

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Udara Pejalan Mesin Induk (*Main Engine of Starting Air System*)

Menurut H. Nurdin untuk mesin induk diatas kapal, baik diesel 4-tak maupun 2-tak digunakan udara untuk *start engine*, udara ini diproduksi dari kompresor udara dan ditampung di bejana udara (*air reservoir*). Tekanan kerja untuk udara pejalan ini dimulai dari tekanan 25-30 bar. Menurut SOLAS, bahwa untuk mesin digerakkan langsung tanpa *reduction gear (gear box)* harus dapat distart 12 kali tanpa mengisi lagi, sedangkan untuk mesin-mesin dengan *gear box* dapat distart 6 kali.

Menurut Anthoni Corder pada umumnya, sistem start dibagi menjadi 2 kategori, yaitu dengan *Direct* dan *indirect*, *direct* yaitu *starting* dilakukan dengan perlakuan langsung terhadap ruang bakar/piston dengan menyuplai tekanan udara keruang bakar sehingga piston akan bergerak. Sedangkan untuk *indirect* yaitu *starting engine* yang dilakukan dengan perlakuan terhadap *crankshaftnya* atau *flywheelnya* yaitu dengan memutar *flywheel* menggunakan motor.

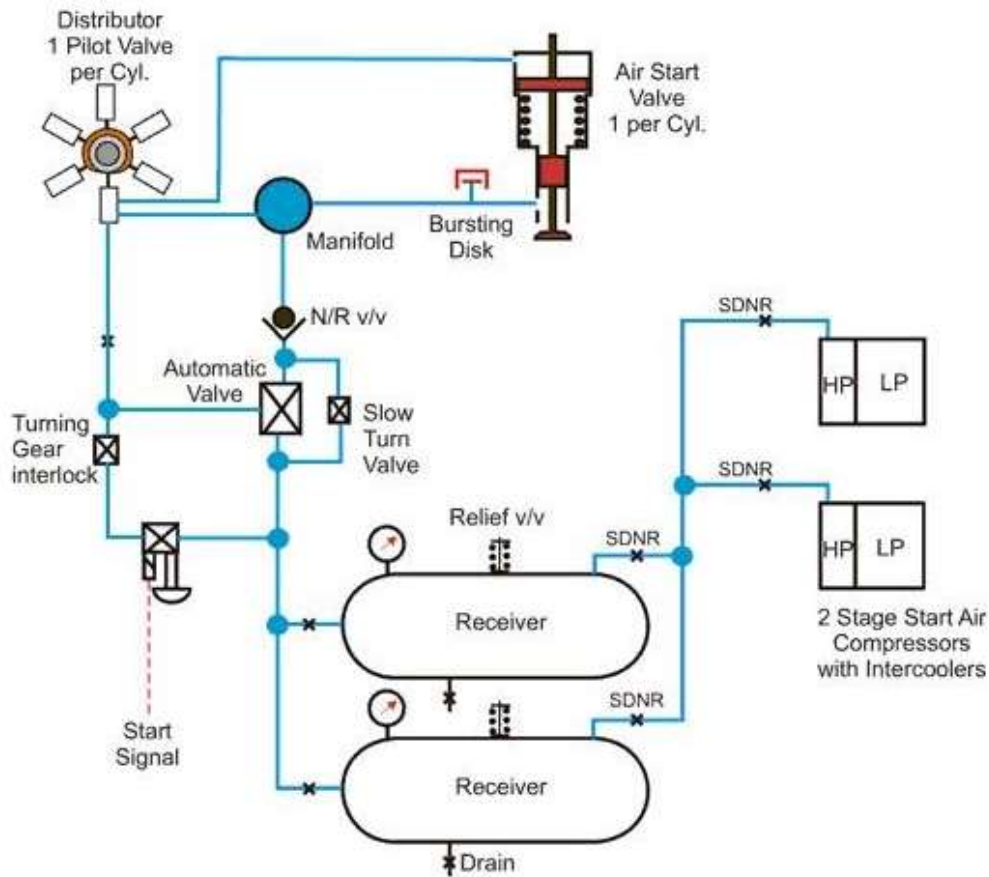
Menurut Dr. Gunawan Hanafi sistem *starting* yang digunakan pada *main engine* di kapal sering menggunakan media udara bertekanan yang disuplai kedalam silinder karena kebanyakan mesin yang digunakan berukuran besar. Penginjeksian udara bertekanan ini dilakukan dengan urutan yang sesuai untuk arah putaran yang disyaratkan. Suplai udara bertekanan di simpan dalam tabung udara (*bottles*) yang siap digunakan setiap saat. Sistem *starting* umumnya dilengkapi dengan katup pembaglik (*interlocks valve*) untuk mencegah *start* jika segala sesuatunya tidak dalam kondisi kerja. Udara bertekanan di produksi oleh kompresor dan disimpan pada tabung (*air receiver*). Udara bertekanan lalu di suplai oleh pipa menuju *automatic valve* dan kemudian ke katup udara *start* silinder. Pembukaan katup *start* akan memberikan udara bertekanan ke dalam silinder. Pembukaan katup silinder dan *automatic valve* dikontrol oleh *pilot air system*. *Pilot air* ini diberi dari pipa besar dan menerus ke katup pengontrol yang dioperasikan dengan lengan udara *start* pada *engine*. Jika lengan ini dioperasikan, suplai *pilot air* mampu membuka *automatic valve*. *Pilot air* untuk arah operasi yang sesuai juga disuplai ke distributor udara. Alat ini umumnya digerakkan dengan *camshaft* dan memberi *pilot air* ke silinder kontrol dari katup *start*. *Pilot air* lalu disuplai dalam urutan yang sesuai dengan operasi mesin. Katup udara pejalan dipertahankan tertutup oleh pegas jika tidak digunakan dan dibuka oleh *pilot air* yang langsung memberi

udara bertekanan ke dalam silinder. Sebuah *interlock* didalam *automatic valve* yang menghentikan pembukaan katup jika *turning gear* engine menempel. Katup ini mencegah udara balik yang telah dikompresikan oleh mesin kedalam sistem. Dan berikut ini merupakan pengelompokan dari sistem udara pejalan antara lain :

1. *Starting* dengan Udara Bertekanan

*Starting* dengan udara bertekanan menggunakan udara bertekanan 28-30 bar pada botol udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor udara di kamar mesin. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian udara pejalan antara lain :

- a. Mesin Penggerak Utama yang dihidupkan dengan udara bertekanan dilengkapi dengan paling tidak dua kompresor. Satu diantaranya berpenggerak independen dari *main engine*, dan harus mampu mensuplai 50% dari total kapasitas yang diperlukan.
- b. Kapasitas total udara start dalam tabung harus dapat diisi dari tekanan atmosfer sampai tekanan kerja 30 bar dalam waktu 1 jam.
- c. Tabung udara disediakan dua dengan ukuran yang sama dan dapat digunakan secara independen.
- d. Kapasitas total tabung harus memperhatikan paling tidak dapat digunakan start 12x baik maju atau mundur untuk mesin yang *reversibel* dan tidak kurang dari 6x start untuk *engine non-reversibel*. Jumlah start berdasar pada mesin saat dingin dan kondisi siap start.
- e. Jika sistem udara pejalan digunakan untuk *starting auxiliary engine*, mensuplai peralatan *pneumatic*, peralatan *maneuvering*, atau *tyfon* semuanya disuplai dari tabung udara maka harus dipertimbangkan dalam perhitungan kapasitas tabung udara.



Gambar 2.1 Sistem Udara Pejalan Mesin Induk  
(Perencanaan TeknikMesin, Juni1995)

## 2. Jalur Udara Bertekanan

Jalur udara bertekanan menggunakan pipa tekanan tinggi dengan kekuatan tekan yang disesuaikan serta anti korosi, udara bertekanan di atas kapal disalurkan sesuai *reducing station valve* sesuai kebutuhan tekanan. Syarat jalur udara bertekanan antara lain :

- Jalur tekanan yang terhubung ke kompresor dipasang dengan *non-RV* pada *outlet kompresor*.
- Jalur udara start tidak boleh digunakan sebagai jalur pengisian untuk tabung udara.
- Hanya selang/pipa dengan material yang sudah dites yang dapat dipasang pada jalur *starting diesengine* dimana tetap terjaga tekanannya.
- Jalur udara start untuk setiap mesin dilengkapi dengan *non return valve* dan penguras (*drain*).
- Tyfans* harus disambungkan pada dua tabung udara.

- f. Sebuah katup pengaman harus dipasang dibelakang pada setiap katup penurunan tekanan(*reducing valve*).
- g. Tekanan tangki air dan tangki lainnya yang dihubungkan ke sistem udara bertekanan dipertimbangkan sebagai tabung tekan dan harus sesuai persyaratan standar.

## **2.2 Bagian Utama Dari Penataan Sistem Udara Pejalan Dan Fungsinya Masing-Masing**

Didalam sistem udara pejalan terdapat pesawat/bagian pendukung untuk kelancaran pengoperasian udara *start* dan keamanan dalam pengoperasiannya. Bagian-bagian dan fungsi dari penataan sistem udara pejalan adalah sebagai berikut ini antara lain :

Kompresor mesin induk adalah instalasi mesin dalam kapal yang dipergunakan untuk menggerakkan/memutar poros baling-baling sehingga kapal dapat bergerak, sedangkan mesin bantu adalah motor yang dipergunakan untuk menggerakkan generator listrik sehingga menghasilkan arus listrik yang kemudian digunakan untuk pesawat-pesawat yang memerlukan tenaga tersebut, misalnya kompresor.

Menurut Haruo Tahara Sularso (2000), kompresor adalah mesin untuk memampatkan udara atau gas. Secara umum biasanya mengisap udara dari atmosfer, yang secara fisika merupakan campuran beberapa gas dengan susunan 78% Nitrogen, 21% Oksigen dan 1% Campuran Argon, Carbon Dioksida, Uap Air, Minyak, dan lainnya. Kompresor udara darurat (*Emergency air pressure system*) memiliki kompresor tersendiri (*emergency kompresor*) yang bersifat independen yang memiliki penggerak berupa motor diesel yang dapat dinyalakan dengan tangan, atau air kompresor berpenggerak manual dengan tangan. Kompresor udara darurat mengisi *emergency air receiver* yang kapasitasnya lebih kecil dari *main air receiver*. Udara bertekanan yang tersimpan pada *emergency air receiver* ini digunakan untuk menyalakan *auxiliary engine* yang menggerakkan generator. Secara garis besar klasifikasi kompresor adalah sebagai berikut :

### **1. Pengertian Kompresor Udara**

Kompresor udara di dalam kamar mesin sebuah kapal merupakan salah satu dari beberapa pesawat bantu yang ada di kapal. Fungsi kompresor adalah pesawat bantu yang berfungsi untuk mendapatkan udara kerja yang ditampung dalam tabung udara yang mempunyai tekanan lebih dari 1 ATM (20 – 30 kg/cm<sup>2</sup>).

Pada umumnya pada kapal dipasang 2 buah kompresor yang mempunyai tujuan apabila salah satu dari kompresor rusak atau macet, masih ada yang lain yang dapat menggantikan.

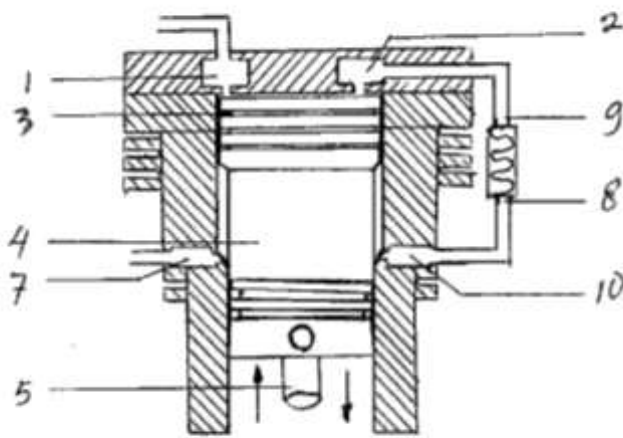
Kompresor udara pada kapal ada 2, yaitu

- a. Kompresor udara utama yang berfungsi untuk mengisi udara kerja pada botol angin utama.
- b. Kompresor udara bantu yang berfungsi :  
Untuk emergency bilamana kompresor udara utama rusak / macet dan untuk mengisi udara pada botol angin bantu.

## 2. Prinsip Kerja Kompresor Udara

Kompresor udara yang ada di kapal sangat mempengaruhi kerja mesin. Berhubung paling banyak digunakan pada kapal adalah 2 tingkat, maka penulis hanya menguraikan prinsip kerja kompresor udara 2 tingkat.

### 2.3 Prinsip Kompresor udara 2 tingkat :



Gambar 2.2 kompresor udara 2 tingkat

Keterangan

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. Katup isap tekanan rendah  | 7. Katup tekan tekanan tinggi |
| 2. Katup tekan tekanan rendah | 8. Inter coller               |
| 3. Cincin torak               | 9. Air laut pendingin masuk   |
| 4. Torak/ piston              | 10. Air laut pendingin keluar |
| 5. Batang torak               | 11. Torak naik                |
| 6. Katup isap tekanan tinggi  | 12. Torak turun               |

Udara diluar dihisap oleh torak tekanan rendah melalui saringan (filter) dan masuk ke dalam silinder melalui katub hisap tekanan rendah. Setelah dikompresikan dalam silinder. Udara keluar melalui katub tekan tekanan rendah, kemudian udara didinginkan pada inter cooler dan selanjutnya udara masuk ke dalam silinder tekanan tinggi melalui katub isap tekanan tinggi dan udara keluar melalui inter cooler menuju tabung udara (botol angin) melalui katub tekan tekanan tinggi.

Selama kompresor bekerja perlu adanya pendinginan, pendinginan diambil dari air laut dan agar kompresor tidak mengalami kerusakan maka bagian tertentu dipasang Zink Anoda untuk menghindari korosi.

Alasan kompresor perlu pendingin adalah

1. Untuk memperkecil suhu udara
2. Untuk memperbesar rendemen volumetric
3. Memperkecil kenaikan suhu pada kompresor

#### **2.4. Alat Pengaman Kompresor Udara**

Untuk meningkatkan keselamatan kerja pada kompresor udara perlu dipasang alat-alat pengaman agar kompresor dapat bekerja dengan aman dan tidak ada gangguan waktu bekerja.

Fungsi dari alat-alat pengaman kompresor antara lain :

1. Katub Keamanan

Katub keamanan berfungsi untuk mengeluarkan tekanan lebih dari yang diijinkan sehingga dapat menghindari terjadinya ledakan.

2. Katub Cerat

Katub cerat digunakan untuk start pertama agar tidak terjadi ledakan

3. Gelas Penduga Minyak Lumas

Gelas penduga minyak lumas ini berfungsi untuk mengetahui atau melihat tinggi rendahnya minyak lumas dalam sistem.

4. Saringan/Filter

Filter digunakan untuk menyaring udara yang masuk kedalam sistem sehingga tidak masuk dan membawa kotoran

5. Manometer

Manometer berfungsi untuk mengetahui tekanan kerja dan tekanan yang diijinkan yaitu  $30 \text{ kg/cm}^2$ .

6. Termometer

Termometer berfungsi untuk mengetahui suhu air pendingin saat bekerja yaitu pada suhu  $80^\circ \text{C}$ .

## **2.5. Alat-alat bantu kompresor**

Selain dilengkapi dengan alat pengaman, kompresor juga dilengkapi dengan alat bantu guna menunjang proses kerjanya. Alat bantu pada kompresor antara lain;

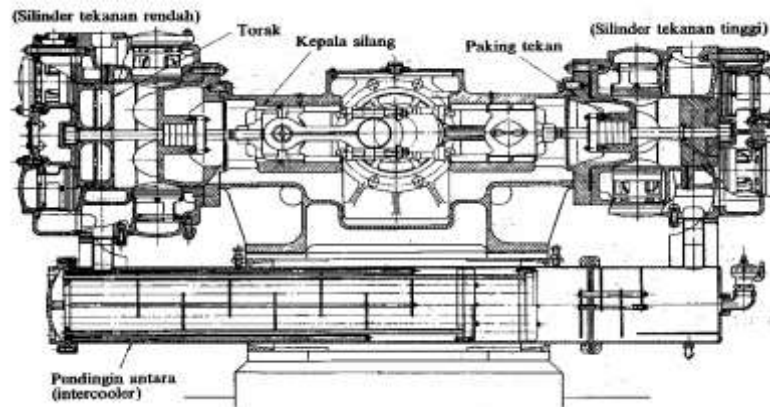
1. Tabung udara (botol angin) dengan tekanan max.  $30 \text{ kg/cm}^2$
2. Motor listrik sebagai tenaga penggerak
3. Penggerak diesel (untuk kompresor bantu)

## 2.6. Bagian-bagian kompresor

Bagian-bagian dari kompresor antara lain :

1. *Cylinder head*, sebagai tempat kedudukan katub isap dan katub tekan
2. Torak (*Piston*)

Torak dibuat dari paduan ringan. Pada bagian atas dan bawah terdapat 3 buah alur. Alur nanti terpasang cincin torak (ring).

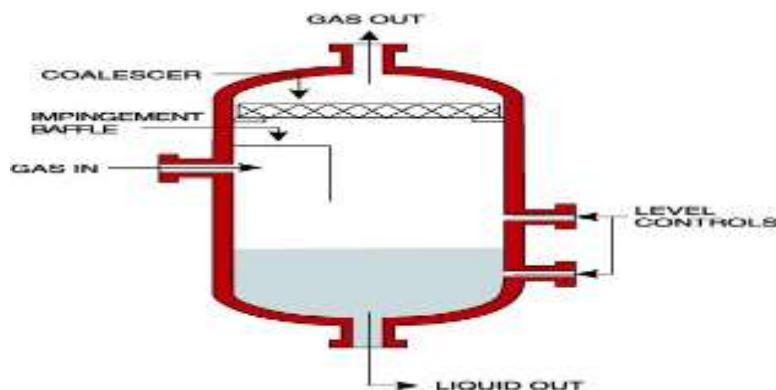


Gambar 2.3 Kompresor Torak Dua Tingkat Tekanan

(Manajemen Perawatan, YayasanBina Citra Samudra Jakarta.)

### 3. Separator

*Separator* berfungsi untuk memisahkan kandungan air yang turut serta dalam udara/udara lembab (*air humidity*) kompresi yang diakibatkan oleh pengembunan sebelum masuk ke tabung botol angin. Sehingga *separator* disediakan *steam trap* guna menampung air tersebut untuk selanjutnya dibuang ke got.



Gambar 2.4 Separator

(*Instruction And Manual Book For Airb Starting system*, Maret 1998.)



a. Botol Angin (*Main Air Receiver*)

*Main air receiver* berfungsi untuk menyimpan udara bertekanan diperlukan tabung udara dengan kemampuan menahan udara bertekanan tinggi hingga 30 bar. Pada tabung udara terdiri dari badan tabung, *drain valve* dan kepala tabung. Pada kepala tabung terdapat *main stop valve*, *safety valve* dan *auxiliary valve*. *Safety valve* berguna sebagai pengaman jika terjadi tekanan yang melebihi tekanan yang disyaratkan oleh tabung, maka katup akan otomatis membuka. *Main stop valve* berfungsi untuk menyalurkan udara bertekanan menuju ke katup pejalan yang ada pada kepala silinder. *Auxiliary valve* dapat digunakan sebagai sistem udara kontrol. Sistem udara kontrol biasanya mempunyai tekanan sekitar 6 bar, sehingga diperlukan *air reducer*. *Reducing station* berfungsi untuk mengurangi tekanan dari 30 bar menjadi 7 bar guna keperluan untuk pembersihan *turbocharger* dan pengisian tekanan pada tanki *hidrophore*.



Gambar 2.5 *Main Air Receiver*

(Teknik Manajemen Pemeliharaan, Mei 1973.)

Menurut Budi Hendarto Wijaya (2010), pada prinsipnya adalah udara yang bertekanan pada tabung udara dialirkan ke ruang bakar sehingga mendorong piston ke bawah secara bergantian sesuai dengan *firing order*. Ketika poros engkol pada mesin diesel mulai berputar dan menghasilkan pembakaran maka poros engkol telah digerakkan sendiri oleh tenaga mesin diesel dan *pneumatic starting* berhenti. *Starting air receiver* harus disediakan *manhole* dan *flage* untuk *pipe connection*. *Starting air receiver* memiliki volume untuk *irreversible 12 start* sebesar  $2 \times 1.5 \text{ m}^3$ , dengan tekanan kerja sebesar 30 bar.

**TABLE 2.1**  
**KEBUTUHAN UDARA DAN TEKNANAN UDARA UNTUK BEBERAPA**  
**PENGGUNAAN DI KAPAL**

No.	Penggunaan	(kg/cm <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /min.)
1.	<i>Air Motor</i>	4 – 7	0,25
2.	<i>Spray Gun</i>	4	0,5 t hoist 3,7
3.	<i>Air Hoist</i>	5	2,7 t hoist 3,7
4.	<i>Hydrophore Unit</i>	3-7	<i>Very Little</i>
5.	<i>Air Operated type pump</i>	-	2
6.	<i>Pressure Log</i>	-	<i>Very Little</i>

(Engine Manual Book, Mei 1979, hal 4.)

b. Katup Udara (*Air Valve*)

Menurut Anthoni Corder katub udara merupakan bagian penting dalam *air starting systems* supaya udara dapat di transfer tanpa adanya kebocoran, macam-macam katup udara adalah sebagai berikut :

- 1) Main starting valve

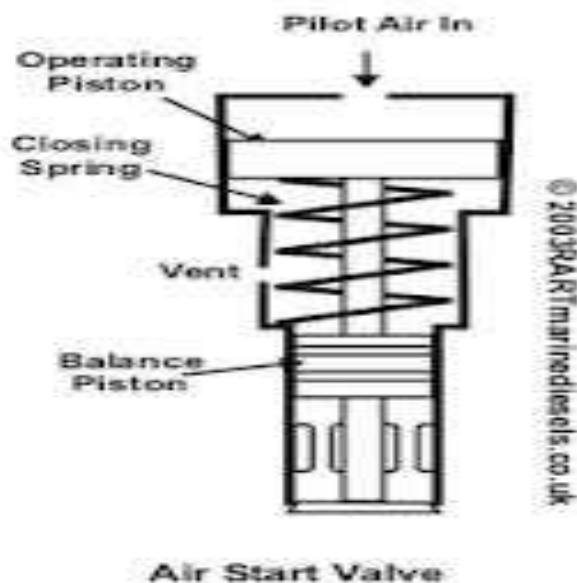
*Main starting valve* berfungsi sebagai katup penyalur untuk pembagi ke masing-masing kepala silinder dan penyalur udara untuk pejalan.

2) Reducing valve

Berfungsi untuk mereduksi tekanan keluaran dari *main air receiver* sebesar 30 bar guna keperluan pengujian katup bahan bakar dan keperluan yang lain.

3) Air starting valve

*Air starting valve* berfungsi untuk menyalurkan udara *start* kedalam *cylinder liner* terdiri dari katup utama, *piston*, *bushing* dan *spring* yang merupakan komponen utama dari *starting valve*. Katup utama akan membuka jika udara kontrol menekan piston sehingga katup terbuka dan udara bertekanan 30 bar masuk ke ruang bakar menekan piston. Hal tersebut berlangsung berurutan sesuai dengan urutan *firing order* sampai terjadi pembakaran di ruang bakar. Setelah terjadi pembakaran di ruang bakar maka *starting air control valve* akan berhenti bekerja dan semua *starting valve* akan menutup. Berfungsi sebagai katup penyalur untuk pembagi ke masing-masing kepala silinder dan penyalur udara untuk menjalankan mesin.

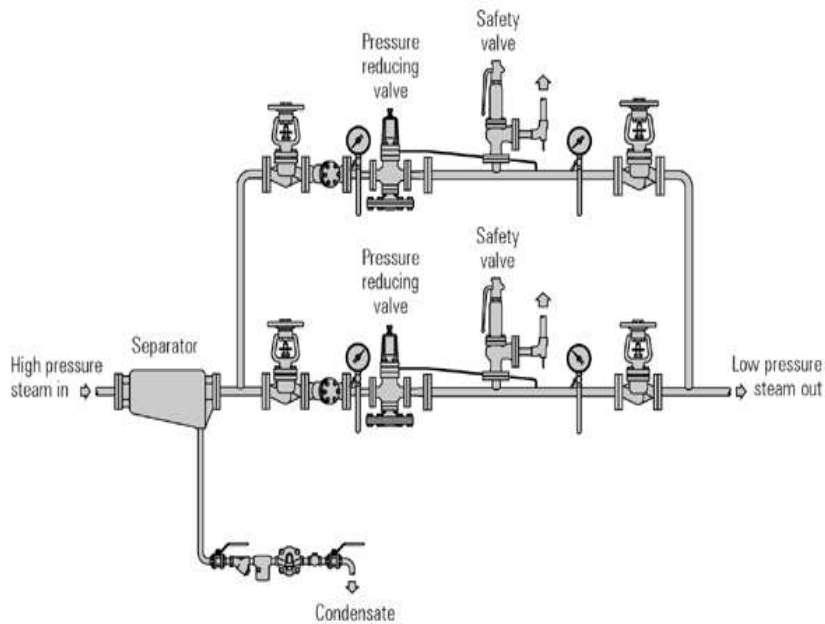


Gambar 2.6 *Air Starting Valve*  
(Teknik Manajemen Pemeliharaan, Mei 1973.)

4) Reducing station valve

Reducing station valve berfungsi untuk mengurangi tekanan dari 30 bar

menjadi 7 bar hal ini diperlukan untuk pembersihan *turbocharger* beserta salurannya menuju mesin induk.

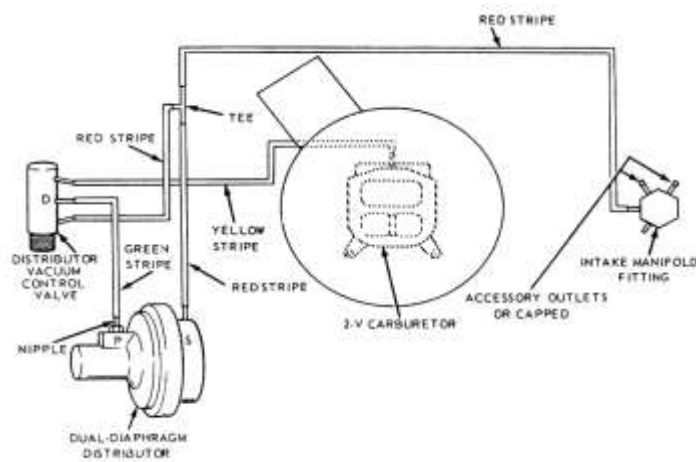


Gambar 2.7 Reducing system

(Perencanaan Teknik Mesin, Juni 1999.)

#### 5) Distributor valve

berfungsi sebagai pembagi pada katup udara pejalan (*air starting valve*) yang bekerja menggunakan *plunger* dan menentukan katup *starting valve* mana yang harus dibuka untuk menghidupkan mesin.



Gambar 2.8 Distributor Valve

(Perencanaan TeknikMesin, Juni1995.)

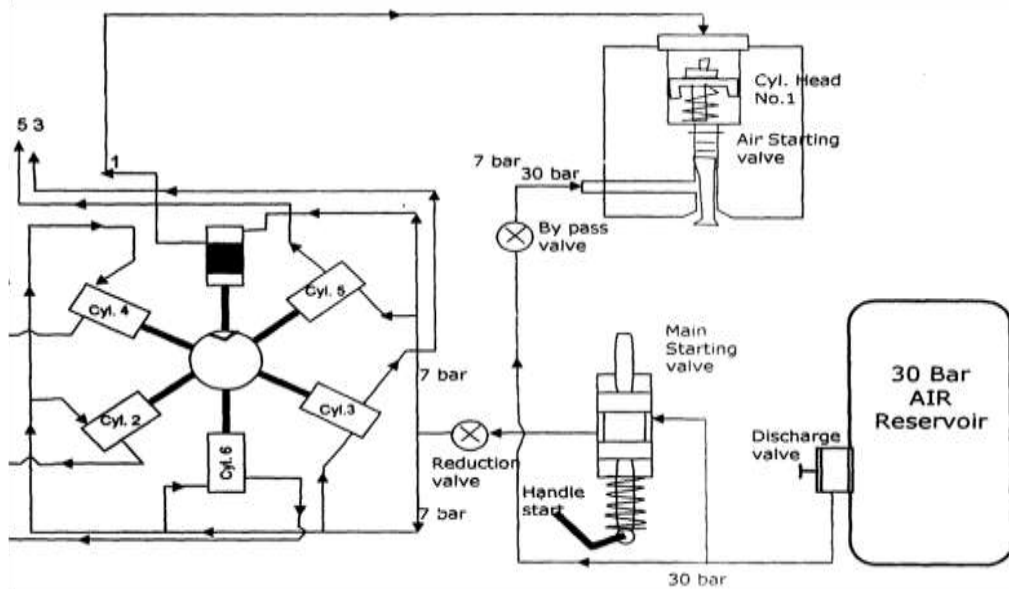
## 2.7 Prinsip Kerja Sistem Udara Pejalan

Mesin utama yang digunakan untuk *start* dilakukan oleh udara bertekanan dari tabung udara bertekanan, yang kemudian akan dimasukkan ke silinder dalam rangkaian yang sesuai dengan arah yang dibutuhkan/disyaratkan. Cara kerja dari sistem ini adalah dengan cara memampatkan udara yang disuplai oleh kompresor ke tabung udara tekan. Udara bertekanan lalu disuplai oleh pipa menuju *automatic valve* dan kemudian ke katup udara *start* silinder. Pembukaan katup *start* akan memberikan udara bertekanan ke dalam silinder. Pembukaan katup silinder dan *automatic valve* dikontrol oleh *pilot air sistem*. *Pilot air* ini diberi dari pipa besar dan menerus ke katup pengontrol yang dioperasikan dengan lengan udara pejalan pada mesin. Jika lengan ini dioperasikan, suplai *pilot air* mampu membuka *automatic valve*. *Pilot air* untuk arah operasi yang sesuai juga disuplai ke distributor udara. (Sumber : *ship book operation, air start system*).

Menurut J.H Jusak Alat pada mesin ini digerakkan dengan *camshaft* dan memberi *pilot air* ke silinder kontrol dari katup pejalan. *Pilot air* lalu disuplaidalam urutan yang sesuai dengan operasi mesin. Katup udara pejalan dipertahankan tertutup oleh pegas jika tidakdigunakan dan dibuka oleh *pilot air* yang langsung memberi udara bertekanan ke dalam silinder. Sebuah *interlock* didalam *automatic valve* yang menghentikan pembukaan katup jika *turning gear engine* menempel. Katup ini mencegah udara balik yang telah dikompresikan oleh mesin ke dalam sistem. Adapun penjelasan yang singkat dari prinsip kerja udara pejalan untuk *start engine* baik pada saat kapal berangkat ataupun saat olah gerak, dilaksanakan sebagai berikut :

1. Udara dari bejana udara minimal  $20 \text{ kg/cm}^2$
2. (20 bar) karena bila tekanan udara dibawahnya, maka udara tersebut tidak mampu menekan piston kebawah.
3. Katup tekan di bejana udara dibuka penuh, maka udara akan keluar ke *main starting valve*. Setelah udara tersebut direduksi tekanannya hingga  $\pm 10$  bar.
4. Bila *handle start* ditekan kebawah, maka udara keluar dari sistem sebagian masuk dulu ke *distributor valve* dan sebagian lagi ke *cylinder head air starting valve*. Udara start ini diatur oleh *distributor valve* dengan tekanan 10bar mana yang bekerja pada proses *expansi* (hanya ada 1 silinder yang bekerja) melalui *plunyer* yang dihubungkan dengan *firing ordernya* (misalnya motor diesel 4 tak adalah 1-3-5-2-4-6).
5. *Distributor valve* mengatur *plunyer* yang bekerja dan udara ini langsung

menggerakkan piston melalui *air starting valve di cylinder head*. Udara suplai ini diperoleh dari bejana udara. Jadi udara tersebut melaksanakan kerja parallel, disamping mengatur ke *distributor valve* sekaligus untuk udara pejalan mendorong piston kebawah pada tekanan minimal 7 bar sesuai tekanan dalam botol angin.



Gambar 2.9 Engine Starting system

(Manajemen Perawatan, Mei 2003.)

6. Udara pejalan dengan tekanan 30 bar disuplai oleh *starting air compressor* menuju ke *starting air receiver* dan dari *starting air receiver* menuju ke *air inlet* pada mesin. Melalui *reduction station* udara ditekan atau dimampatkan pada tekanan 7 bar yang disuplai ke mesin sebagai:
  - a. Mengontrol udara untuk sistem manuver, dan untuk *exhaust valve air spring*, melalui kontrol pemasukan udara.
  - b. *Safety air* untuk berhenti tiba-tiba (*Emergency stop*) melalui *safety air inlet*.
  - c. Melalui *reducing valve* disuplai udara yang dimampatkan pada tekanan 10 bar ke air inlet untuk *turbocharger cleaning*, dan volume yang sedikit digunakan untuk *fuel valve testing unit*.

Menurut Dr. Gunawan Hanafi Konsumsi udara untuk mengontrol udara, *safety air*, *turbocharger cleaning*, *sealing air* untuk *exhaust valve* dan untuk *fuel valve testing unit* dan *starting aux. Engine dicover* oleh bagian kapasitas untuk *air receiver* dan kompresor pada *list capacity*. *Starting air pipe* terdiri dari sebuah katup pejalan utama, sebuah katup *non-return*, *starting air distributor* dan katup starting. Udara pejalan dengan tekanan 30 Konsumsi udara

untuk mengontrol udara, *safety air*, *turbocharger cleaning*, bar disuplai oleh kompresor ke tabung udara tekan kemudian menuju ke *main engine* melalui *inlet valve*. Melalui tahap penurunan tekanan, udara bertekanan 8,6 bar disuplai ke mesin seperti:

- 1) Kontrol udara untuk sistem *manuvering*, dan pegas udara *exhaust valve*.
- 2) Udara pengaman untuk *emergency stop*.