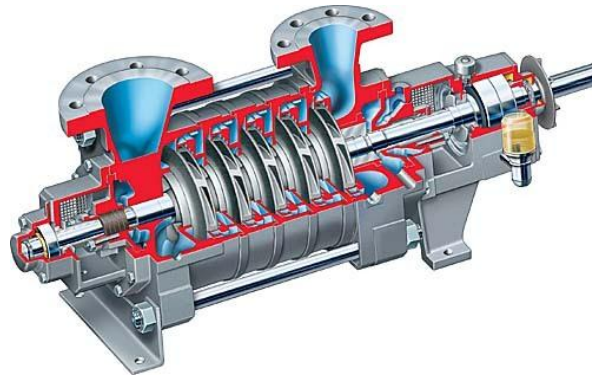
Ejector berfungsi untuk menghasilkan kevacuuman di dalam tabung, dengan memanfaatkan pancaran (kecepatan aliran) steam melewati venturi sehingga menghasilkan tekanan negatif pada bagian yang dilewati. Ejector terbuat dari besi tuang.



Gambar 3.13 Ejector boiler

4) Feed Water Pump

Feed Water Pump berfungsi untuk memompakan air yang telah melewati proses di Vacuum Dearator ke dalam upper drum boiler. Jenis pompa yang digunakan adalah pompa multistage (tekanan tinggi), hal ini disebabkan tekanan di upper drum dapat mencapai 35 bar. Dilihat dari penggerak utamanya feed water pump dapat dibagi atas dua yaitu penggerak elektrik dan penggerak steam.



Gambar 3.14 Feed water pump multi stage

5) *Chemical Dosing Pump*

Chemical Dosing Pump berfungsi untuk menginjeksikan bahan kimia yang dibutuhkan untuk internal water treatment dalam boiler. Pompa chemical ini harus dijaga agar beroperasi normal untuk memastikan bahan kimia terinjeksi sesuai dengan dosis.



Gambar 3.14 Chemical Dosing Pump

6) *Manometer Dan Flowmeter*

Flowmeter berfungsi untuk mengetahui pemakaian air boiler selama proses pengoperasian boiler.

F. Bahan Bakar Boiler

1. Jenis-jenis bahan bakar Boiler

a) Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair seperti minyak tungku/ *furnace oil* dan LSHS (*low sulphur heavy stock*) terutama digunakan dalam penggunaan industri. Berbagai sifat bahan bakar cair diberikan dibawah ini.

1. *Densitas*

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volum bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Densitas diukur dengan suatu alat yang disebut *hydrometer*. Pengetahuan mengenai densitas ini berguna untuk penghitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalaan. Satuan densitas adalah kg/m³.

2. *Specific gravity*

Didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volum yang sama pada suhu tertentu. Densitas bahan bakar, relatif terhadap air,

disebut *specific gravity*. *Specific gravity* air ditentukan sama dengan 1. Karena *specific gravity* adalah perbandingan, maka tidak memiliki satuan. Pengukuran *specific gravity* biasanya dilakukan dengan *hydrometer*. *Specific gravity* digunakan dalam penghitungan yang melibatkan berat dan volum. *Specific gravity* untuk berbagai bahan bakar minyak diberikan dalam tabel dibawah:

Tabel *Specific gravity* berbagai bahan bakar minyak

Bahan bakar minyak	L.D.O (Minyak Diesel)	Minyak Tungku/ <i>Furnace Oil</i>	L.S.H.S (<i>Low Sulphur</i>)
<i>Specific Gravity</i>	0,85 - 0,87	0,89 - 0,95	0,88 - 0,98

(diambil dari Thermax India Ltd.)

3. Viskositas

Viskositas suatu fluida merupakan ukuran resistansi bahan terhadap aliran. Viskositas tergantung pada suhu dan berkurang dengan naiknya suhu. Viskositas diukur dengan Stokes / Centistokes. Kadang-kadang viskositas juga diukur dalam Engler, Saybolt atau Redwood. Tiap jenis minyak bakar memiliki hubungan suhu – viskositas tersendiri. Pengukuran viskositas dilakukan dengan suatu alat yang disebut Viskometer.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan *burner*, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung *burner* atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

4. Titik Nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. Titik nyala untuk minyak tungku/ *furnace oil* adalah 66 °C.

5. Titik Tuang

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan dibawah kondisi yang sudah ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

6. Panas Jenis

Panas jenis adalah jumlah kKal yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg minyak sebesar 1°C . Satuan panas jenis adalah kkal/kg $^{\circ}\text{C}$. Besarnya bervariasi mulai dari 0,22 hingga 0,28 tergantung pada *specific gravity* minyak. Panas jenis menentukan berapa banyak steam atau energi listrik yang digunakan untuk memanaskan minyak ke suhu yang dikehendaki. Minyak ringan memiliki panas jenis yang rendah, sedangkan minyak yang lebih berat memiliki panas jenis yang lebih tinggi.

7. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan., dan diukur sebagai nilai kalor kotor/ *gross calorific value* atau nilai kalor netto/ *nett calorific value*. Perbedaannya

ditentukan oleh panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran. Nilai kalor kotor/ *gross calorific value* (GCV) mengasumsikan seluruh uap yang dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terembunkan/terkondensasikan. Nilai kalor netto (NCV) mengasumsikan air yang keluar dengan produk pengembunan tidak seluruhnya terembunkan. Bahan bakar harus dibandingkan berdasarkan nilai kalor netto.

Nilai kalor batubara bervariasi tergantung pada kadar abu, kadar air dan jenis batu baranya sementara nilai kalor bahan

bakar minyak lebih konsisten. GCV untuk beberapa jenis bahan bakar cair yang umum digunakan terlihat dibawah ini:

Tabel Nilai kalor kotor (GCV) untuk beberapa bahan bakar minyak

<u>Bahan bakar minyak</u>	<u>Nilai Kalor kotor (GCV) (kKal/kg)</u>
Minyak Tanah	- 11.100
Minyak Diesel	- 10.800
L.D.O	- 10.700
Minyak Tungku/ <i>Furnace</i>	- 10.500
LSHS	- 10.600

(diambil dari Thermax India Ltd.)

8. Sulfur

Jumlah sulfur dalam bahan bakar minyak sangat tergantung pada sumber minyak mentah dan pada proses penyulingannya. Kandungan normal sulfur untuk residu bahan bakar minyak (minyak *furnace*) berada pada 2 - 4 %. Kandungan sulfur untuk berbagai bahan bakar minyak ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 3. Persentase sulfur untuk berbagai bahan bakar minyak

<u>Bahan bakar minyak</u>	<u>Persen sulfur</u>
Minyak Tanah	0,05 – 0,2
Minyak Diesel	0,05 – 0,25
L.D.O	0,5 – 1,8
Minyak <i>Furnace</i>	2,0 – 4,0
LSHS	< 0,5

(diambil dari Thermax India Ltd.)

Kerugian utama dari adanya sulfur adalah resiko korosi oleh asam sulfat yang terbentuk selama dan sesudah pembakaran, dan pengembunan di cerobong asap, pemanas awal udara dan *economizer*.

9. Kadar Abu

Kadar abu erat kaitannya dengan bahan inorganik atau garam dalam bahan bakar minyak. Kadar abu pada distilat bahan bakar diabaikan. Residu bahan bakar memiliki kadar abu yang tinggi. Garam-garam tersebut mungkin dalam bentuk senyawa sodium, vanadium, kalsium, magnesium, silikon, besi, aluminium, nikel, dll.

Umumnya, kadar abu berada pada kisaran 0,03 – 0,07 %. Abu yang berlebihan dalam bahan bakar cair dapat menyebabkan pengendapan kotoran pada peralatan pembakaran. Abu memiliki pengaruh erosi pada ujung *burner*, menyebabkan kerusakan pada refraktori pada suhu tinggi dapat meningkatkan korosi suhu tinggi dan penyumbatan peralatan.

10. Residu Karbon

Residu karbon memberikan kecenderungan pengendapan residu padat karbon pada permukaan panas, seperti *burner* atau injeksi nosel, bila kandungan yang mudah menguapnya menguap. Residu minyak mengandung residu karbon 1 persen atau lebih.

11. Kadar Air

Kadar air minyak tungku/*furnace* pada saat pemasokan umumnya sangat rendah sebab produk disuling dalam kondisi panas. Batas maksimum 1% ditentukan sebagai standar.

Air dapat berada dalam bentuk bebas atau emulsi dan dapat menyebabkan kerusakan dibagian dalam permukaan tungku selama pembakaran terutama jika mengandung garam terlarut. Air juga dapat menyebabkan percikan nyala api di ujung *burner*, yang dapat mematikan nyala api, menurunkan suhu nyala api atau memperlama penyalaan.

12. Penyimpanan Bahan Bakar Minyak

Akan sangat berbahaya bila menyimpan minyak bakar dalam tong. Cara yang lebih baik adalah menyimpannya dalam tangki silinder, diatas maupun dibawah tanah. Minyak bakar yang dikirim umumnya masih mengandung debu, air dan bahan pencemar lainnya.

Ukuran tangki penyimpan minyak bakar sangatlah penting. Perkiraan ukuran penyimpan yang direkomendasikan sedikitnya untuk 10 hari konsumsi normal. Tangki penyimpan bahan bakar untuk industri pada umumnya digunakan tangki *mild steel* tegak yang diletakkan diatas tanah. Untuk alasan keamanan dan lingkungan, perlu dibuat dinding disekitar tangki penyimpan untuk menahan aliran bahan bakar jika terjadi kebocoran.

Pengendapan sejumlah padatan dan lumpur akan terjadi pada tangki dari waktu ke waktu, tangki harus dibersihkan secara berkala: setiap tahun untuk bahan bakar berat dan setiap dua

tahun untuk bahan bakar ringan. Pada saat bahan bakar dialirkan dari kapal tanker ke tangki penyimpan, harus dijaga dari terjadinya kebocoran-kebocoran pada sambungan, flens

dan pipa-pipa. Bahan bakar minyak harus bebas dari pencemar seperti debu, lumpur dan air sebelum diumpankan ke sistim pembakaran.

b) Bahan Bakar Padat (Batubara)

1. Klasifikasi Batu bara

Batubara diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama yakni antracit, bituminous, dan lignit, meskipun tidak jelas pembatasan diantaranya. Pengelompokannya lebih lanjut adalah semiantracit, semi-bituminous, dan sub-bituminous. Antracit merupakan batubara tertua jika dilihat dari sudut pandang geologi, yang merupakan batubara keras, tersusun dari komponen utama karbon dengan sedikit kandungan bahan yang mudah menguap dan hampir tidak berkadar air. Lignit merupakan batubara termuda dilihat dari pandangan geologi. Batubara ini merupakan batubara lunak yang tersusun terutama dari bahan yang mudah menguap dan kandungan air dengan kadar *fixed carbon* yang rendah. *Fixed carbon* merupakan karbon dalam keadaan bebas, tidak bergabung dengan elemen lain. Bahan yang mudah menguap merupakan bahan batubara yang mudah terbakar yang menguap apabila batubara dipanaskan.

Batubara yang umum digunakan, contohnya pada industri di India adalah batubara bituminous dan sub-bituminous. Pengelompokan batubara India berdasarkan nilai kalornya adalah sebagai berikut:

Kelas	Kisaran Nilai Kalor (dalam kKj/kg)
-------	---------------------------------------

A	Lebih dari 6200
B	5600 –6200
C	4940 –5600
D	4200 –4940
E	3000 –4200

Komposisi kimiawi batubara berpengaruh kuat pada daya pembakarannya. Sifat-sifat batubara secara luas diklasifikasikan kedalam sifat fisik dan sifat kimia.

2. Sifat fisik dan kimia batu bara

Sifat fisik batu bara termasuk nilai panas, kadar air, bahan mudah menguap dan abu. Sifat kimia batubara tergantung dari kandungan berbagai bahan kimia seperti karbon, hidrogen, oksigen, dan sulfur. Nilai kalor batu bara beraneka ragam dari tambang batu bara yang satu ke yang lainnya. Nilai kalor batu bara yang ada di Indonesia ± 5.500 kKal/kg.

3. Penyimpanan, *handling* dan persiapan batubara

Ketidaktentuan dalam ketersediaan dan pengangkutan bahan bakar mengharuskan dilakukannya penyimpanan dan penanganan untuk kebutuhan berikutnya. Kesulitan yang ada pada penyimpanan batubara adalah diperlukannya bangunan gudang penyimpanan, adanya hambatan masalah tempat, penurunan kualitas dan potensi terjadinya kebakaran. Kerugian-kerugian kecil lainnya adalah oksidasi, angin dan kehilangan karpet. Oksidasi 1% batubara memiliki efek yang sama dengan kandunag abu 1% dalam batubara. Kehilangan karena angin mencapai 0,5 – 1,0 % dari kerugian total.

Penyimpanan batubara yang baik akan meminimalkan kehilangan karpet dan kerugian terjadinya pembakaran

mendadak. Pembentukan “karpet lunak”, dari batubara halus dan tanah, menyebabkan kehilangan karpet. Jika suhu naik secara perlahan dalam tumpukan batubara, maka dapat terjadi oksidasi yang akan menyebabkan pembakaran yang mendadak dari batubara yang disimpan. Kehilangan karpet dapat dikurangi dengan cara:

1. Mengeraskan permukaan tanah untuk penyimpanan batubara
2. Membuat tempat penyimpanan standar yang terbuat dari beton dan bata

Di Industri, batubara di-*handling* secara manual maupun dengan *conveyor*. Pada saat *handling* batubara harus diusahakan supaya sesedikit mungkin batubara yang hancur

membentuk partikel kecil dan sesedikit mungkin partikel kecil yang tercecer. Persiapan batubara sebelum pengumpanan ke boiler merupakan tahap penting untuk mendapatkan pembakaran yang baik. Bongkahan batubara yang besar dan tidak beraturan dapat menyebabkan permasalahan sebagai berikut:

- Kondisi pembakaran yang buruk dan suhu tungku yang tidak mencukupi
- Udara berlebih yang terlalu banyak mengakibatkan kerugian cerobong yang tinggi
- Meningkatnya bahan yang tidak terbakar dalam abu
- Rendahnya efisiensi termal

c) Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas merupakan bahan bakar yang sangat memuaskan sebab hanya memerlukan sedikit *handling* dan sistem *burner* nya sangat sederhana dan hampir bebas perawatan. Gas

dikirimkan melalui jaringan pipa distribusi sehingga cocok untuk wilayah yang berpenduduk tinggi atau padat industri. Walau begitu, banyak pemakai perumahan yang besar memiliki penyimpanan gas, bahkan beberapa diantara mereka memproduksi gasnya sendiri.

1. Jenis-jenis bahan bakar gas

Berikut adalah daftar jenis-jenis bahan bakar gas:

- Bahan bakar yang secara alami didapatkan dari alam:
 - Gas alam
 - Metan dari penambangan batubara
- Bahan bakar gas yang terbuat dari bahan bakar padat
 - Gas yang terbentuk dari batubara
 - Gas yang terbentuk dari limbah dan biomasa
 - Dari proses industri lainnya (gas *blast furnace*)
- Gas yang terbuat dari minyak bumi
 - Gas Petroleum cair (LPG)
 - Gas hasil penyulingan
 - Gas dari gasifikasi minyak
- Gas-gas dari proses fermentasi

Bahan bakar bentuk gas yang biasa digunakan adalah gas petroleum cair (LPG), gas alam, gas hasil produksi, gas *blast furnace*, gas dari pembuatan kokas, dll. Nilai panas bahan bakar gas dinyatakan dalam Kilokalori per normal meter kubik (kKal/Nm³) ditentukan pada suhu normal (20 °C) dan tekanan normal (760 mm Hg).

2. Sifat-sifat bahan bakar gas

Karena hampir semua peralatan pembakaran gas tidak dapat menggunakan kadungan panas dari uap air, maka perhatian terhadap nilai kalor kotor (GCV) menjadi kurang. Bahan bakar harus dibandingkan berdasarkan nilai kalor netto (NCV). Hal ini benar terutama untuk gas alam, dimana kadungan hidrogen akan meningkat tinggi karena adanya reaksi pembentukan air selama pembakaran.

a. LPG

LPG terdiri dari campuran utama propan dan Butan dengan sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (propilen dan butilene) dan beberapa fraksi C_2 yang lebih ringan dan C_5 yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propan (C_3H_8), Propilen (C_3H_6), normal dan iso-butan (C_4H_{10}) dan Butilen (C_4H_8). LPG merupakan campuran dari hidrokarbon tersebut yang berbentuk gas pada tekanan atmosfer, namun dapat diembunkan menjadi bentuk cair pada suhu normal, dengan tekanan yang cukup besar. Walaupun digunakan sebagai gas, namun untuk kenyamanan dan kemudahannya, disimpan dan ditransport dalam bentuk cair dengan tekanan tertentu. LPG cair, jika menguap membentuk gas dengan volum sekitar 250 kali.

Uap LPG lebih berat dari udara: butan beratnya sekitar dua kali berat udara dan propan sekitar satu setengah kali berat udara. Sehingga, uap dapat mengalir didekat permukaan tanah dan turun hingga ke tingkat yang paling rendah dari lingkungan dan dapat terbakar pada jarak tertentu dari sumber kebocoran. Pada udara yang tenang, uap akan tersebar secara perlahan. Lolosnya gas cair walaupun dalam jumlah sedikit, dapat meningkatkan

campuran perbandingan volum uap/udara sehingga dapat menyebabkan bahaya. Untuk membantu pendeteksian kebocoran ke atmosfer, LPG biasanya ditambah bahan yang berbau. Harus tersedia ventilasi yang memadai didekat permukaan tanah pada tempat penyimpanan LPG.

Karena alasan diatas, sebaiknya tidak menyimpan silinder LPG di gudang bawah tanah atau lantai bawah tanah yang tidak memiliki ventilasi udara.

b. Gas alam

Metan merupakan kandungan utama gas alam yang mencapai jumlah sekitar 95% dari volum total. Komponen lainnya adalah: Etan, Propan, Pentan, Nitrogen, Karbon Dioksida, dan gasgas lainnya dalam jumlah kecil. Sulfur dalam jumlah yang sangat sedikit juga ada. Karena metan merupakan komponen terbesar dari gas alam, biasanya sifat metan digunakan untuk membandingkan sifat-sifat gas alam terhadap bahan bakar lainnya.

Gas alam merupakan bahan bakar dengan nilai kalor tinggi yang tidak memerlukan fasilitas penyimpanan. Gas ini bercampur dengan udara dan tidak menghasilkan asap atau jelaga. Gas ini tidak juga mengandung sulfur, lebih ringan dari udara dan menyebar ke udara dengan mudahnya jika terjadi kebocoran. Perbandingan kadar karbon dalam minyak bakar, batubara dan gas diberikan dalam tabel dibawah.

Tabel Perbandingan komposisi kimia berbagai bahan bakar

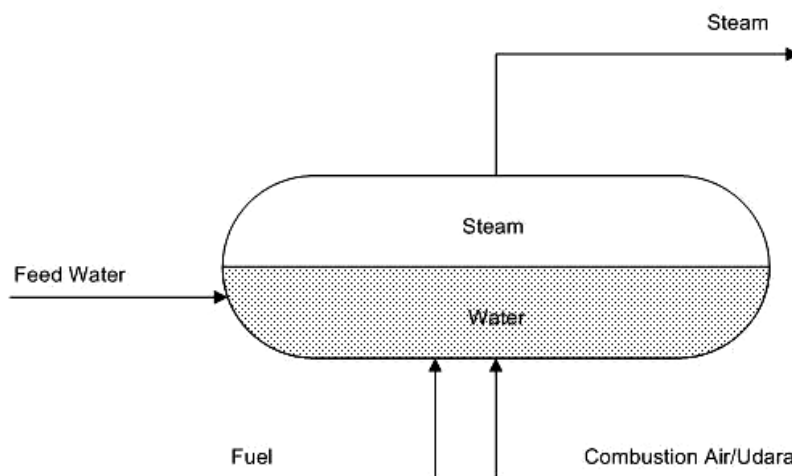
	Bahan Bakar Minyak	Batubara	Gas Alam
Karbon	84	41,11	74
Hidrogen	12	2,76	25
Sulfur	3	0,41	-

Oksigen	1	9,89	Sedikit
Nitrogen	Sedikit	1,22	0,75
Abu	Sedikit	38,63	-
Air	Sedikit	5,98	-

G. Pengoperasian Boiler

Boiler merupakan salah satu peralatan proses yang berfungsi memproduksi steam/uap. Steam yang dihasilkan tersebut akan digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain sebagai penggerak turbine dan sebagai media pemanas dalam unit proses.

Seperti terlihat pada gambar 3.15 berikut, air (feedwater) dimasukkan ke Boiler dan dipanaskan, dalam hal ini oleh panas hasil pembakaran fuel sehingga menghasilkan steam. Fuel yang digunakan bisa fuel gas atau fuel oil atau keduanya (selain dari hasil pembakaran fuel, panas yang digunakan juga bisa berasal dari sumber lainnya, seperti pembakaran batu bara, kayu/ampas, atau media pemanas lainnya).



Gambar 3.15 Sistem pengontrolan boiler

Secara umum, tujuan sistem kontrol pada boiler adalah agar produk steam yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang dikehendaki sambil tetap menjaga agar boiler dapat beroperasi dengan efisien dan aman. Secara garis besar, sistem kontrol pada boiler ini terdiri dari: 1) *Drum level control*; 2) *Combustion control*; 3) *Atomizing control*; 4) *Blowdown control*; 5) *Steam temperature control*.

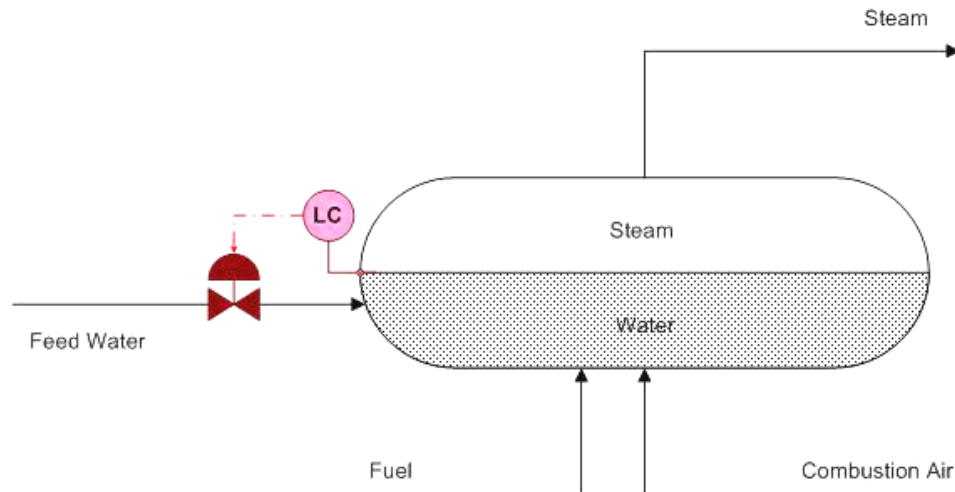
1) *Drum level control*

Tujuan *drum level control* adalah menjaga agar level drum (tinggi permukaan air dalam drum) tetap pada setpoint-nya walaupun terjadi perubahan beban ataupun gangguan/disturbance lainnya. Level drum yang terlalu rendah bisa menyebabkan terjadinya panas berlebih (*overheated*) pada boiler tubes sehingga tubes bisa menjadi rusak/bengkok/bocor. Sebaliknya level drum yang terlalu tinggi akan menyebabkan pemisahan air dan steam dalam drum tidak sempurna sehingga kualitas steam yang dihasilkan kurang (banyak mengandung air/basah).

Ada tiga alternative/jenis *drum level control*, yaitu: 1) *Single element drum level control*; 2) *Two-element drum level control*; 3) *Three-element drum level control*.

a. *Single-element drum level control*.

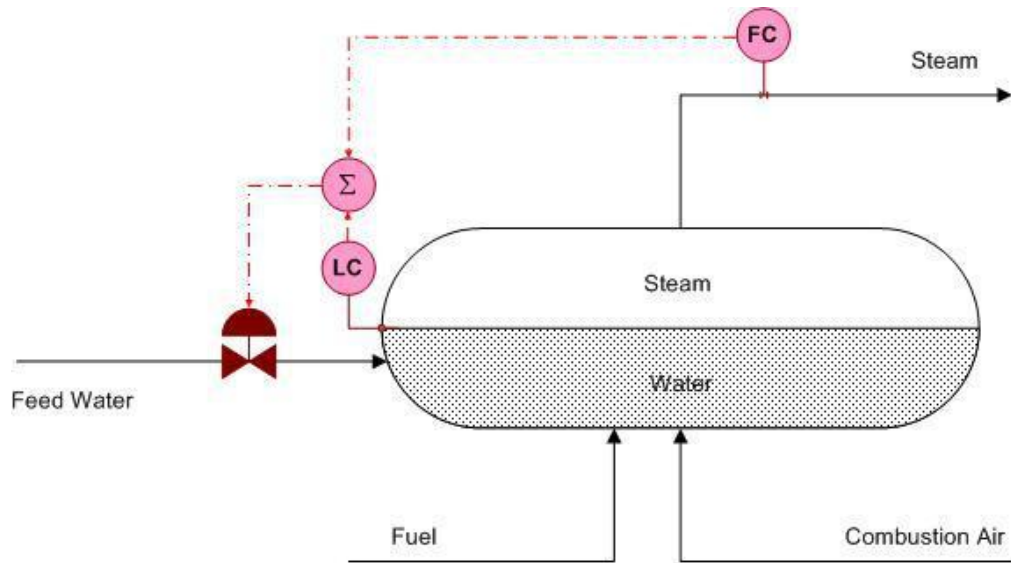
Ini merupakan konfigurasi *drum level control* yang paling sederhana, yaitu hanya menggunakan feedback level control. Disebut *single-element* karena hanya level drum saja yang dikontrol. Konfigurasi kontrol ini umumnya digunakan pada boiler berkapasitas rendah (<150,000 pounds-per-hour), pressure rendah (<250 pounds-per-square-inch), dan dengan beban yang relative tetap/stabil. Kekurangan konfigurasi control ini adalah sulit mempertahankan level pada setpointnya jika terjadi perubahan beban secara terus menerus.



Gambar 3.16 Single element drum level control

b. Two-element drum level control.

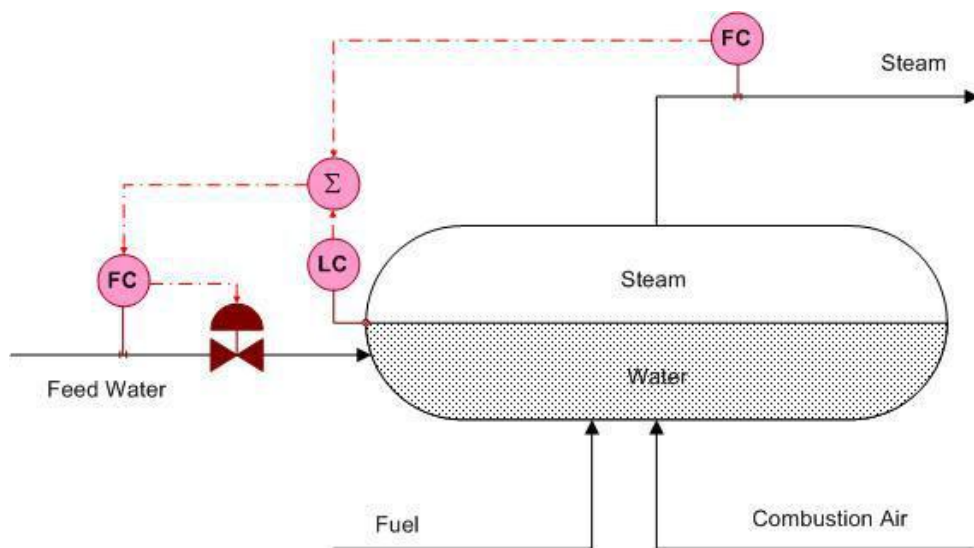
Konfigurasi ini digunakan untuk mengatasi kekurangan konfigurasi single-element dalam menangani fluktuasi beban, yaitu dengan jalan menambah steam flow control (yang mewakili beban boiler) sebagai feedforward control. Jadi, dalam konfigurasi ini, terdapat dua controller, yaitu level control sebagai feedback dan steam flow control sebagai feedforward control, sehingga disebut dengan two-element control. Konfigurasi ini cocok untuk single drum boiler dengan kondisi pressure/flow feedwater yang relative konstan.



Gambar 3.17 Two element drum level control

c. **Three-element drum level control.**

Ini merupakan konfigurasi yang paling lengkap, yang dibentuk dengan menambah feedwater flow control dalam konfigurasi cascade. Penambahan feedwater flow control ini dimaksud untuk mengantisipasi fluktuasi pada flow/pressure feedwater, yang umumnya terjadi pada feedwater line yang menggunakan beberapa pompa (multiple pump) untuk melayani beberapa boiler sekaligus (multiple boiler).

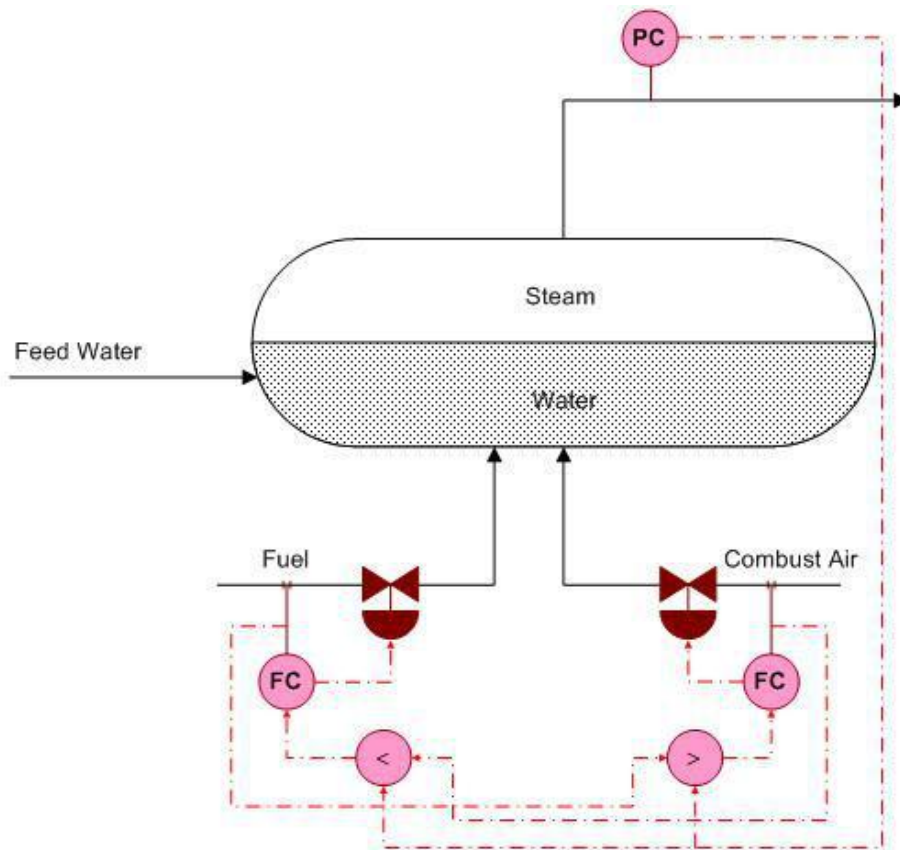


Gambar 3.18 Three element drum level control

2) Combustion Control.

Tujuan *combustion control* adalah untuk menjaga pressure steam yang dihasilkan boiler agar selalu sesuai dengan yang dikehendaki (sesuai setpoint-nya). Oleh karena itu, dalam konfigurasi combustion control, steam pressure (biasanya diambil dari steam header) digunakan sebagai master control, outputnya di-cascade dengan fuel flow control dan combustion air flow control (air di sini maksudnya udara). Jika terjadi kenaikan beban (yang ditandai dengan turunnya pressure steam dari setpoint-nya), maka fuel flow control dan combustion air flow control akan bereaksi membuka control valve. Sebaliknya, apabila terjadi penurunan beban (yang ditandai dengan kenaikan pressure steam dari setpoint-nya), maka kedua control tersebut akan bereaksi menutup control valve.

Fuel flow control dan combustion air flow control di-interkoneksi untuk menjamin agar combustion air/udara selalu cukup tersedia untuk membakar habis fuel pada kondisi berapapun perubahan flow fuel. Hal ini untuk menjaga agar tidak terjadi akumulasi fuel yang tidak terbakar di dalam ruang bakar karena sangat membahayakan (bisa menimbulkan ledakan). Interkoneksi fuel flow control dan combustion air flow control ini dilakukan melalui selector switch (high dan low), seperti pada gambar berikut.



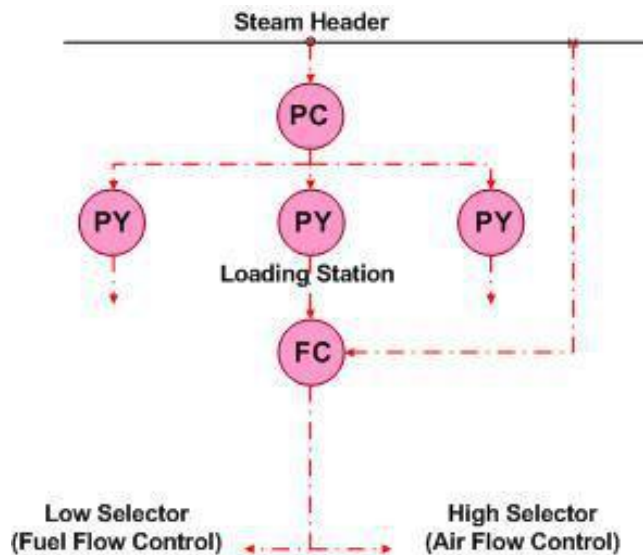
Gambar 3.19 Combustion control

Dalam konfigurasi ini, apabila terjadi kenaikan beban, maka yang terlebih dahulu bereaksi untuk membuka control valve adalah combustion air flow control baru kemudian fuel flow control. Sebaliknya, apabila terjadi penurunan beban, maka yang terlebih dahulu bereaksi untuk menutup control valve adalah fuel flow control baru kemudian combustion air flow control.

Master control.

Seperti yang dijelaskan di atas, yang menjadi master dalam combustion control adalah pressure steam. Apabila lebih dari satu boiler digunakan secara paralel, maka perlu ada pembagian beban/load ke masing-masing boiler. Untuk keperluan pembagian beban ini, maka sinyal/informasi yang berasal dari master control

akan dikirim ke *loading station* di masing-masing boiler, seperti pada gambar berikut. Dengan loading station, operator dapat memberikan bias ke master control. Output loading station akan dikirim ke steam flow control masing-masing boiler.



Gambar 3.20 Loading station

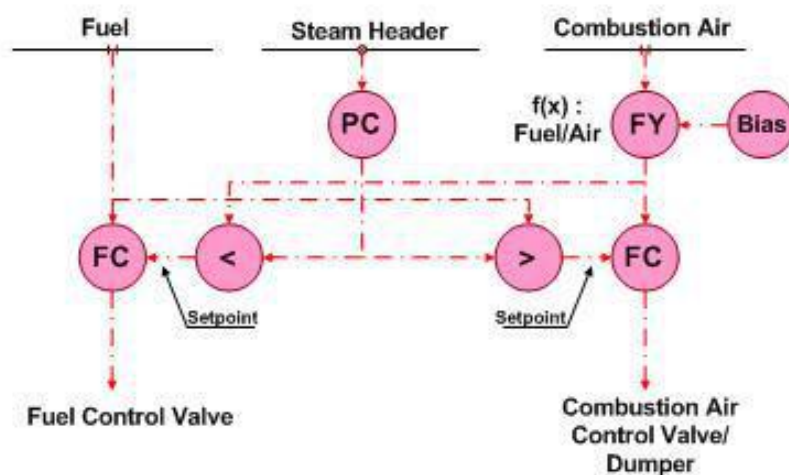
Kadang kala, untuk pertimbangan efisiensi, suatu boiler dioperasikan pada beban tetap, sedangkan beban boiler lainnya dibiarkan berubah-ubah secara otomatis untuk disesuaikan dengan perubahan total beban. Untuk keperluan ini, boiler berbeban tetap tersebut dioperasikan berdasarkan beban (*based load*), dimana sebagai master bukan steam pressure control, tetapi steam flow control.

a. Fuel flow – air flow control

Seperti yang sudah dijelaskan di atas, bahwa salah satu hal yang paling penting dalam combustion control adalah menjaga agar perbandingan fuel flow/combustion air flow (*fuel/air ratio*) selalu terpenuhi untuk pembakaran yang sempurna. Data fuel/air ratio diperoleh dari operation test. Indikator terjadinya pembakaran yang sempurna adalah jika terdapat excess air

(oksigen) secukupnya dalam gas sisa pembakaran. Excess air yang berlebih menyebabkan operasi boiler tidak efisien karena sebagian panas akan diserap oleh kelebihan udara tersebut. Excess air yang kurang juga mengurangi efisiensi karena sebagian fuel tidak terbakar. Yang lebih berbahaya adalah terakumulasinya fuel yang tidak terbakar dalam ruang bakar karena dapat menyebabkan ledakan.

Fuel/air ratio bisa berubah, antara lain disebabkan oleh perubahan kandungan panas (btu content) dari fuel atau perubahan suhu udara. Untuk itu maka dalam combustion control perlu ada fasilitas untuk merubah nilai perbandingan ini, seperti diperlihatkan pada gambar berikut.

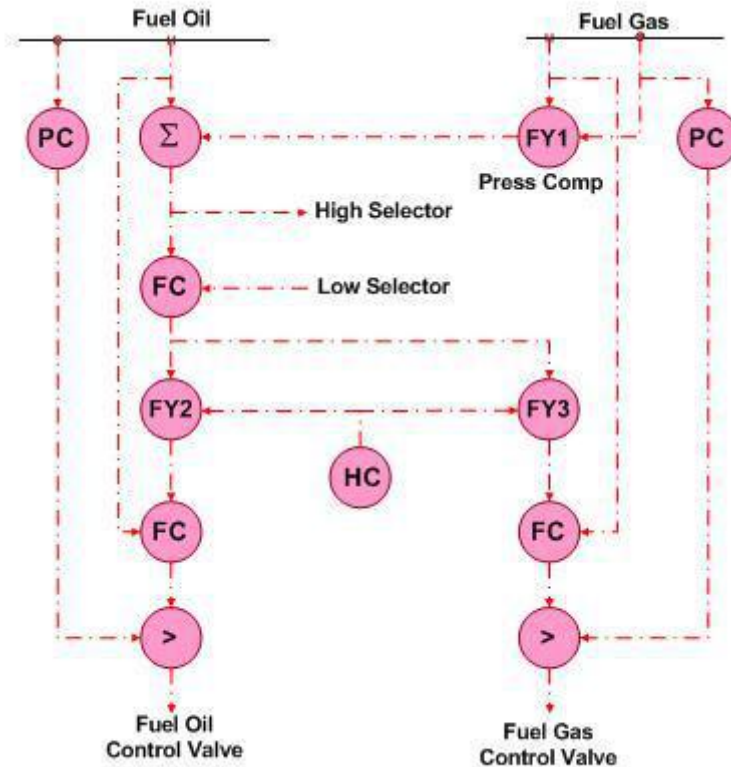


Gambar 3.21 Fuel flow – air flow control

Perubahan *fuel/air ratio* bisa dilihat dari perubahan *excess air* di gas buangan hasil pembakaran. Dari informasi mengenai perubahan *excess air* ini (melalui pengukuran dengan O_2 analyzer), operator merubah ratio ini dengan cara memberikan bias seperti pada gambar diatas.

Apabila fuel yang digunakan adalah fuel gas, maka sebaiknya dilengkapi dengan *pressure compensation* untuk mengatasi

fluktuasi pressure pada supply fuel gas. Jika menggunakan fuel oil, maka diperlukan *atomizing control* agar pembakaran fuel oil bisa lebih sempurna. Atomizing control akan dibahas pada topik tersendiri.



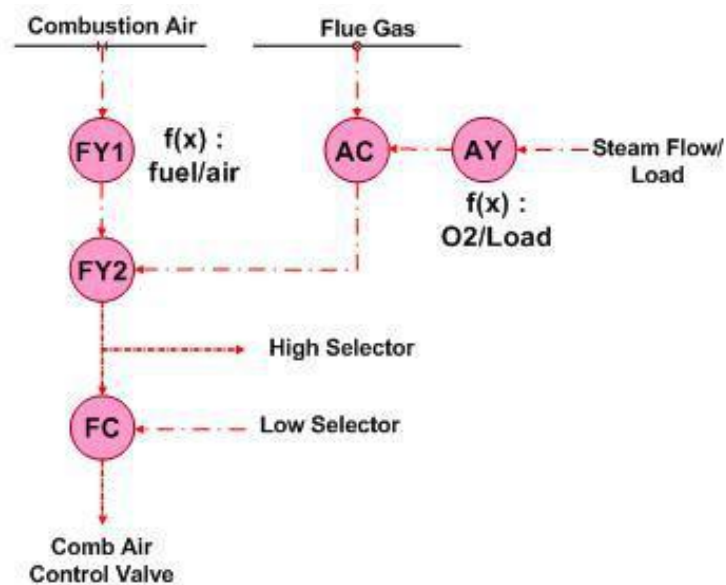
Gambar 3.22 Pressure compensation

Apabila menggunakan dua jenis fuel (fuel gas dan fuel oil), maka hasil pengukuran fuel gas flow dan fuel oil flow dijumlahkan dulu baru dikirim ke total fuel flow control sebagai measurement/process variable (PV) dan ke combustion air high selector switch, seperti diperlihatkan dalam gambar diatas. Selanjutnya, output total fuel flow control dikirim ke masing-masing flow control fuel oil dan fuel gas melalui pembagi (FY2) dan FY3). Besarnya porsi fuel oil dan fuel gas di-set oleh operator melalui hand control (HC). Penggunaan

high selector (>) sebelum control valve dimaksud untuk mengantisipasi fluktuasi pressure pada line fuel.

b. Oxygen control

Seperti yang sudah dijelaskan bahwa untuk mengatasi perubahan fuel/air ratio, operator memberi/mengubah bias secara manual dengan berpedoman pada excess air hasil pengukuran O₂ analyzer. Jika kandungan panas (btu content) dalam fuel berfluktuasi secara terus menerus, maka akan lebih baik jika adjustment fuel/air ratio tersebut tidak dilakukan secara manual, melainkan secara otomatis. Hal ini dapat dilakukan dengan menambah/menggunakan O₂ control, seperti gambar berikut.



Gambar 3.23 Oxygen control

Nilai optimal excess air pada operasi boiler tidak tetap, tetapi bergantung pada beban boiler, pada beban rendah nilai optimal excess air tinggi, sebaliknya pada beban tinggi nilai optimal

excess air rendah. Nilai optimal excess air pada suatu boiler diperoleh dari plant/operational test, salah satu contohnya seperti diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Perbandingan beban boiler dan kebutuhan udara

x : load (%)	F(x) : Excess air (%)
0.0	4.5
17.0	4.5
22.6	3.8
34.0	2.8
51.0	2.1
68.0	1.9
80.0	1.9

Setpoint untuk O₂ control (AC) akan mengikuti nilai pada tabel tersebut sesuai perubahan beban, seperti terlihat pada konfigurasi kontrol di atas (dijalankan di AY).

Fuel/air ratio juga diperoleh dari plant/operational test. Tabel berikut adalah contoh fuel/air ratio dari hasil test tersebut.

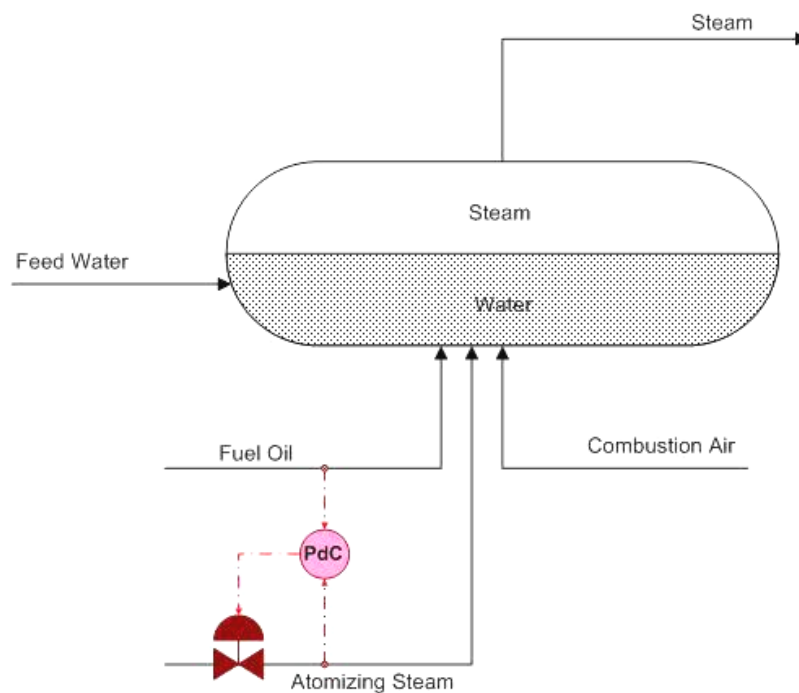
Tabel 3.2 Perbandingan udara dan bahan bakar

x : Comb Air Flow (%)	F(x) : Fuel Flow (%)
0.0	0.0
5.0	0.0
23.0	20.20
29.4	26.9
42.1	40.4
61.0	60.6
81.3	80.0
100	99

Fungsi fuel/air ratio ini akan dijalankan/dieksekusi di FY1 (lihat gambar di atas). Automatic bias untuk fuel/air ratio dilakukan di FY2 dengan menggunakan formula berikut: $Bias\ air\ flow = (air\ flow / (0.4 \times output\ oxygen\ control + 80)) \times 100$.

c. Atomizing Control.

Pada boiler yang menggunakan *fuel oil*, diperlukan proses atomizing untuk memecah-mecah molekul *fuel oil* sehingga proses pembakaran berjalan dengan sempurna. Salah satu jenis proses atomizing ini adalah dengan menggunakan steam atomizing, yaitu dengan cara memberi tekanan (dengan menggunakan tekanan steam) pada nozzle penyemprot *fuel oil*. Agar proses atomizing ini selalu berjalan dengan sempurna pada berbagai kondisi tekanan/pressure *fuel oil* maupun steam atomizing, maka digunakan sistem kontrol yang disebut *atomizing control*. Tujuan konfigurasi atomizing control adalah menjaga beda tekanan (*pressure differential*) antara atomizing steam dan *fuel oil* yang menuju burner agar tidak berubah, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.24 Atomizing control

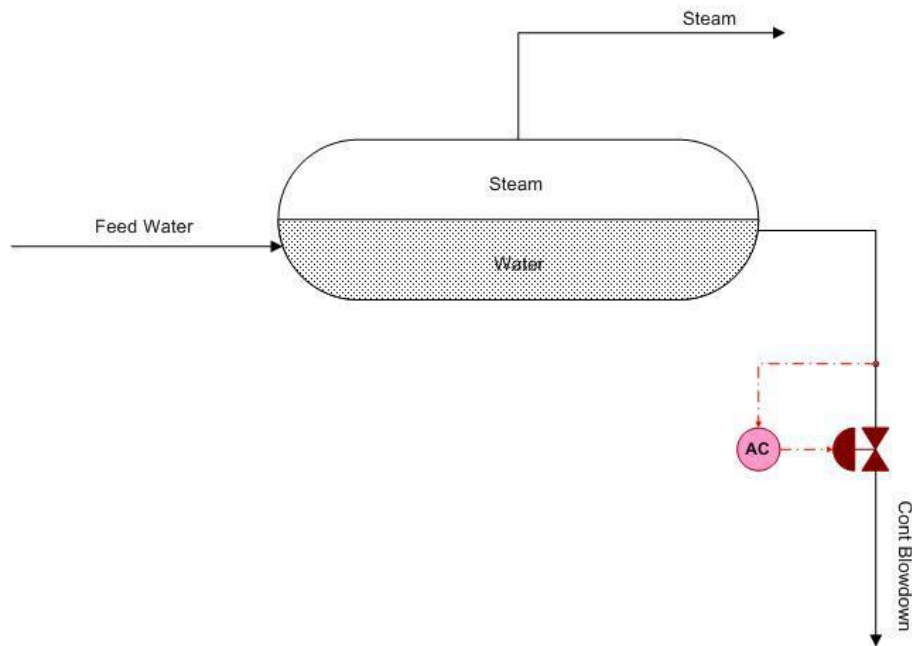
3) Blowdown Control.

Blowdown system dalam boiler berguna untuk mengontrol kandungan solid dalam *feedwater* agar tidak berlebih. Kandungan

solid dalam feedwater akan terikut ke steam yang diproduksi, sehingga apabila kandungan solid dalam feedwater tinggi, maka kandungan solid di steam juga akan tinggi, sehingga bisa menurunkan kualitas steam yang dihasilkan. Selain itu, kandungan solid dalam feedwater yang berlebih juga akan menyebabkan terjadinya kerak/scale pada pipa/tube/drum sehingga selain peralatan tersebut cepat rusak, juga efisiensi boiler menurun karena kehadiran kerak tersebut akan mengurangi area perpindahan panas (heat transfer area).

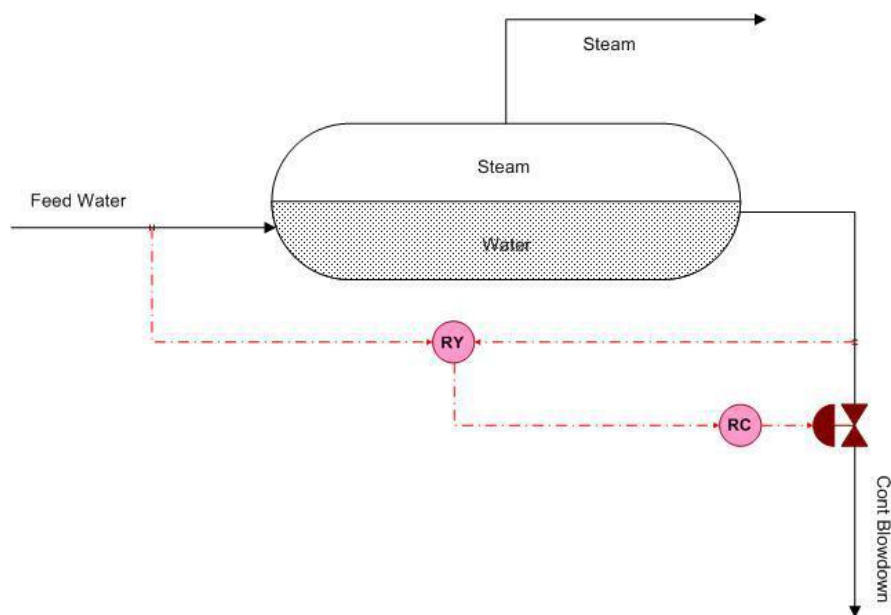
Ada dua jenis blowdown, yaitu *intermittent blowdown* dan *continuous blowdown*. Intermittent blowdown dioperasikan secara manual oleh operator, berdasarkan hasil pengukuran kualitas feedwater (pengukuran *electrolytic conductivity* dalam *feedwater*) atau hasil pengukuran steam purity dengan menggunakan sodium analyzer. Sedangkan continuous blowdown akan membuang air yang mengandung solid dalam drum secara terus menerus dengan besarnya aliran buangan dikontrol berdasarkan hasil pengukuran/perkiraan jumlah kandungan solid dalam feedwater di boiler drum.

Ada dua jenis sistem kontrol yang digunakan pada continuous blowdown, yaitu *conductivity control* dan *ratio control*. Dalam konfigurasi conductivity control, electrolytic conductivity feedwater diukur menggunakan conductivity meter secara online, kemudian sinyal hasil pengukuran ini dikirim ke controller (AC) untuk menggerakkan control valve, seperti pada gambar berikut. Semakin tinggi electrolytic conductivity hasil pengukuran conductivity meter, semakin besar bukaan control valve continuous blowdown (semakin banyak air yang dibuang/dikuras), begitu pula sebaliknya.



Gambar 3.25 Continuous blowdown-conductivity control

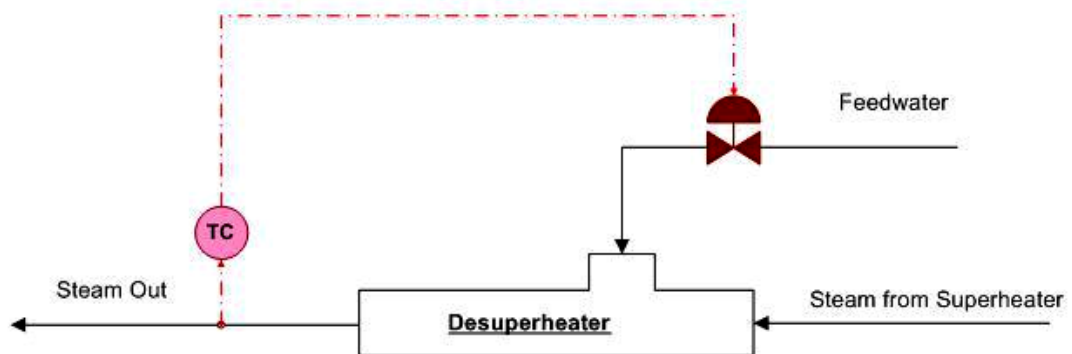
Continuous blowdown juga dapat dikontrol dengan menggunakan ratio control, yaitu ratio antara blowdown flow dan feedwater flow, seperti diperlihatkan pada gambar berikut. Setpoint untuk ratio control ini ditentukan/diberikan secara manual berdasarkan hasil pengukuran kualitas feedwater (electrolytic conductivity) atau kualitas steam (steam purity).



Gambar 3.25 Continuous blowdown- ratio control

4) *Steam Temperature Control.*

Untuk boiler yang menghasilkan steam dengan tekanan tinggi (HP steam), biasanya dilengkapi dengan *Superheater* – *Desuperheater*. Superheater berfungsi menaikkan temperature steam yang dihasilkan boiler (saturated steam). Sedangkan Desuperheater digunakan untuk menstabilkan temperature steam yang keluar dari Superheater, dengan jalan menyemprotkan steam tersebut dengan water (feedwater). Untuk menjaga temperature steam selalu stabil pada berbagai beban, maka Desuperheater dilengkapi dengan temperature control, seperti gambar berikut.



Gambar 3.26 Steam Temperature Control

Temperature steam yang keluar dari Desuperheater diukur, hasil pengukuran digunakan oleh temperature control (TC) untuk menggerakkan control valve pada feedwater line yang masuk ke Desuperheater. Bila temperature steam lebih tinggi dari setpoint, control valve membuka untuk menaikkan aliran feedwater yang masuk ke Desuperheater, sebaliknya jika temperature steam lebih rendah dari setpoint-nya maka control valve akan menutup.

Perlu diketahui bahwa, dalam prakteknya belum tentu semua jenis kontrol yang dibahas diatas digunakan, karena penggunaan jenis kontrol tersebut bergantung pada kebutuhan. Sehingga sering kita temukan suatu boiler memiliki sistem kontrol yang lebih lengkap dibandingkan dengan boiler lainnya, seperti dua contoh berikut ini.

H. Pemeliharaan Boiler

Boiler yang berperan dalam proses perubahan air menjadi uap memerlukan perlakuan dan perawatan khusus. Masalah yang timbul pada boiler umumnya disebabkan oleh perlakuan air umpan boiler yang tidak memenuhi persyaratan. Untuk perawatan dan pemeliharaan boiler dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1) Proses Commisioning awal

Proses persiapan awal yang dilakukan baik terhadap boiler yang baru ataupun boiler yang sudah lama adalah suatu pemeriksaan utama yang terdiri dari proses penghilangan kerak ataupun material asing pada boiler setelah uji hidrostatis dan pemeriksaan pada kebocoran boiler. Ketel dioperasikan dengan cara pendidihan yang menggunakan larutan alkali untuk menghilangkan material-material yang mengandung minyak dan deposit-deposit yang lain. Selama pendidihan, boiler dioperasikan pada tekanan rendah yang dijaga setengah dari tekanan penuh. Waktu pendidihan lebih kurang 24 jam. Untuk boiler tekanan tinggi pembersihan secara kimia dengan mengurangi zat-zat dilakukan untuk menghilangkan kerak. Setelah pendidihan atau pembersihan secara asam (*acid cleaning*) boiler dikosongkan, diisi kembali dan dicuci dengan air segar. Boiler kemudian siap untuk beroperasi pada tekanan uap optimal dan menggunakan tombol pengaman.

2) Operasi pada keadaan normal dan *emergency* (darurat)

Pengoperasian pada keadaan normal dilakukan oleh pabrik-pabrik ketel yang memerlukan pemeliharaan dan kondisi air ketel yang baik untuk mencegah timbulnya kerak atau korosi. Untuk memeriksa secara benar/baik perlu diperhatikan uap dan temperature uap yang dihasilkan serta menjaga kebersihan

gas. Jangka waktu untuk memulai dan untuk pendinginan boiler setelah dimatikan, ditetapkan dalam petunjuk manual ketel dan harus diikuti/ dipatuhi dengan baik.

Pengoperasian pada keadaan darurat, merupakan hal yang penting untuk diperhatikan. Keadaan ini dapat berupa kesalahan pada sediaan air umpan atau sediaan bahan bakar. Kehilangan udara atau kesalahan pada api pembakaran. Unit boiler yang modern dilengkapi dengan kunci pengaman yang otomatis untuk aliran sediaan bahan bakar dan pada saat ketel berhenti beroperasi., jika terjadi keadaan yang membahayakan.

3) Pengawasan dan perawatan

Pembersihan eksternal sering dilakukan dengan penyikatan dan pengaliran gas atau dengan air mengalir. Pembersihan internal dengan air dan uap dilakukan dengan cara manual jika mungkin dan dapat juga dengan menggunakan pembersih kimia secara otomatis untuk ketel yang modern pada unit boiler terutama pada bagian ketel yang tidak semuanya dapat dijangkau oleh tangan.

Pembersihan secara kimia harus dilakukan dibawah pengawasan supervisor. Kebanyakan asam hidroklorik digunakan bersama-sama dengan zat kimia untuk menghilangkan kerak-kerak yang keras. Pembersihan asam jika dibuat oleh orang yang tidak kompeten dapat menyebabkan kelebihan zat-zat kimia pada boiler. Setelah pencucian dengan asam, dinetralkan dengan larutan alkali dan terakhir kali boiler dioperasikan pada pemanasan tekanan rendah dengan larutan inert.

Pada saat ketel dihentikan untuk periode yang lama sekitar 1 atau 2 bulan. Metode *storage* kering dianjurkan untuk

melindungi boiler dari serangan korosi. Ini memerlukan pembersihan dan pengeringan yang seksama terhadap boiler dan penutup semua lubang juga menghilangkan air dan udara diruangan boiler dan alat-alat pengukur tekanan. Penampang material penyerap air ditempatkan untuk membersihkan kelembapan yang rendah.

I. EVALUASI

1. Sebutkan karakteristik *Fire Tube Boiler* !
2. Sebutkan 4 ciri dari *Packaged Boiler* !
3. Gambarkan skema *Water Tube Boiler* !
4. Bagian yang berfungsi untuk manampung uap pada boiler adalah
5. Apa yang dimaksud dengan kapasitas boiler ?
6. Sebutkan 4 jenis boiler berdasarkan kapasitasnya!
7. Tujuan lorong api pada boiler dibuat bergelombang adalah
8. Fungsi katup pengaman pada boiler adalah
9. Pada boiler salah satu hal yang harus dicegah adalah terjadinya air mati. Apa yang dimaksud dengan air mati tersebut ?
10. Alat yang berfungsi untuk melihat tinggi permukaan air di dalam boiler secara langsung adalah
11. Alat pengaman boiler yang memiliki fungsi menekan air kedalam boiler adalah
12. Sebutkan 5 sistem kontrol pada boiler !
13. Sebutkan komponen-komponen utama untuk membuat suatu sistem pengontrolan level air pada boiler agar sistem dapat berfungsi !
14. Sebutkan 3 jenis *Drum Level Control* yang biasa digunakan pada pengontrolan boiler !
15. Tujuan penggunaan *Combustion Control* pada sistem boiler adalah

16. Sebutkan dua elemen penting yang dikendalikan pada sistem pengendalian *Combustion Control* !
17. Alat yang digunakan untuk mengembalikan uap menjadi air kembali adalah
18. Apa yang akan terjadi jika level air dalam boiler terlalu tinggi ?
19. Fungsi *blowdown system* dalam boiler adalah
20. Apa tujuan proses *atomizing* bahan bakar cair pada sistem boiler ?
21. Jelaskan syarat-syarat pemilihan bahan bakar yang akan digunakan pada boiler !
22. Jelaskan keuntungan sistem sirkulasi udara tarikan paksa pada suatu boiler !
23. Jelaskan kelebihan dan kekurangan ketel pipa air dibandingkan dengan ketel jenis lainnya !
24. Gambar P&ID sebuah sistem pengontrolan Drum Water Level Control pada boiler dan jelaskan prinsip kerjanya !
25. Jelaskan apa yang terjadi jika level air pada boiler kurang dari set point dan level air lebih tinggi dari set pointnya.

DAFTAR PUSTAKA

Djokosetyardjo, Ir. MJ. 1990. **Ketel Uap**. Jakarta:Pradnya Paramita.

Djokosetyardjo, M.J. 1990. *Penjelasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*. P.T. Pradya Paramitha. Jakarta

Ir. Sularso, MSME dan Prof. Dr. Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1983

[http://smk3ea.wordpress.com/2008/07/08/air-dan fungsinya-sebagai-umpan-boiler-dan cooling-tower/](http://smk3ea.wordpress.com/2008/07/08/air-dan-fungsinya-sebagai-umpan-boiler-dan-cooling-tower/).

<http://id.scribd.com/doc/186651454/Compressor-Sliding-Vane>

<http://karangpundung.blogspot.com/2011/05/kompresor-rotari> compressor-rotary.html

<http://www.thermopedia.com/content/647/>

web.ipb.ac.id/~erizal/mekflud/MESIN-MESIN%20FLUIDA.pdf

<https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&ved=0CEkQFjAG&url=http%3A%2F%2Findahkireilestari.files.wordpress.com%2F2011%2F04%2Fpompa1.doc&ei=pHnmUqGfCc3GrAeNmlCYCQ&usg=AFQjCNG4iSty50EXh0cWrOJCBSm5uJ5oaQ&bvm=bv.59930103,d.bmk>

<http://www.agussuwasono.com/artikel/teknologi/mechanical/65-teori-dasar-pompa-sentrifugal.html?showall=&start=2>

<http://www.energyefficiencyasia.org>

<http://d-p-y.blogspot.com/2013/05/dasar-teori-boiler.html>

<https://asro.wordpress.com/category/process-equipment-control/>