



TEKNIK MESIN INDUSTRI JILID 2

untuk SMK

Sunyoto



Sunyoto

Teknik Mesin INDUSTRI

JILID 2

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Sunyoto, dkk.

TEKNIK MESIN INDUSTRI

JILID 2

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK MESIN INDUSTRI JILID 2

Untuk SMK

Penulis : Sunyoto
Karnowo
S. M. Bondan Respati

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUN SUNYOTO

t

Teknik Mesin Industri Jilid 2 untuk SMK /oleh Sunyoto,
Karnowo, S. M. Bondan Respati ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan
Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen
Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan
Nasional, 2008.

xii, 211 hlm

Daftar Pustaka : Lampiran. A

Daftar Gambar : Lampiran. B

ISBN : 978-979-060-085-0

ISBN : 978-979-060-087-4

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada d luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

PENGANTAR PENULIS

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas bimbingan dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan buku ini.

Buku yang diberi judul "Teknik Mesin Industri" ini disusun dengan memperhatikan rambu-rambu yang ada, antara lain Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan, Standar Isi, Standar Kompetensi Lulusan, dan Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya bidang keahlian Teknik Mesin.

Buku ini banyak membahas tentang mesin-mesin konversi energi, dimana sesuai dengan silabus dalam KTSP bidang Teknik Mesin materi tersebut terdapat dalam mata pelajaran produktif kategori dasar kompetensi kejuruan. Sesuai spektrum Pendidikan Kejuruan Kurikulum Edisi 2004, bidang keahlian Teknik Mesin terdiri dari 9 (sembilan) program keahlian dimana materi dasar kompetensi kejuruan diberikan kepada sembilan program keahlian tersebut.

Diharapkan buku ini dapat dijadikan pedoman atau rujukan bagi siswa dan guru SMK bidang keahlian Teknik Mesin khususnya, dan bidang keahlian lain pada umumnya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pembinaan SMK, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Depdiknas yang telah memberi kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan buku ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penulisan buku ini, baik dari kalangan akademisi maupun praktisi.

Akhir kata, mudah-mudahan buku ini bermanfaat bagi seluruh pembaca dan masyarakat luas pada umumnya. Kritik dan saran demi perbaikan buku ini akan penulis terima dengan senang hati. Wassalam.

Tim Penulis

ABSTRAK

Buku Teknik Mesin Industri ini dibuat dengan harapan memberikan manfaat bagi para siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) khususnya bidang keahlian Teknik Mesin, sehingga mereka mempunyai pengetahuan dasar tentang prinsip konversi energi dan mesin-mesinnya. Buku ini memaparkan teori dasar konversi energi dan ditambah dengan penjelasan konstruksi-konstruksi mesin pada setiap bab. Pada bab-bab awal dipaparkan tentang dasar-dasar kejuruan serta ilmu-ilmu dasar meliputi mekanika fluida, termodinamika, perpindahan panas. Penjelasan pada setiap bab dilengkapi dengan gambar-gambar dan diagram untuk mempermudah pemahaman siswa.

Uraian per bagian mengacu pada standar kompetensi dalam Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) khususnya bidang keahlian Teknik Mesin. Penjelasan ditekankan pada konsep dasar, mulai dari sejarah perkembangan sampai teknologi terbaru yang ada. Pembuktian secara kuantitatif terhadap konsep-konsep konversi energi dibatasi. Siswa dalam membaca buku ini diarahkan hanya untuk melogika teori dasar dengan tujuan mempermudah pemahaman.

Konsep konversi energi diuraikan dengan membahas terlebih dahulu teori yang mendasari. Untuk pompa, kompresor dan turbin air teori dasar yang diuraikan adalah sama, yaitu penerapan mekanika fluida. Pada mesin-mesin kalor, motor bakar, turbin gas, dan turbin uap, teori yang mendasari adalah termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas.

Untuk melengkapi paparan konsep-konsep dasar pada setiap bab diberikan contoh-contoh aplikasinya. Fokus pembahasan di dalam buku ini adalah mesin-mesin yang mengkonversi sumber-sumber energi yang tersedia di alam untuk menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan. Mesin-mesin pompa dan kompresor, dibahas detail dalam buku ini karena mesin-mesin tersebut dianggap sebagai alat bantu untuk pengoperasian mesin-mesin konversi. Selanjutnya dibahas tentang mesin-mesin panas, seperti motor bakar, turbin gas, dan turbin uap. Pada bagian akhir buku dibahas tentang turbin air, refrigerasi dan pengkondisian udara.

DAFTAR ISI

JILID 1

BAB 1 DASAR KEJURUAN	1
A. Dasar ilmu statiska	1
A.1. Tegangan tarik dan tekan.	1
A.2. Rasio poison	2
A.3. Tegangan Geser	2
A.4. Tegangan Bending	2
A.5. Tegangan Maksimum	3
A.7. Torsi.....	3
B. Mengenal Elemen Mesin.....	4
B.1. Rem	5
B.2. Roda gigi.....	5
B.3. Bantalan.....	7
B.4. Pegas.....	8
B.5. Poros	10
B.6. Transmisi	11
C. Mengenal material dan kemampuan proses	14
C.1. Besi cor.....	14
C.2. Baja karbon	16
C.3. Material non logam	17
BAB 2 MEMAHAMI PROSES–PROSES DASAR KEJURUAN	19
A. Mengenal Proses Pengecoran Logam	19
B. Mengenal Proses Pembentukan Logam	21
B.1. Pembentukan plat	21
B.2. Kerja bangku.....	21
C. Proses Mesin Perkakas	24
C.1. Mesin bubut.....	24
C.2. Mesin fris	26

D. MENGENAL PROSES MESIN KONVERSI ENERGI	27
D.1. Termodinamika	27
D.2. Bentuk-bentuk energi	
D.3. Sifat energi	33
D.4. Hukum termodinamika	38
D.5. Gas Ideal.....	43
E. Dasar Fluida.....	46
E.1. Massa jenis	46
E.2. Tekanan	46
E.3. Kemampumampatan	48
E.4. Viskositas	49
E.5. Aliran fluida dalam pipa dan saluran	50
E.6. Kondisi aliran fluida cair	54
F. Perpindahan Panas.....	55
F.1. Konduksi.....	55
F.2. Konveksi.....	55
F.3. Radiasi.....	56
G. Bahan Bakar.....	57
G.1. Penggolongan bahan baker.....	58
G.2. Bahan-bakar cair.....	59
G.3. Bahan bakar padat.....	64
BAB 3 MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT	
DAN LINGKUNGAN.....	66
A. Keselamatan dan Kesehatan Kerja	66
A.1. Pendahuluan	66
A.2. Peraturan Perundangan K3.....	66
A.3. Prosedur Penerapan K3.....	68
A 4. Penerapan K3 Bidang Pesawat Uap dan Bejana Tekan....	70
A.5. Kebakaran dan Penanganannya.....	72
A.6. Kesehatan Kerja dan Lingkungan	74

BAB 4 MENGGAMBAR TEKNIK.....	77
A. Alat Gambar	77
A.1. Kertas gambar	77
B. Kop Gambar	82
C. Gambar Proyeksi	83
D. Skala	89
E. Ukuran dan Toleransi	90
F. Penyederhanaan gambar	92
G. Lambang Pengerjaan.....	93
BAB 5 DASAR POMPA	97
A. Prinsip Kerja Pompa.....	98
B. Klasifikasi Pompa	99
C. Komponen-Komponen Pompa.....	104
D. Konstruksi Pompa Khusus	106
D.1. Pompa sembur (<i>jet pump</i>)	106
D.2. Pompa <i>viscous</i>	107
D.3. Pompa dengan volute ganda	108
D.4. Pompa CHOPPER	110
D.5. Pompa dengan <i>Reccesed Impeller</i>	110
D.6. Pompa lumpur (<i>slurry</i>)	111
D.7. Pompa LFH (<i>Low Flow High Head</i>)	112
BAB 6 PERFORMANSI POMPA SENTRIFUGAL.....	113
A. Kecepatan Spesifik.....	113
B. Kurva Karakteristik	115
C. Head (Tinggi Tekan)	117
C.1. Head statis total.....	117
C.2. Head Kerugian (Loss).....	120
C.3. Head Hisap Positif Neto NPSH	125
C.4. Hal yang mempengaruhi NPSH yang tersedia.....	128
C.5. Putaran dan jenis pompa.....	129
D. Kerja, Daya dan Efisiensi Pompa.....	129

D.1. Definisi	130
E. Pemilihan Pompa.....	132
E.1. Kapasitas.....	133
E.2. Grafik kerja berguna.....	133
E.3. Hal yang mempengaruhi efisiensi pompa	133
F. Kavitasi.....	134
F.1. Tekanan uap zat cair	134
F.2. Proses kavitasi	134
F.3. Pencegahan kavitasi	135
G. Pemilihan Penggerak Mula.....	137
G.1. Roda gigi transmisi	140
G.2. Pompa dengan penggerak turbin angin.....	141
H. Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem.....	142
I. Operasi Pompa pada Kapasitas tidak Normal	144
I.1. Operasi dengan kapasitas tidak penuh	145
I.2. Operasi dengan kapasitas melebihi normal.....	146
J. Kontrol Kapasitas Aliran	146
J.1. Pengaturan katup.....	147
J.2. Pengaturan putaran	148
J.3. Pengaturan sudut sudu impeler	148
J.4. Pengaturan jumlah pompa.....	150
BAB 7 GANGGUAN OPERASI POMPA.....	154
A. Benturan Air (<i>Water Hammer</i>)	154
A.1. Kerusakan akibat benturan air	155
A.2. Pencegahan benturan air	155
B. Gejala Surjing	156
C. Tekanan Berubah-ubah	157

JILID 2

BAB 8 POMPA PERPINDAHAN POSITIF	159
A. Klasifikasi Pompa Perpindahan Positif.....	159
B. Penggunaan.....	162
C. Pompa Gerak Bolak balik.....	162
C.1.Cara kerja pemompaan	162
C.2. Pemakaian.....	163
C.3. Kekurangan pompa bolak-balik.....	164
C.4. Komponen pompa gerak bolak-balik	164
C.5. Pompa daya	165
C.6. Pompa aksi langsung	168
D. Pompa Rotari	170
D.1. Pompa roda gigi	170
D.2. Lobe, Skrup, vanes, flexibel tube , radial axial, plunger dan circumferential pump.....	171
BAB 9 DASAR KOMPRESOR.....	180
A. Prinsip Kerja Kompresor	180
B. Klasifikasi Kompresor.....	183
C. Penggunaan Udara Mampat	188
D. Dasar Termodinamika Kompresi.....	189
D.1. Proses Kompresi	189
D.2. Temperatur Kompresi, Perbandingan Tekanan dan Kerja	192
E. Efisiensi Kompresor	194
E.1. Efisiensi laju kerja adiabatik kompresor.....	194
E.2. Efisiensi volumetrik	198
F. Jenis Penggerak dan Spesifikasi Kompresor	199
G. Konstruksi Kompresor Perpindahan positif.....	202
G.1. Konstruksi kompresor torak.....	202
G.2. Konstruksi kompresor sekrupKompresor sekrup injeksi minyak.....	211

G.3. Konstruksi kompresor sudu luncur.....	215
G.4. Konstruksi kompresor jenis roots	218
H. Konstruksi Kompresor Rotari Aksial dan Radial	219
I. Gangguan Kerja Kompresor dan Cara Mengatasinya	222
I.1. Pembebanan lebih dan pemanasan lebih pada motor penggerak.....	222
I.2. Pemanasan lebih pada udara hisap	222
I.3. Katup pengaman yang sering terbuka	223
I.4. Bunyi dan getaran	223
I.5. Korosi	224
BAB 10 DASAR MOTOR BAKAR	
A. Sejarah Motor Bakar	230
B. Siklus 4 Langkah dan 2 Langkah.....	237
B.1. Siklus 4 langkah	237
B.2. Siklus 2 langkah	238
C. Daftar Istilah-Istilah Pada Motor Bakar	240
BAB 11 SIKLUS MOTOR BAKAR	245
A. Siklus Termodinamika Motor Bakar	245
A.1. Siklus udara ideal	245
A.2. Siklus aktual	250
B. Menghitung Efisiensi Siklus Udara Ideal.....	251
B.1. Efisiensi dari siklus Otto	252
B.2. Efisiensi siklus tekanan konstan.....	254
BAB 12 PRESTASI MESIN	256
A. Propertis Geometri Silinder.....	258
A.1. Volume langkah dan volume ruang bakar.....	261
A.2. Perbandingan kompresi (compression ratio).....	261
A.3. Kecepatan piston rata-rata.....	262
B. Torsi dan Daya Mesin	262
C. Perhitungan Daya Mesin	264
C.1. Daya indikator	265
C.2. Daya poros atau daya efektif	279

C.3. Kerugian daya gesek	279
D. Efisiensi Mesin	279
D.1. Efisiensi termal	280
D.2. Efisiensi termal indikator.....	280
D.3. Efisiensi termal efektif.....	281
D.4. Efisiensi mekanik.....	281
D.5. Efisiensi volumetric.....	282
E. Laju pemakaian bahan bakar spesifik	283
F. Perhitungan performasi motor bakar torak	283
BAB 13 KOMPONEN MESIN	289
A. Mesin Motor Bakar	289
B. Bagian Mesin.....	289
B.1. Blok silinder	290
B.1.1. Silinder.....	292
B.2. Kepala silinder	295
B.2.1. Bentuk ruang bakar	295
B.3. Piston atau torak.....	296
B.4. Batang torak	300
B.5. Poros engkol.....	301
B.6. Roda gaya	302
B.7. Bantalan.....	302
B.8. Mekanik Katup.....	303
BAB 14 KELENGKAPAN MESIN.....	304
A Sistim Pelumasan	304
A.1.Minyak pelumas.....	305
A.2.Model pelumasan	308
A.3.Bagian-bagian utama pada sistim pelumasan tekan.....	311
A.4. Sistim ventilasi karter.....	313
A.5. Saringan minyak pelumas	313
A.6.Tangkai pengukur minyak.....	314
B. Sistim Pendinginan	315

B.1. Pendinginan air	315
B.2. Pendingin udara	320

JILID 3

BAB 15 TURBIN

B. Asas Impuls dan Reaksi	322
C. Segitiga Kecepatan.....	324
D. Turbin Impuls	327
D.1. Turbin impuls satu tahap (Turbin De Laval)	330
D.2. Turbin impuls gabungan.....	332
E. Turbin Reaksi.....	336

BAB 16 TURBIN GAS 340

A. Sejarah Perkembangan	342
B. Dasar Kerja Turbin Gas	344
B.1. Bahan bakar turbin gas	346
B.2. Proses pembakaran	347

BAB 17 SIKLUS TERMODINAMIKA 351

A. Klasifikasi Turbin Gas	352
A.1 Turbin gas sistem terbuka (langsung dan tidak langsung)	352
A.2. Turbin gas sistem tertutup (langsung dan tidak langsung)	355
A.3. Turbin gas dua poros terpisah.....	357
A.4. Turbin gas dua poros terpusat	358
B. Efisiensi Turbin Gas.....	359
C. Modifikasi Turbin Gas.....	364
C.1. Turbin gas dengan regenerator.....	364
C.2. Turbin gas dengan pendingin sela (intercooler).....	366
C.3. Intercooler, Reheater, dan Regenerato.....	368

BAB 18 KONTRUKSI TURBIN GAS 370

A. Rotor	374
----------------	-----

B. Ruang Bakar	375
C. Kompresor.....	377
D. Turbin.....	380
E. Aplikasi Turbin Gas	381
BAB 19 MESIN TENAGA UAP.....	383
A. Siklus Termodinamika Mesin Uap.....	384
B. Siklus Aktual dari Siklus Rankine	385
C. Peralatan Sistem Tenaga Uap	386
C.1. Boiler	386
C.2. Turbin Uap.....	391
C.3. Kondensor	394
D. Ekonomiser	395
E. Superheater.....	396
F. Burner.....	397
F.1. Burner untuk bahan bakar cair	398
F.2. Burner dengan bahan-bakar gas.....	399
F.3. Burner untuk bakar padat.	401
BAB 20 PRINSIP DASAR ALIRAN	405
A. Sejarah Turbin Air	408
B. Instalasi Pembangkit Tenaga Air.....	411
C. Energi Potensial Aliran Air	414
C.1. Head air.....	415
D. Prinsip Peralian Energi Aliran	416
E. Daya Turbin.....	417
F. Kecepatan Putar Turbin dan Kecepatan Spesifik.....	419
G. Perhitungan Performasi Turbin	420

BAB 21 KLASIFIKASI TURBIN AIR	423
A. Turbin Impuls atau Turbin Tekanan Sama.....	424
A.1. Turbin pelton	424
A.2. Turbin aliran ossberger	428
B. Turbin Reaksi atau Turbin Tekan Lebih.....	429
B.1. Turbin Francis413	429
B.2. Turbin Kaplan	430
C. Perbandingan Karakteristik Turbin	432
BAB 22 DASAR REFRIGERASI DAN	
PENKONDISIAN UDARA	434
A. Klasifikasi Mesin Refrigerasi	434
B. Penggunaan.....	435
B.1. Pengkondisian udara untuk industri	435
B.2. Pengkondisian udara untuk Laboratorium.....	436
B.3. Pengkondisian udara Ruang Komputer	436
B.4. Instalasi penkondisian udara pada	
Instalasi power plant	436
B.5. Pengkondisian udara pada rumah tangga	436
B.6. Pengkondisian udara untuk Automobil.....	437
B.7. Penyimpanan dan pendistribusian	437
C. Sistem Pengkondisian Udara	438
D. Peralatan Pengkondisian udara.....	439
E. Beban Pemanasan dan Pendinginan	440
F. Kualitas udara	444
BAB 23 SIKLUS KOMPRESI UAP.....	446
A. Prinsip Kerja.....	446
B. Daur Refrigerasi Kompresi Uap	448
C. Peralatan Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap.....	452
D. Refrigeran	454
E. Perhitungan Koefisien Unjuk Kerja	455
F. Heat pump atau Pompa Kalor.....	458
G. Refrigerasi Absorpsi	459

BAB 8 POMPA PERPINDAHAN POSITIF

A. Klasifikasi Pompa Perpindahan Positif

Pompa perpindahan positif yaitu pompa yang bekerja menghisap zat cair, kemudian menekan zat cair tersebut, selanjutnya zat cair dike luarkan melalui katup atau lubang ke luar. Jenis pompa ini sudah diciptakan pada tahun 1206 M oleh orang Turki bernama Al Jazari. Beliau mendesain dan membuat pompa torak kerja ganda yang digunakan untuk memompa air.

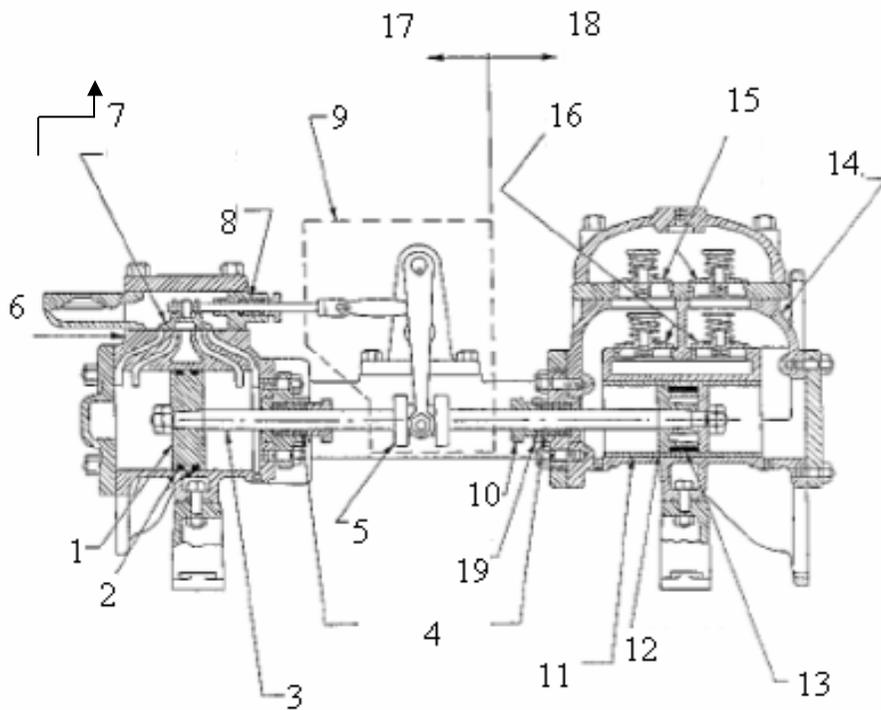
Perkembangan selanjutnya pompa jenis perpindahan positif sangat beragam. Namun, secara umum pompa perpindahan positif dibagi mejadi dua yaitu jenis gerak bolak-balik (*reciprocating*) dan gerak putar (*rotary*). Adapun klasifikasi pompa perpindahan positif adalah sebagai berikut ;

1. Pompa gerak bolak-balik (*reciprocating*)

- A. Pompa Piston atau plunger
 - 1. Pompa aksi langsung (*simplex* atau *duplex*)
 - 2. Pompa daya
 - A. Aksi tunggal atau aksi ganda
 - B. *Simplex, duplex, triplex, atau multiplex*
- B. Pompa Diagfragma
 - 1. Penggerak mekanik atau penggerak fluida
 - 2. *Simplex, atau duplex*

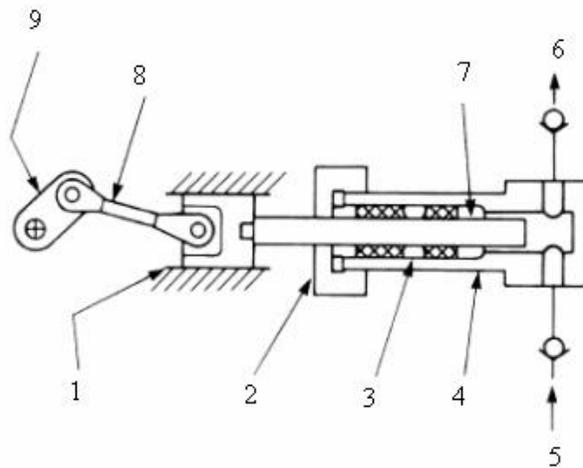
2. Pompa gerak putar (*rotary*)

- A. Rotor tunggal
 - Pompa Vane, torak, ulir, atau pompa *flexible member*
- B. Rotor banyak
 - Pompa roda gigi, lobe, ulir, atau pompa *circumferential piston*



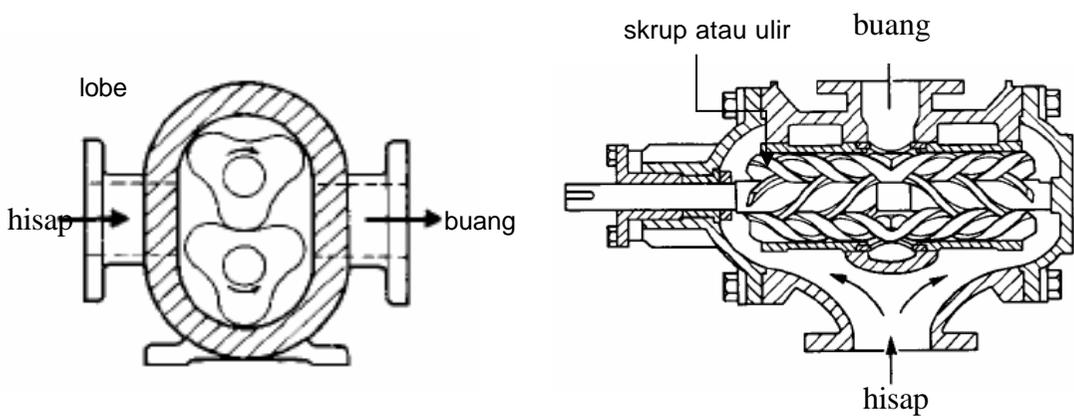
No	Nama Komponen
1	Mesin penggerak torak
2	Cincin torak penggerak
3	Batang torak penggerak
4	<i>Packing</i>
5	Torak
6	Silinder penggerak
7	Katup gas
8	<i>Packing</i>
9	Mekanika katub pemicu
10	Bantalan
11	Pelapis silinder
12	Torak pompa
13	Cincin torak pompa
14	Silinder pompa
15	Katup ke luar
16	Katup masuk
17	mesin penggerak
18	Pompa
19	Tumpuan bantalan

Gambar 8.1 Pompa perpindahan positif gerak bolak-balik



No	Nama Komponen
1	Lintasan torak
2	Penutup
3	Packing
4	Silinder
5	Fluida masuk
6	Fluida ke luar
7	Plunger
8	Batang torak
9	Engkol

Gambar 8.2 Pompa perpindahan positif gerak putar (*rotary*)



Gambar 8.3 Pompa perpindahan positif gerak putar (*rotary*)

B. Penggunaan

Pompa jenis perpindahan positif banyak digunakan untuk melayani sistem instalasi yang membutuhkan head yang tinggi dengan kapasitas rendah. Dengan efisiensi yang lebih tinggi, pompa perpindahan positif dapat mengatasi head tinggi dari sistem, dibanding dengan menggunakan pompa jenis sentrifugal. Untuk mengatasi head yang sama, pompa sentrifugal memerlukan konstruksi yang lebih kuat dan memerlukan daya yang lebih besar. Dengan alasan tersebut, untuk head sistem yang tinggi lebih menguntungkan digunakan pompa perpindahan positif apabila kapasitas aliran tidak menjadi tujuan utama dari pemompaan .

Berdasarkan teori, pompa jenis ini menghasilkan tekanan tinggi dengan kecepatan aliran yang rendah. Dengan alasan tersebut pompa ini banyak digunakan untuk peralatan dengan zat cair yang abrasif dan kekentalan tinggi.

C. Pompa Gerak Bolak balik

Pompa torak atau plunger adalah pompa yang mempunyai komponen pemompa (torak atau torak, plunger, atau diafragma) bergerak bolak-balik. Zat cair dihisap melalui katup hisap kemudian ditekan menuju katup buang. Pompa jenis ini dapat diklasifikasi menjadi beberapa macam, dilihat dari sumber penggeraknya dibagi menjadi dua yaitu pompa tenaga dan pompa aksi. Dari posisi komponen pemompa (torak), dibagi menjadi dua yaitu pompa horizontal dan vertikal. Kalau dilihat dari jumlah langkah buang per siklusnya, pompa jenis ini dibagi menjadi pompa aksi tunggal atau pompa aksi ganda.

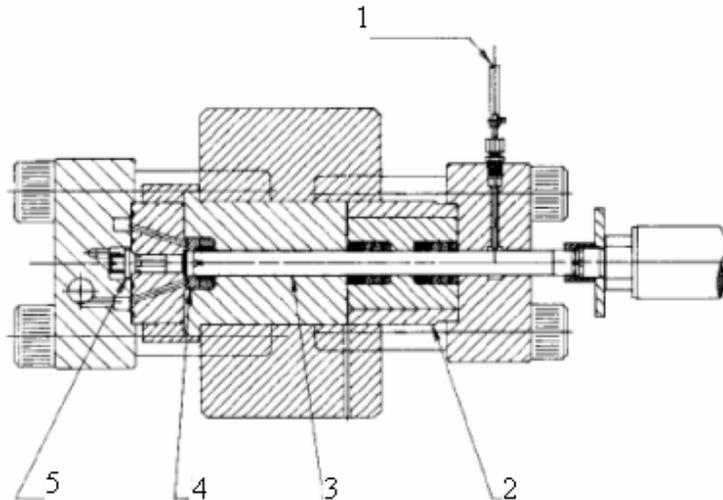
C.1.Cara kerja pemompaan

Pada pompa torak setiap silinder minimal ada dua katup yaitu katup hisap dan buang. Pada langkah hisap yaitu torak bergerak menjauhi katup, tekanan di dalam silinder menjadi turun. Hal ini menyebabkan perbedaan tekanan antara di luar silinder dengan di dalam silinder bertambah besar, sehingga memaksa katup hisap terbuka, zat cair kemudian terhisap ke dalam silinder. Apabila torak pada posisi akhir langkah hisap dan mulai bergerak menuju katup, katup hisap menutup kembali

Setelah zat cair masuk silinder kemudian didorong torak menuju katup buang, tekanan di dalam silinder menjadi naik, sehingga mampu memaksa katup buang terbuka. Selanjutnya zat cair mengalir melewati katup buang ke luar silinder dengan dorongan torak yang menuju katup sampai akhir langkah buang.

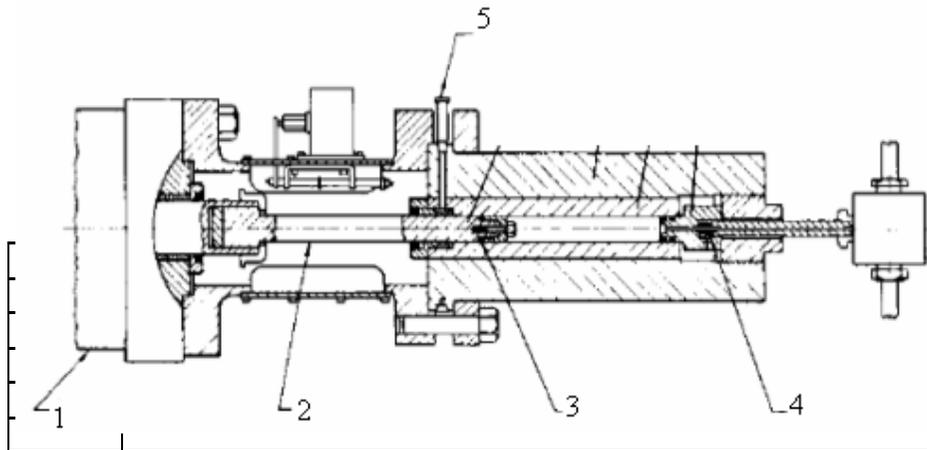
C.2. Pemakaian

Pompa torak banyak digunakan untuk aplikasi yang memerlukan tekanan tinggi dan kapasitas rendah. Sebagai contoh penggunaan, yaitu pompa jet tekanan tinggi untuk pembersihan dan pemotongan [Gambar 8.3], injeksi glikol, pompa pendorong pada pipa minyak mentah, pompa tenaga hidrolik dan lain lain. Tekanan kerja pompa torak adalah ± 3500 kPa sampai 2100 Mpa. Pompa torak juga digunakan untuk tes hidrostatik dengan tekanan kerja sampai 700 MPa [Gambar 8.4]



No	Nama Komponen
1	Pelumasan
2	Seal
3	Plunger
4	Katup masuk
5	Katup ke luar

Gambar 8.4 Pompa plunger tekanan tinggi

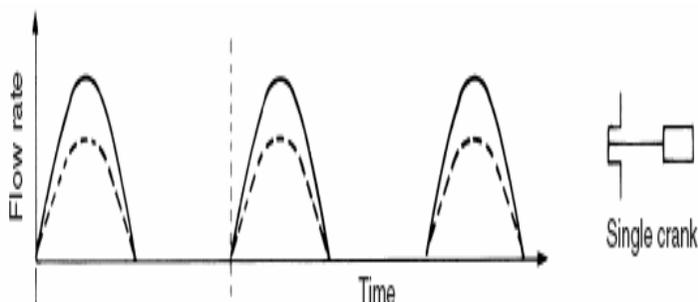


Gambar 8.5 Pompa plunger tekanan tinggi

C.3. Kekurangan pompa bolak-balik

Pompa gerak bolak-balik (*reciprocating*) bekerja dengan prinsip penghisapan, penekanan, kemudian pembuangan. Jadi melewati tiga langkah untuk menghasilkan laju aliran zat cair ke luar, sehingga untuk semua jenis pompa torak, laju alirannya tidak kontinu tetapi berdenyut menyesuaikan irama pemompaan [Gambar 8.6]

Disamping kekurangan dari pompa torak di atas, dibandingkan dengan pompa jenis sentrifugal, biaya pembuatan dan perawatan pompa torak lebih mahal.



Gambar 8.6 Kapasitas aliran pada pompa torak

C.4. Komponen pompa gerak bolak-balik

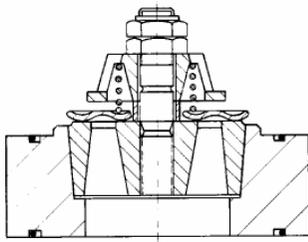
Satu set pompa torak atau plunger terdiri dari dua bagian komponen yaitu bagian komponen penggerak (*drive end*) dan bagian pompa sendiri (*liquid end*).

Komponen utama bagian *drive end* terdiri dari:

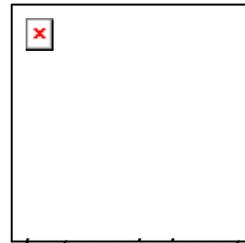
- a. *Drive cylinder* (silinder penggerak)
- b. *Drive piston* (torak penggerak)
- c. *Piston rod* (batang torak)
- d. *Valve actuating mechanism* (mekanik katup penggerak)

Komponen utama pompa (*liquid end*):

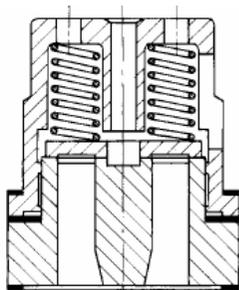
- a. Silinder
- b. Katup hisap dan buang [Gambar 8.7]
- c. Torak



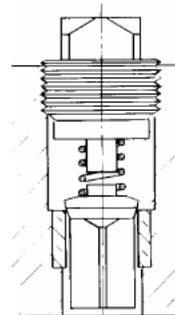
disk valve.



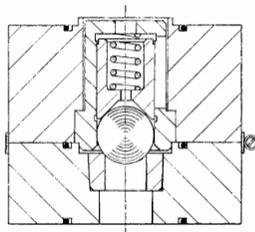
elastomeric-insert valve.



double-ported disk valve



wing-guided valve



ball valve.

Gambar 8.7 Macam-macam katup

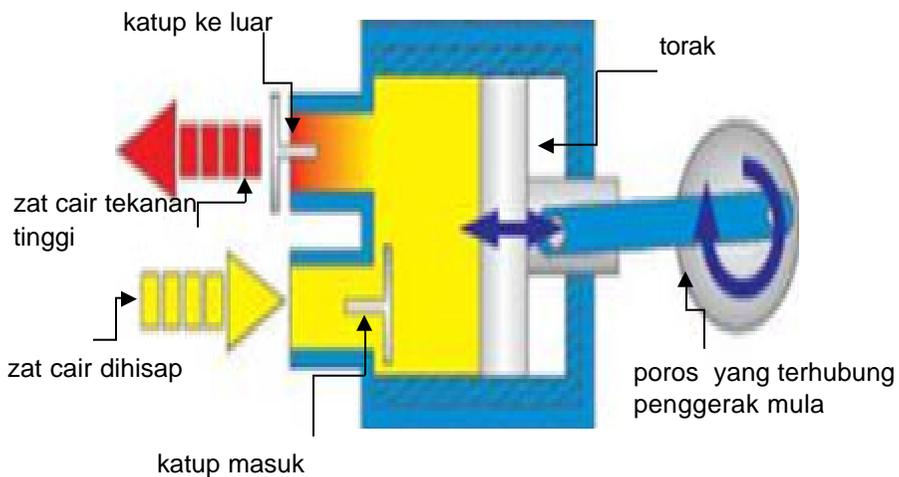
C.5. Pompa daya

Pompa daya adalah pompa yang porosnya digerakkan dengan daya dari luar, daya yang dipakai biasanya adalah motor listrik dan motor bakar. Komponen utama dari pompa ini adalah silinder dengan katup

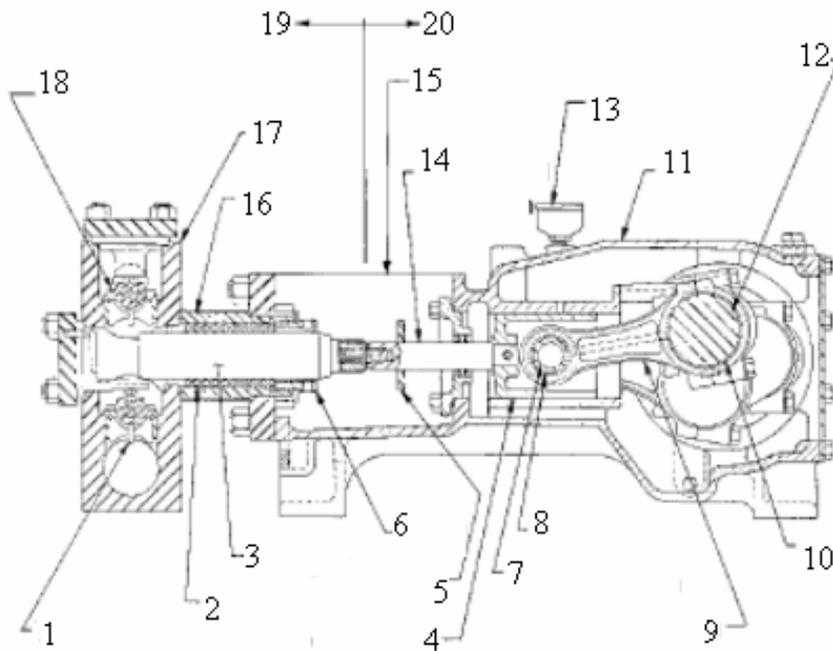
hisap dan buang, torak pemompa, dan poros engkol pompa. Poros pompa dihubungkan dengan poros penggerak dengan transmisi pengatur putaran. Pada Gambar 8.8 dan 8.9 adalah contoh dari pompa daya

Pemilihan jenis penggerak adalah berdasarkan ketersediaan dan kepraktisan dari penggunaan penggerak. Untuk penggerak motor listrik banyak digunakan untuk penggerak pompa dengan daerah operasi pompa dekat dengan sumber listrik. Keuntungan dari penggunaan penggerak jenis ini adalah pengoperasiannya mudah, bebas polusi, tidak berisik dan perawatannya mudah. Kendalanya adalah kalau sumber listriknya mati, pompa tidak beroperasi.

Untuk penggerak motor bakar biasanya digunakan untuk menggerakkan pompa yang beroperasi pada daerah yang jauh dari sumber listrik. Dengan menggunakan penggerak jenis ini pompa lebih fleksibel untuk beroperasi disemua tempat. Kendalanya adalah biaya perawatan mahal dan berisik. Motor bakar yang sering digunakan adalah mesin diesel, karena putarannya lebih stabil dengan tenaga besar.



Gambar 8.8 Cara kerja pompa torak



No	Nama Komponen
1	Katup masuk
2	Packing
3	Plunger
4	Torak
5	<i>Deflector</i>
6	Tumpuan
7	Pasak bantalan
8	Bantalan
9	Batang torak
10	Pasak bantalan engkol
11	Rangka penggerak
12	Poros engkol
13	<i>Breeder</i>
14	Penghubung torak
15	Lubang plunger
16	Kotak bantalan
17	Silinder pompa
18	Katup ke luar
19	Pompa
20	Penggerak

Gambar 8.9 Pompa torak

Komponen utama bagian *power end* [Gambar 8.9] terdiri dari

- a. Poros engkol
- b. Batang torak
- c. Piston *Crosshead* (torak penggerak)

Komponen utama pompa (*liquid end*);

- a. Silinder
- b. Katup hisap dan buang [Gambar 8.7]
- c. Plunger

C.6. Pompa aksi langsung

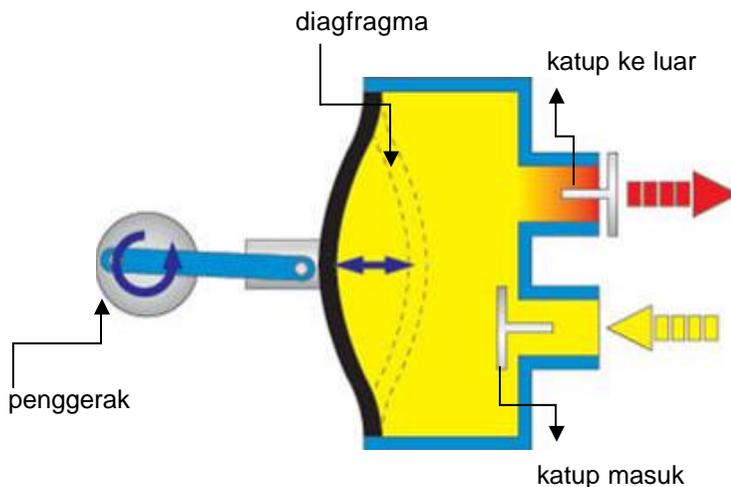
Pompa aksi langsung adalah pompa yang menggunakan energi dari luar untuk menggerakkan torak. Energi dari luar diperoleh dari fluida yang mempunyai beda tekanan. Prinsip pemompaannya sama dengan pompa tenaga, yang berbeda hanya komponen penggerak. Komponennya dibagi menjadi dua yaitu, komponen pompa dan komponen penggerak.

Komponen utama bagian *drive end* [Gambar 8.1] terdiri dari

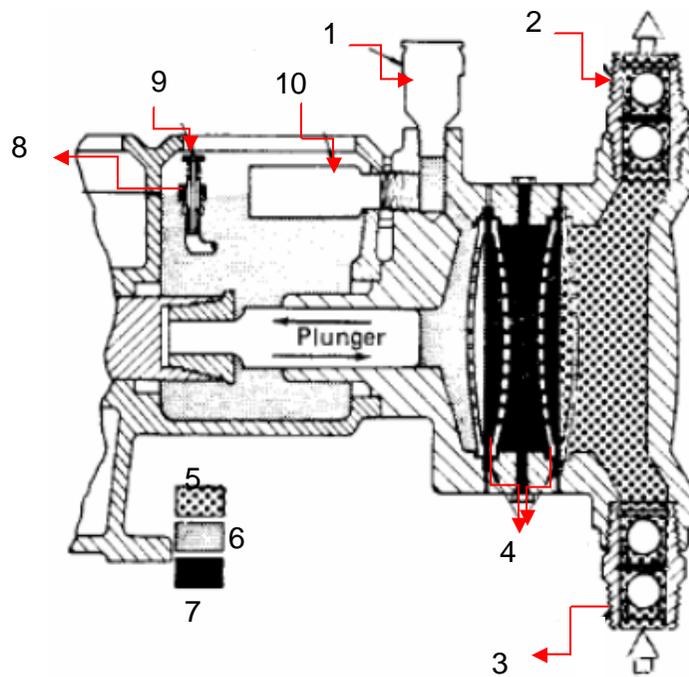
- a. Silinder penggerak (*Drive cylinder*)
- b. Torak penggerak (*Drive piston*)
- c. Batang torak (*Piston rod*)
- d. Mekanik katup penggerak (*Valve actuating mechanism*)

Komponen utama pompa (*liquid end*);

- a. Silinder
- b. Katup hisap dan buang [Gambar 8.7]
- c. Diafragma [Gambar 8.10, 8.11, 8.12]

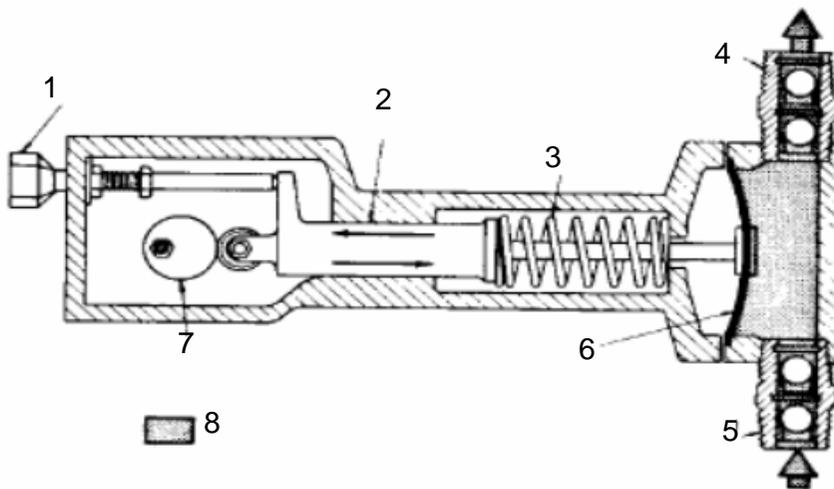


Gambar 8.10 Cara kerja pompa diafragma penggerak mekanik



No	Nama Komponen
1	Katup otomatis
2	Katup bola ke luar
3	Katup bola masuk
4	diagfragma
5	<i>Process fluid</i>
6	<i>Hydraulic fluid</i>
7	<i>Intermediate fluid</i>
8	Pengatur oli
9	Katup isi
10	Katup relief

Gambar 8.11 Pompa diagfragma penggerak hidrolis



No	Nama Komponen
1	Baut pengatur
2	Plunger bolak-balik
3	Pegas kembali
4	Katup bola ke luar
5	Katup bola masuk
6	Pemicu diafragma mekanis
7	Nok eksentrik
8	<i>Process fluid</i>

Gambar 8.12 Pompa diafragma penggerak pegas mekanik

D. Pompa Rotari

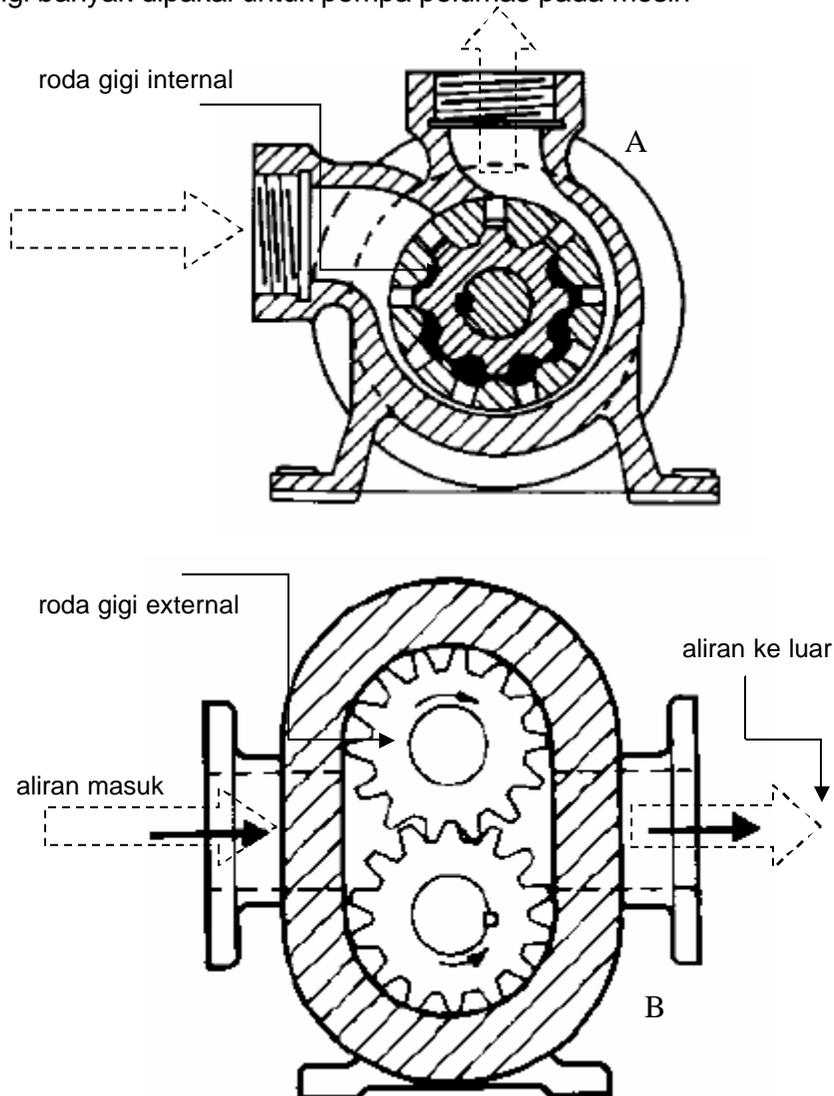
Pompa rotari adalah termasuk pompa perpindahan positif yang komponen pemompanya berputar (*rotary*), seperti lobe, roda gigi, ulir, vanes, roller. Cara kerjanya yaitu menghisap zat cair pada sisi hisap, zat cair masuk ke celah atau ruangan tekan diantara komponen pemompaan, kemudian ditekan sehingga celah semakin kecil selanjutnya zat cair dike luarkan melalui sisi buang.

Pompa rotari tidak mempunyai katup hisap dan buang, penggunaannya banyak dipakai dengan zat cair yang mempunyai kekentalan tinggi. Tekanan kerja yang dihasilkan sedang atau lebih rendah dari pompa torak atau plunger. Laju alirannya stabil tidak berdenyut dengan kapasitas yang rendah.

D.1. Pompa roda gigi

Pompa ini mempunyai komponen pemompaan berbentuk roda gigi. Cara kerjanya yaitu apabila gigi dari roda gigi mulai menutup (*disengage*), zat cair terhisap kecelah antar gigi, kemudian ketika roda gigi membuka (*engage*) zat cair ditekan ke luar kesisi buang. Zat cair yang dipompa juga sekaligus melumasi roda gigi.

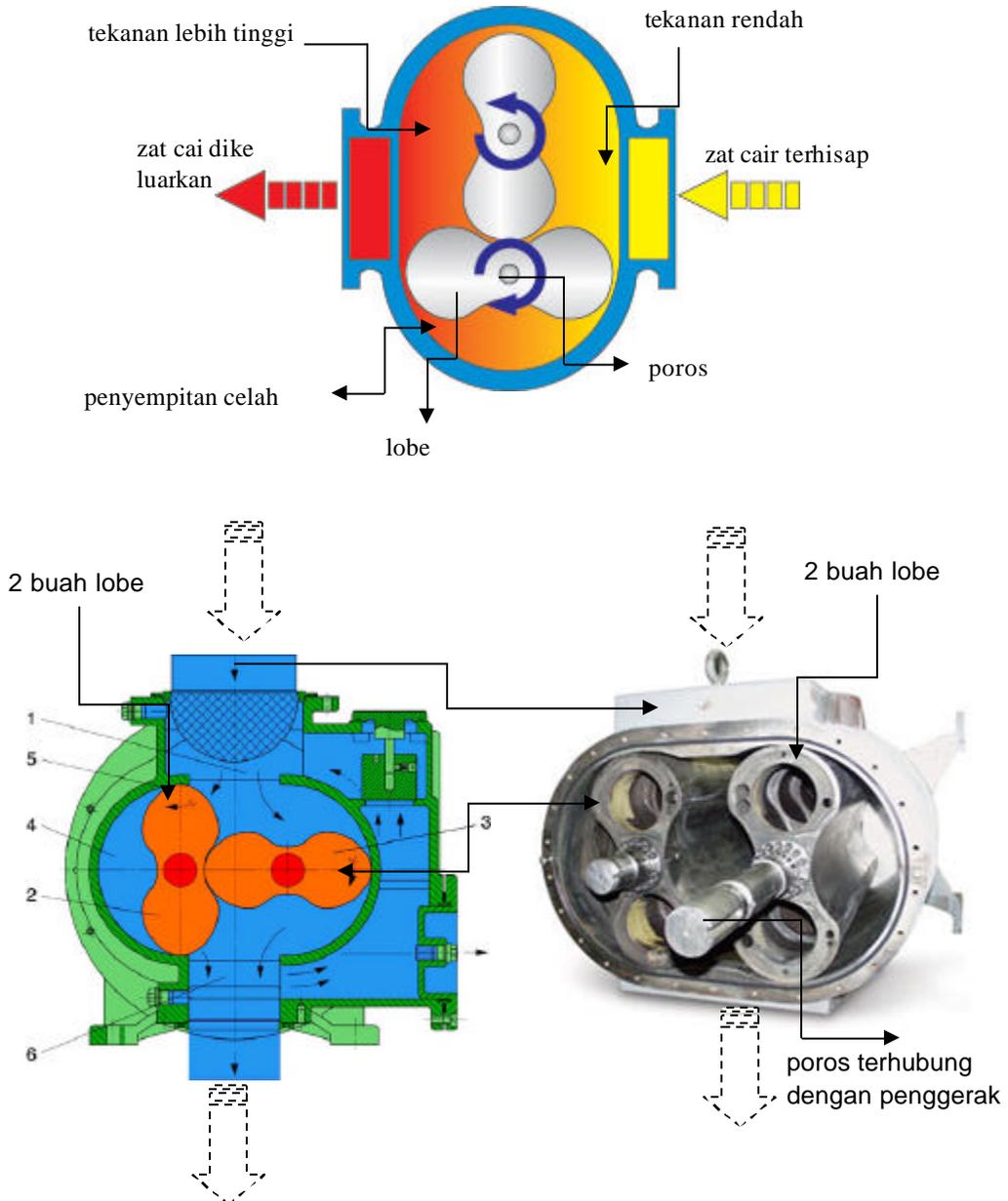
Pompa roda gigi dibagi mejadi dua yaitu *internal gears pump* [Gambar 8.13 A] dan *external gear pump* [Gambar 8.13 B]. Pompa roda gigi banyak dipakai untuk pompa pelumas pada mesin



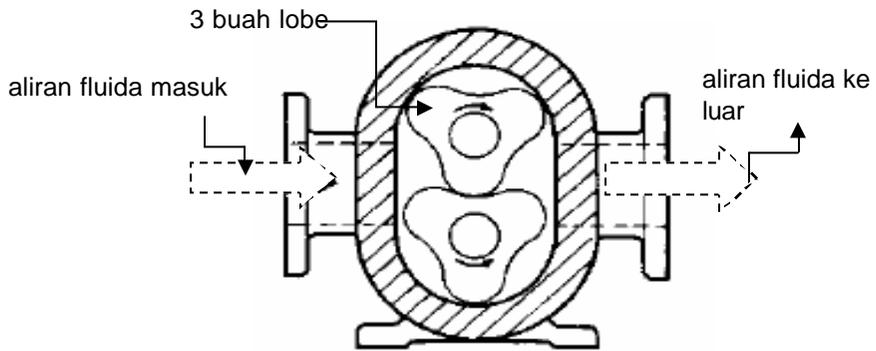
Gambar 8.13 Pompa roda gigi internal eksternal

D.2. Lobe, Skrup, vanes, flexibel tube , radial axial plunger dan circumferential pump.

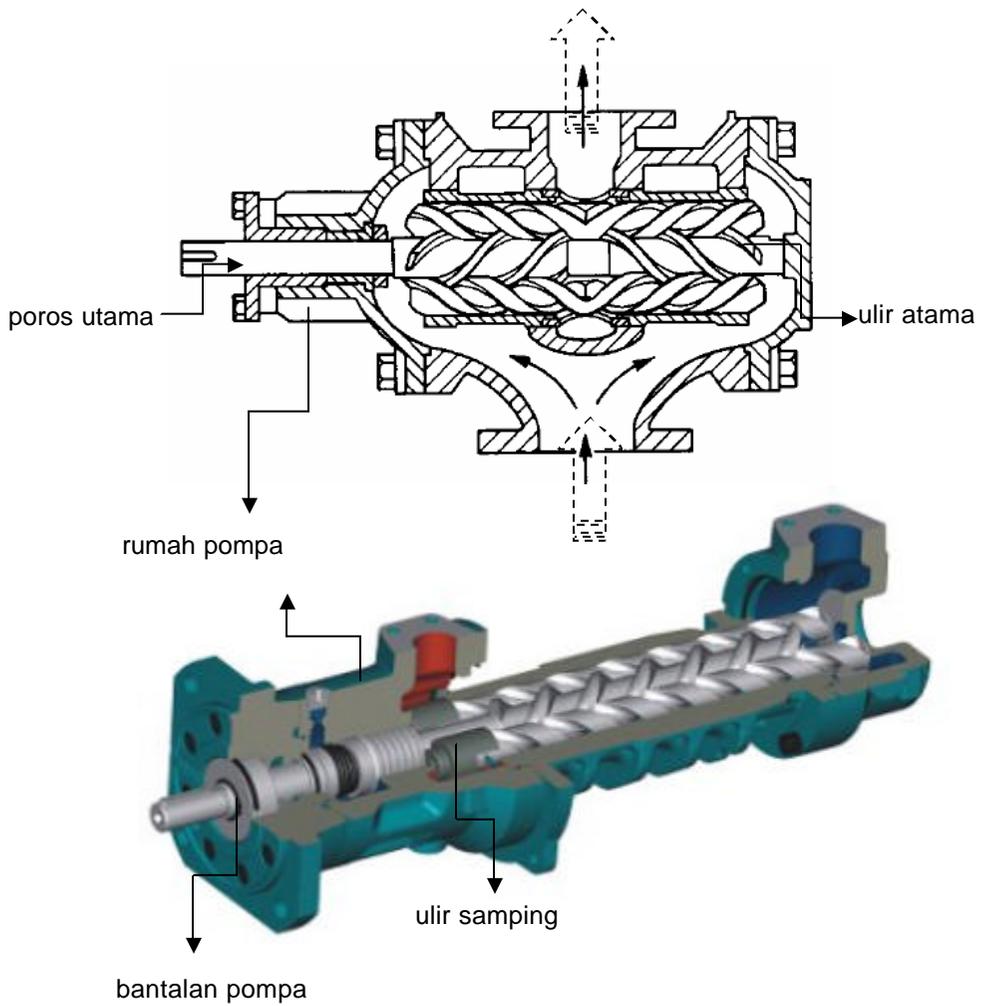
Dengan prinsip kerja yang sama di bawah ini adalah contoh-contoh dari pompa rotari. Penamaan jenis pompa disamakan dengan nama komponen pemompaan.



Gambar 8.14 Pompa lobe

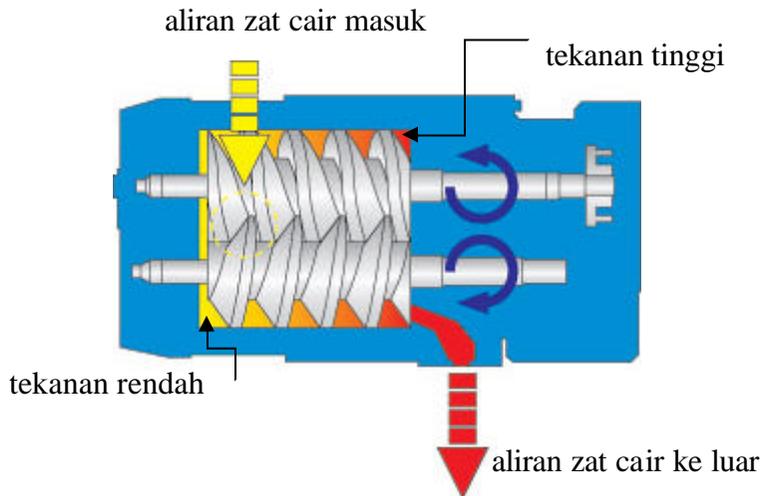


Gambar 8.15 Pompa lobe dengan 3 buah lobe

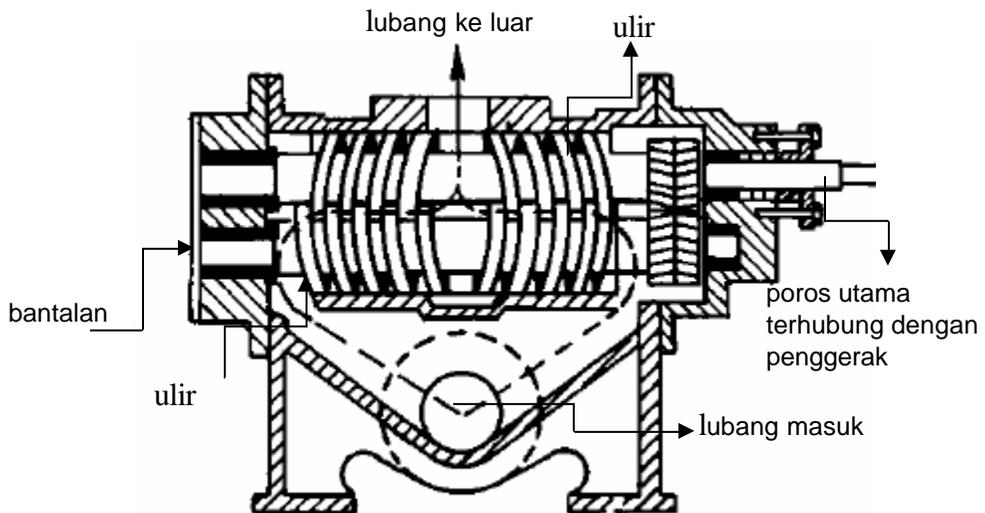


Gambar 8.16 Pompa ulir dengan 3 buah ulir

Pada Gambar 8.16 adalah pompa ulir (skrup) dengan tiga buah ulir, zat cair akan masuk dari sisi hisap, kemudian akan ditekan di ulir yang mempunyai bentuk khusus. Dengan bentuk ulir tersebut, zat cair akan masuk di ruang antara ulir-ulir, dan dengan mekanisme penyempitan volume, zat cair tersebut terus ditekan sampai sisi buang. Sama dengan pompa rotari yang lainnya, zat cair yang dipompa juga berfungsi sebagai pelumas.

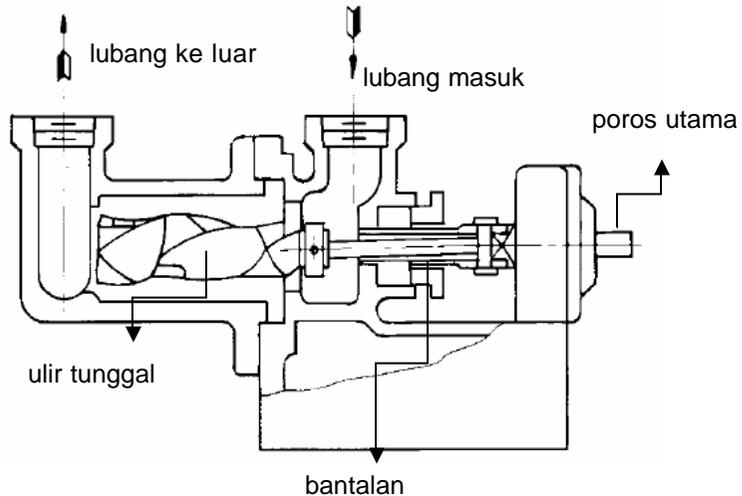


Gambar 8.17 Proses penekanan zat cait pada pompa 2 buah ulir

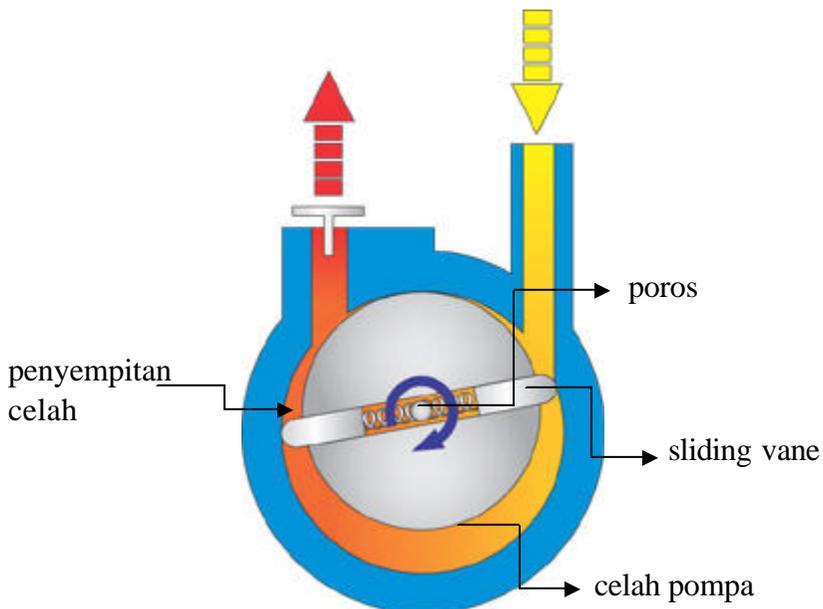


Gambar 8.18 Pompa ulir dengan 2 buah ulir

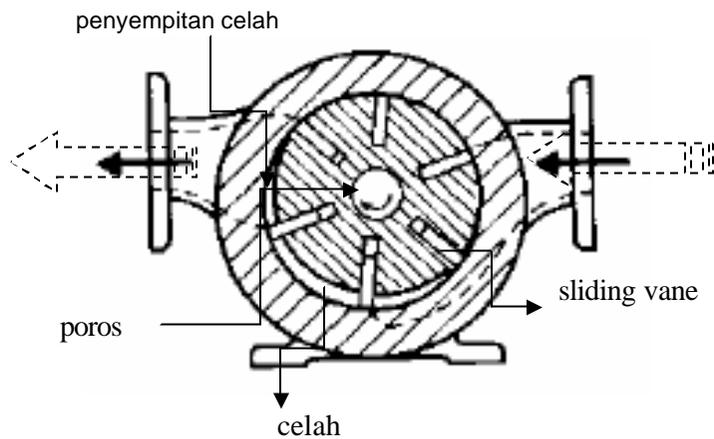
Pada gambar adalah prinsip kerja dari pompa ulir. Zat cair akan masuk ke pompa dan menuju celah celah antara dua poros yang berulir. Kemudian, karena dua buah poros berulir tadi berputar, zat cair terdorong ke arah kanan dengan gaya sentrifugal ulir. Metode penekanan sama dengan pompa perpindahan positif lainnya, yaitu memperkecil volume celah pemompaan, sehingga zat cair pada sisi kanan bertekanan lebih besar



Gambar 8.19 Pompa ulir tunggal (*progressive cavity single skrup pump*)

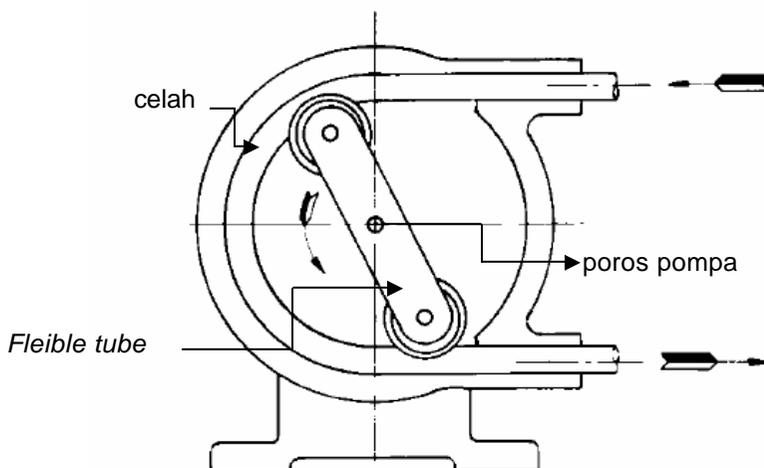


Gambar 8.20 Pompa vane (*sliding vane rotary pump*)

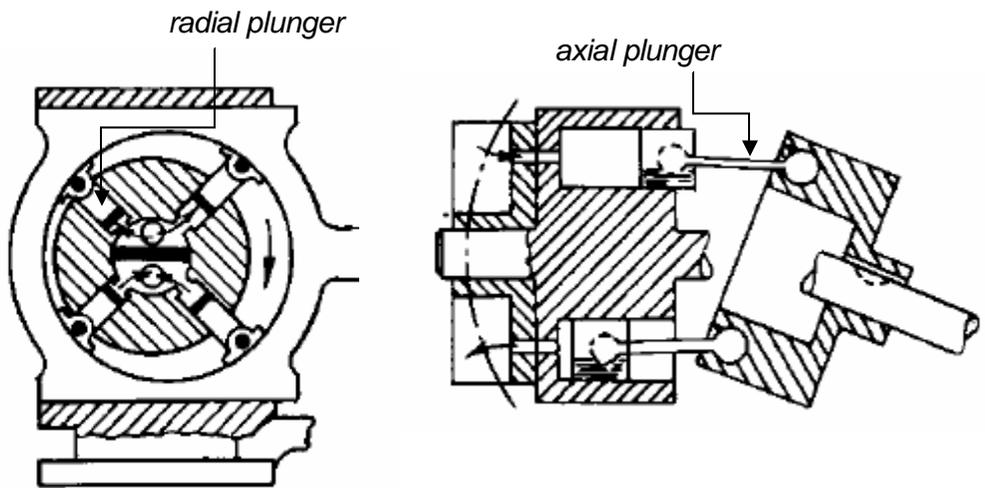


Gambar 8.21 Pompa vane dengan 5 buah vane

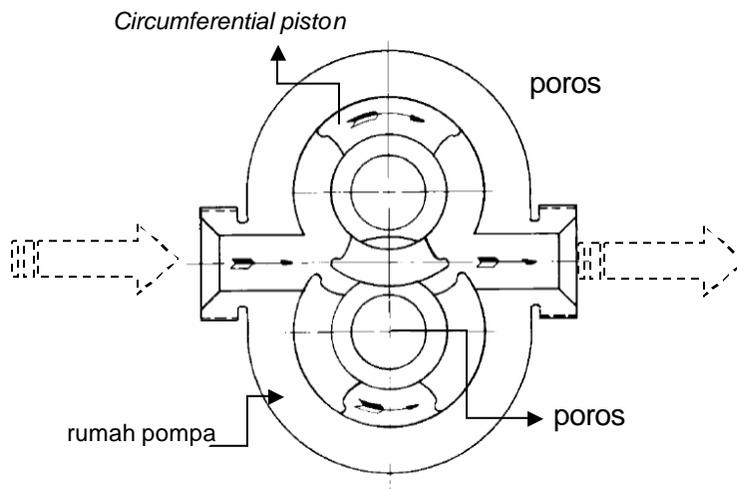
Pada Gambar 8.20 adalah prinsip kerja dari pompa *rotary vane*, zat cair terhisap masuk ke celah antara vane dengan rumah pompa kemudian poros pompa berputar demikian juga vanenya. Karena volume celah semakin sempit, tekanan zat cair naik dan dapat mendesak katup ke luar terbuka. Prinsip kerja yang sama untuk Gambar 8.21 yaitu pompa dengan 5 buah vane



Gambar 8.22 *Flexible tube pump*



Gambar 8.23 Radial plunger dan axial plunger rotary pump



Gambar 8.24 Circumferential piston rotary pump

Rangkuman

1. Pompa perpindahan positif yaitu pompa yang bekerja menghisap zat cair, kemudian menekan zat cair tersebut, selanjutnya zat cair dikeluarkan melalui katup atau lubang keluar.
2. Pompa jenis perpindahan positif banyak digunakan untuk melayani sistem instalasi yang membutuhkan head yang tinggi dengan kapasitas rendah. Untuk mengatasi head yang sama, pompa sentrifugal memerlukan konstruksi yang lebih kuat dan memerlukan daya yang lebih besar
3. Pompa jenis perpindahan positif ini menghasilkan tekanan tinggi dengan kecepatan aliran yang rendah. Pompa ini banyak digunakan untuk peralatan dengan zat cair yang abrasif dan kekentalan tinggi.
4. Pompa torak atau punger adalah pompa yang mempunyai komponen pemompa (torak atau torak, plunger, atau diafragma) bergerak bolak-balik
5. Pompa torak banyak digunakan untuk aplikasi yang memerlukan tekanan tinggi dan kapasitas rendah.
6. Pompa gerak bolak-balik (*reciprocating*) bekerja dengan prinsip penghisapan, penekanan, kemudian pembuangan. Jadi melewati tiga langkah untuk menghasilkan laju aliran zat cair keluar, sehingga untuk semua jenis pompa torak, laju alirannya tidak kontinyu tetapi berdenyut menyesuaikan irama pemompaan
7. Pompa daya adalah pompa yang porosnya digerakan dengan daya dari luar, daya yang dipakai biasanya adalah motor listrik dan motor bakar. Komponen utama dari pompa ini adalah silinder dengan katup isap dan buang, torak pemompa, dan poros engkol pompa. Poros pompa dihubungkan dengan poros penggerak dengan transmisi pengatur putaran
8. Pompa rotari adalah termasuk pompa perpindahan positif yang komponen pemompanya berputar (*rotary*), seperti lobe, roda gigi, ulir, vanes, roller. Cara kerjanya yaitu menghisap zat cair pada sisi isap, zat cair masuk ke celah atau ruangan tekan diantara komponen pemompaan, kemudian ditekan sehingga celah semakin kecil selanjutnya zat cair dikeluarkan melalui sisi buang.

Soal

1. Apa yang anda ketahui dengan istilah perpindahan positif dan kenapa pompa torak termasuk yang digolongkan dalam jenis pompa perpindahan positif
2. Sebutkan macam-macam pompa perpindahan positif!

3. Sebutkan penggunaan pompa perpindahan positif!
4. Jelaskan kelebihan pemakaian pompa perpindahan positif dibandingkan pompa sentrifugal !

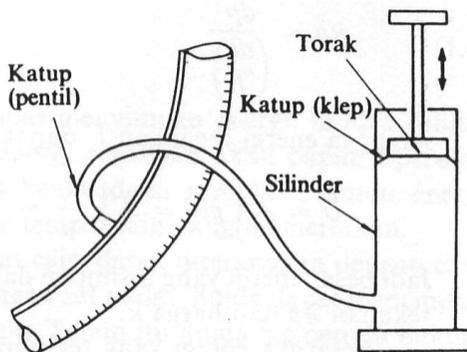
BAB 9 DASAR KOMPRESOR

A. Prinsip Kerja Kompresor

Kompresor adalah alat pemampat atau pengkompresi udara dengan kata lain kompresor adalah penghasil udara mampat. Karena proses pemampatan, udara mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara lingkungan (1atm). Dalam keseharian, kita sering memanfaatkan udara mampat baik secara langsung atau tidak langsung. Sebagai contoh, udara mampat yang digunakan untuk mengisi ban mobil atau sepeda montor, udara mampat untuk membersihkan bagian-bagian mesin yang kotor di bengkel-bengkel dan manfaat lain yang sering dijumpai sehari-hari.

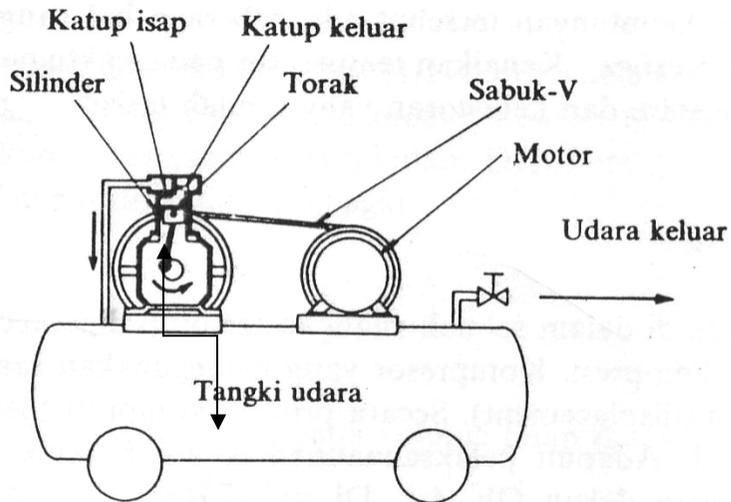
Pada industri, penggunaan kompresor sangat penting, baik sebagai penghasil udara mampat atau sebagai satu kesatuan dari mesin-mesin. Kompresor banyak dipakai untuk mesin pneumatik, sedangkan yang menjadi satu dengan mesin yaitu turbin gas, mesin pendingin dan lainnya.

Dengan mengambil contoh kompresor sederhana, yaitu pompa ban sepeda atau mobil, prinsip kerja kompresor dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika torak pompa ditarik keatas, tekanan di bawah silinder akan turun sampai di bawah tekanan atmosfer sehingga udara akan masuk melalui celah katup hisap yang kendur. Katup terbuat dari kulit lentur, dapat mengencang dan mengendur dan dipasang pada torak. Setelah udara masuk pompa kemudian torak turun kebawah dan menekan udara, sehingga volumenya menjadi kecil.



Gambar 9.1 Pompa ban

Tekanan menjadi naik terus sampai melebihi tekanan di dalam ban, sehingga udara mampat dapat masuk ban melalui katup (pentil). Karena diisi udara mampat terus-menerus, tekanan di dalam ban menjadi naik. Jadi jelas dari contoh tersebut, proses pemampatan terjadi karena perubahan volume pada udara yaitu menjadi lebih kecil dari kondisi awal.

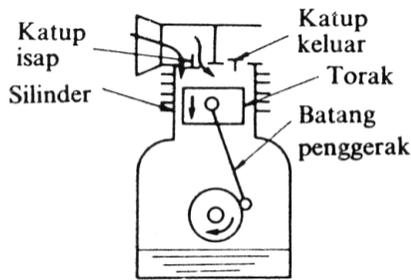


Gambar 9.2 Kompresor udara penggerak motor bakar

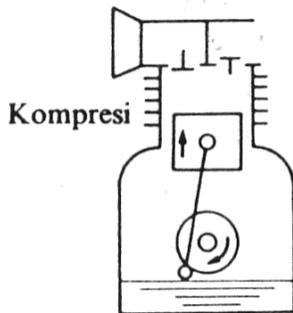
Kompresor yang terlihat pada Gambar 9.2 biasa kita jumpai dibengkel-bengkel kecil sebagai penghasil udara mampat untuk keperluan pembersih kotoran dan pengisi ban sepeda motor atau mobil. Prinsip kerjanya sama dengan pompa ban, yaitu memampatkan udara di dalam silinder dengan torak. Perbedaannya terletak pada katupnya, kedua katup dipasang dikepala silinder, dan tenaga penggeraknya adalah motor listrik. Tangki udara berfungsi sama dengan ban yaitu sebagai penyimpan energi udara mampat.

Pada gambar 9.3 adalah proses kerja dari kompresor kerja tunggal dan ganda. Adapun urutan proses lengkap adalah sebagai berikut.

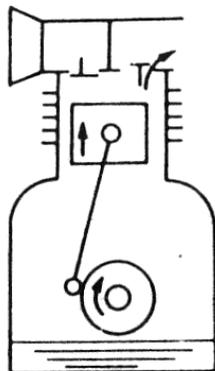
Langkah pertama adalah langkah hisap, torak bergerak ke bawah oleh tarikan engkol. Di dalam ruang silinder tekanan menjadi negatif di bawah 1 atm, katup hisap terbuka karena perbedaan tekanan dan udara terhisap. Kemudian torak bergerak keatas, katup hisap tertutup dan udara dimampatkan. Karena tekanan udara mampat, katup ke luar menjadi terbuka.



hisap
 udara masuk kompresor karena tekanan di dalam silinder lebih rendah dari 1 atm

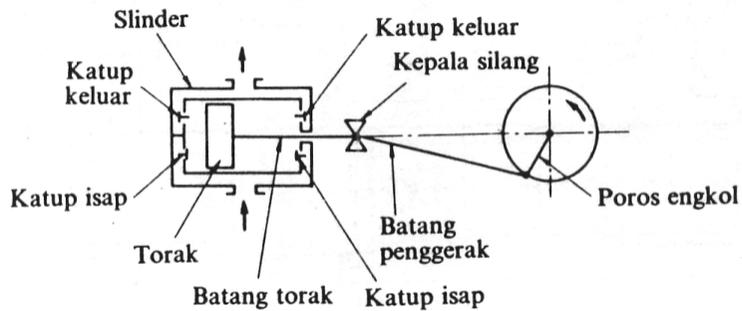


kompresi
 udara di dalam kompresor dikompresi, tekanan dan temperatur udara naik



pengeluaran
 Karena tekanan udara mampat, katup ke luar terbuka dan udara mampat ke luar silinder

Gambar 9.3 Proses kerja dari kompresor torak kerja tunggal



Gambar 9.4 Proses kerja dari kompresor torak kerja ganda

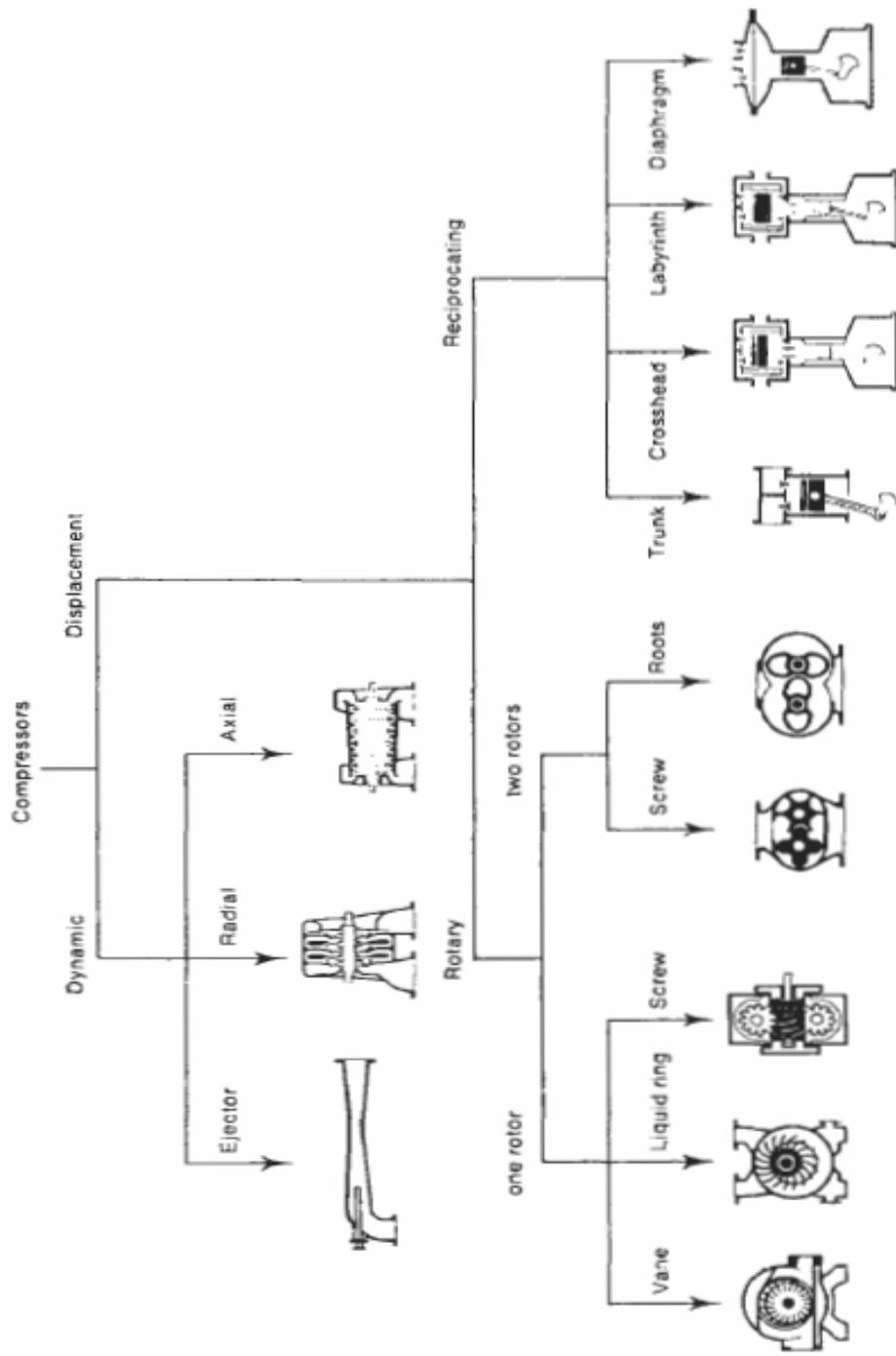
Gambar 9.4 di atas adalah kompresor torak kerja ganda. Proses kerjanya tidak berbeda dengan kerja tunggal. Pada kerja ganda, setiap gerakan terjadi sekaligus langkah penghisapan dan pengkompresian. Dengan kerja ganda, kerja kompresor menjadi lebih efisien.

B. Klasifikasi Kompresor

Prinsip kerja kompresor dan pompa adalah sama, kedua mesin tersebut menggunakan energi luar kemudian diubah menjadi energi fluida. Pada pompa, di nosel ke luarnya energi kecepatan diubah menjadi energi tekanan, begitu juga kompresor pada katup ke luar udara mampat mempunyai energi tekanan yang besar. Hukum-hukum yang berlaku pada pompa dapat diaplikasikan pada kompresor.

Berbeda dengan pompa yang klasifikasinya berdasarkan pola aliran, klasifikasi kompresor biasanya berdasarkan tekanannya atau cara pemampatannya. Pada Gambar 9.5 adalah klasifikasi dari kompresor. Secara umum penjelasannya sebagai berikut. Kompresor berdasarkan cara pemampatannya dibedakan menjadi dua, yaitu jenis turbo dan jenis perpindahan. Jenis turbo menggunakan gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh putaran impeler sehingga udara mengalami kenaikan energi yang akan diubah menjadi energi tekanan. Sedangkan jenis perpindahan, dengan memperkecil volume udara yang dihisap ke dalam silinder atau stator dengan torak atau sudu. Kompresor yang diklasifikasikan berdasarkan tekanannya adalah kompresor untuk pemampat (tekanan tinggi), blower untuk peniup (tekanan sedang) dan fan untuk kipas (tekanan rendah)

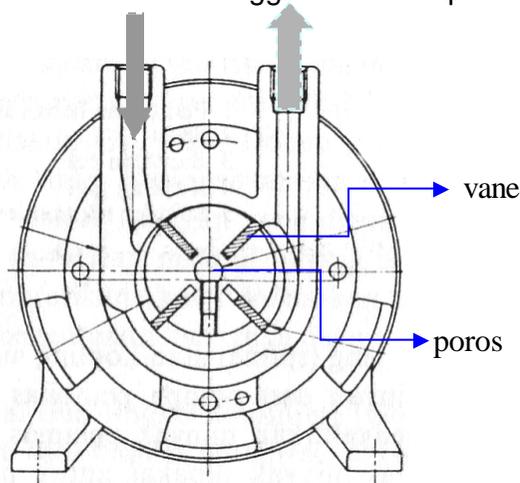
Pada gambar di bawah terlihat, kompresor jenis turbo (*dynamic*) berdasarkan pola alirannya dibagi menjadi tiga, yaitu ejector, radial, dan aksial. Kompresor jenis ini hampir semuanya dapat beroperasi pada tekanan dari yang rendah sampai tinggi. Kompresor turbo dapat dibuat banyak tingkat untuk menaikkan tekanan dengan kapasitas besar [Gambar 9.12]



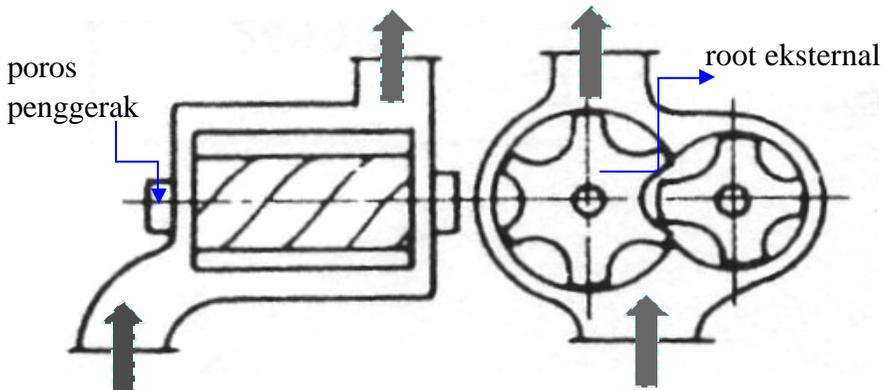
Gambar 9.5 Klasifikasi kompresor

Berbeda dengan jenis turbo, kompresor jenis perpindahan (*displacement*) beroperasi pada tekanan sedang sampai tinggi. Kompresor jenis perpindahan dibedakan berdasarkan bentuk konstruksinya, sekrup [Gambar 9.8], sudu lurus [Gambar 9.6], dan roots [Gambar 9.7] jenis torak bolak-balik [Gambar 9.9,9.10]. Untuk kompresor jenis torak dapat menghasilkan udara mampat bertekanan tinggi.

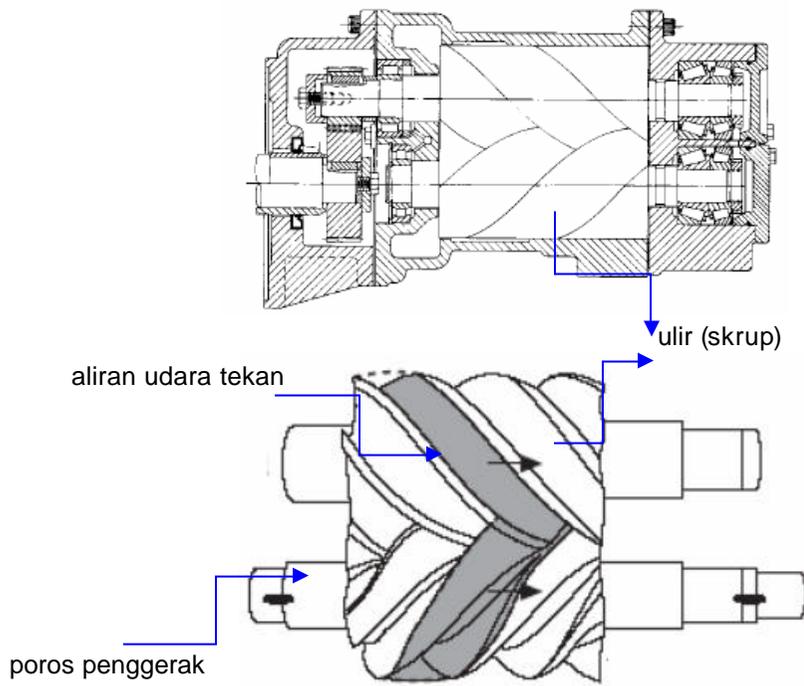
Pada Gambar 9.13 adalah grafik tekanan-kapasitas untuk kompresor, terlihat jelas bahwa kompresor torak mempunyai daerah operasi dengan tekanan yang paling tinggi, sedangkan untuk kompresor axial mempunyai daerah operasi dengan kapasitas paling besar. Kompresor untuk tekanan rendah adalah fan. Kompresor bertekanan sedang adalah blower dan bertekanan tinggi adalah kompresor.



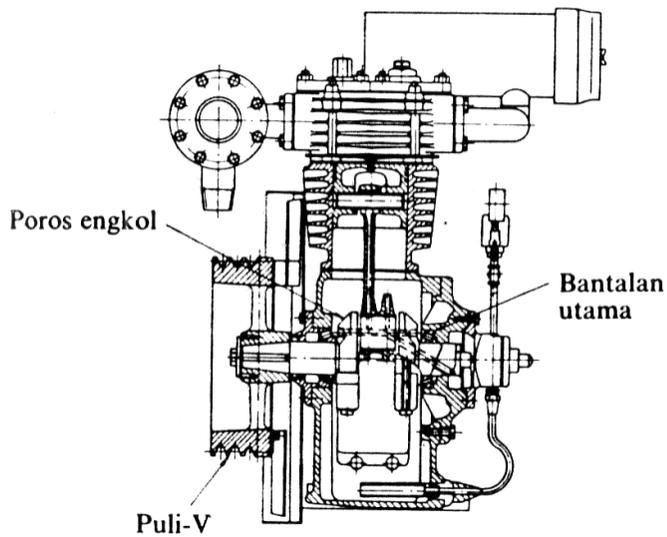
Gambar 9.6 Kompresor Vane



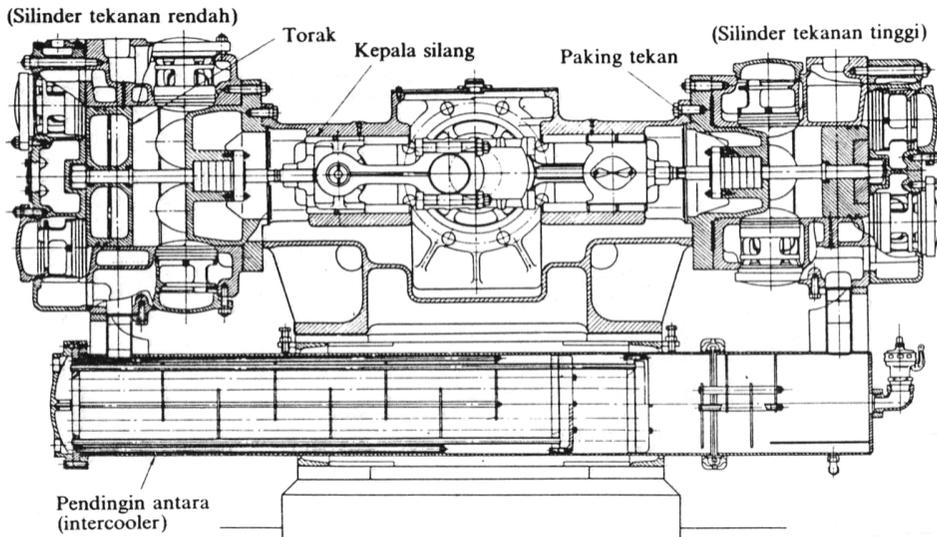
Gambar 9.7 Kompresor jenis Root



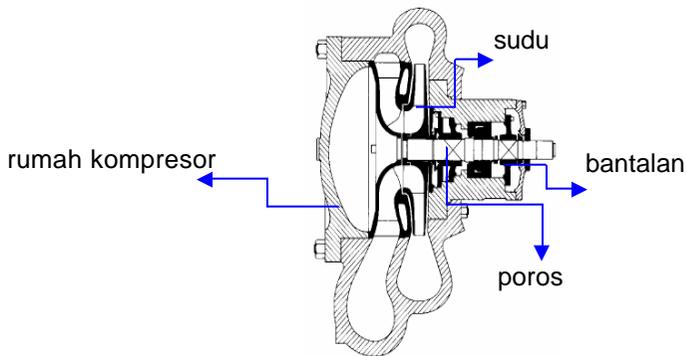
Gambar 9.8 Kompresor skrup atau ulir



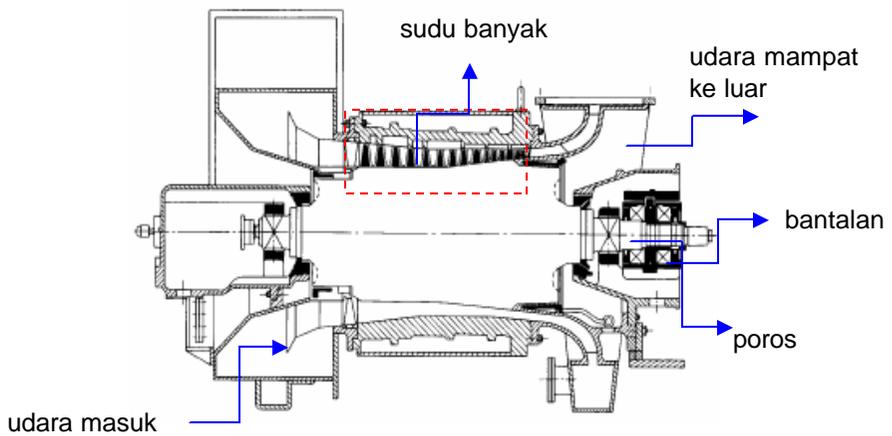
Gambar 9.9 Kompresor torak kerja tunggal



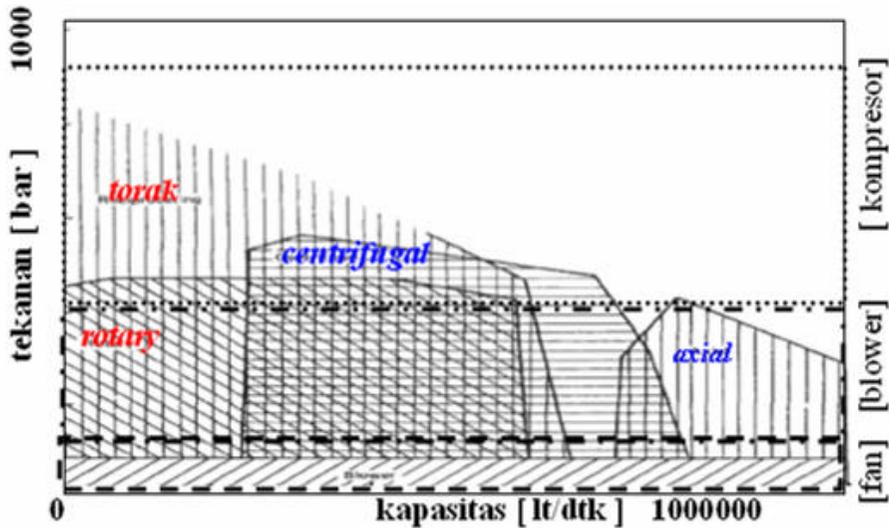
Gambar 9.10 Kompresor torak kerja ganda



Gambar 9.11 Kompresor sentrifugal satu tingkat



Gambar 9.12 Kompresor banyak tingkat



Gambar 9.13 Grafik tekanan kapasitas kompresor

C. Penggunaan Udara Mampat

Dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemui penggunaan kompresor, misalnya:

1. Pengisi udara pada ban sepeda atau mobil
2. Sebagai penyemprot kotoran pada bagian-bagian mesin
3. Rem pada bis dan kereta api
4. Pintu pneumatik pada bis dan kereta api
5. Pemberi udara pada aquarium
6. Kipas untuk penyejuk udara
7. Blower untuk peniup tungku
8. Fan ventilator
9. Udara tekan pada pengecatan
10. Pengangkat mobil pneumatis
11. Transportasi gas solid dengan pneumatik pada industri kimia
12. Kendali otomatis pada pembakar dalam ketel uap.

Dari contoh pemakaian kompresor seperti di atas, terlihat bahwa kompresor digunakan secara luas mulai dari rumah tangga sampai industri besar. Penggunaan udara bertekanan mempunyai kelebihan dibandingkan dengan listrik atau hidrolik dalam hal-hal berikut ini:

1. Konstruksi dan operasi mesin sangat sederhana .
2. Pemeliharaan dan pemeriksaan mesin dapat dilakukan dengan mudah.
3. Energi dapat disimpan
4. Kerja dapat dilakukan dengan cepat
5. Harga mesin dan peralatan relatif murah
6. Kebocoran udara yang sering terjadi tidak membahayakan.

D. Dasar Termodinamika Kompresi

Fluida dibedakan menjadi dua yaitu fluida tak mampu mampat dan fluida mampu mampat. Contoh fluida yang tak mampu mampat adalah zat cair, sedangkan yang mampu mampat adalah gas. Udara adalah gas sebagai fluida kerja pada kompresor yang akan dikompresi, sehingga diperoleh udara mampat yang mempunyai energi potensial. Dengan kata lain udara adalah fluida yang dapat dimampatkan atau fluida mampu mampat. Perubahan tekanan dan temperatur pada udara mengakibatkan perubahan massa jenis udara. Proses pemampatan akan menaikkan tekanan dan temperatur, berbarengan dengan itu, terjadi perubahan volume sehingga kerapatan pun berubah.

Hubungan antara massa jenis dengan volume pada proses pemampatan dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$r = \frac{m}{\Delta V} = \frac{m}{V_1 - V_2}$$

dimana r = massa jenis (kg/m³)

V = volume (m³)

apabila ΔV semakin kecil, maka massa jenis akan bertambah besar. Jadi udara mampat mempunyai massa jenis yang lebih besar dibanding udara bebas.

Untuk memudahkan analisis biasanya udara dianggap gas ideal pada proses-proses termodinamika, sehingga memenuhi persamaan gas ideal berikut ini:

$$pV = mRT$$

dimana R = konstanta gas (J/KgK)

V = volume (m³)

p = tekanan (atm)

m = massa (kg)

T = temperatur (K)

D.1 Proses Kompresi

Proses kompresi gas pada kompresor secara termodinamika dapat melalui tiga cara, yaitu proses kompresi isothermal, adiabatik, dan politropik. Ketiga proses keadaan termodinamika tersebut secara teoritis menjadi dasar perancangan dari proses kompresi sebenarnya dari kompresor. Adapun uraian dari ketiga proses keadaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Proses kompresi isothermal

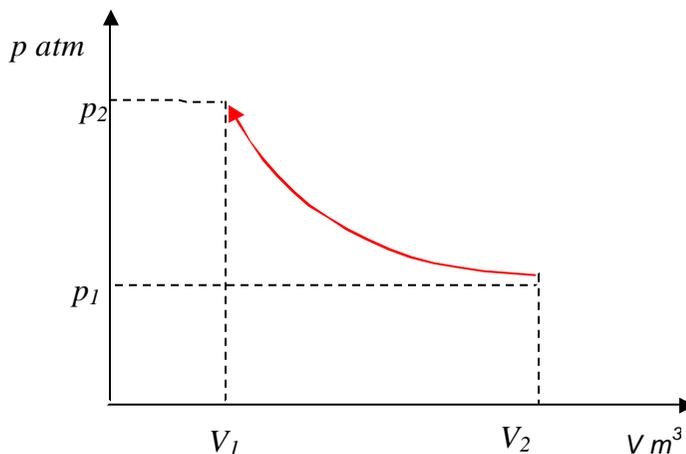
Setiap gas yang mengalami proses kompresi temperaturnya naik. Hal ini disebabkan karena adanya sebagian energi mekanik torak atau

sudu yang dikenakan pada gas diubah menjadi energi panas. Temperatur gas akan naik sebanding dengan kenaikan tekanan. Pada proses kompresi isothermal, gas mampat dengan temperatur tinggi didinginkan sehingga tidak ada kenaikan tempertur atau temperatur pada proses ini dipertahankan konstan. Apabila udara dianggap gas ideal, hubungan antara p dan v dirumuskan sebagai berikut:

$$pV = \text{tetap}$$

$$p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2}$$

Jadi dari rumus di atas terlihat bahwa perubahan volume hanya akan mengubah nilai tekanannya saja. Proses kompresi isothermal pada proses sebenarnya sangat sulit diaplikasikan, walaupun silinder atau udara mampat didinginkan tetap saja tidak mungkin menjaga temperatur yang konstan. Hal ini disebabkan karena cepatnya proses kompresi yang terjadi di dalam silinder.



Gambar 9.14 Proses kompresi isothermal

2. Proses kompresi adiabatik

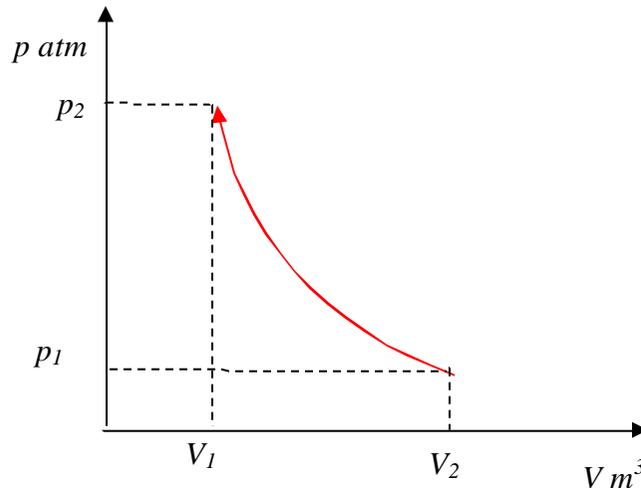
Pada proses ini panas yang dihasilkan dari kompresi gas dijaga tidak ke luar dari silinder, artinya silinder diisolasi sempurna. Jadi panas tidak ada yang ke luar atau masuk silinder. Proses tersebut dinamakan kompresi adiabatik. Pada kenyataannya kita tidak dapat menemukan cara mengisolasi dengan sempurna. Jadi proses tersebut hanya secara teoritis. Hubungan antara tekanan dan volume proses adiabatik dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$pv^k = \text{tetap}$$

$$p_2 = p_1 \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^k$$

dimana $k = \frac{c_p}{c_v}$; untuk udara $k = 1,4$

Dari rumus terlihat, tekanan yang dihasilkan sebanding dengan perbandingan kompresi dipangkatkan k . Kalau dibandingkan dengan kompresi isothermal dengan perubahan volume yang sama akan menghasilkan tekanan yang lebih besar. Karena hal tersebut, kerja yang dibutuhkan pada kompresi adiabatik lebih besar daripada kompresi isothermal.



Gambar 9.15 Proses kompresi adiabatik

3. Proses kompresi politropik

Proses kompresi sebenarnya secara isothermal dan adiabatik tidak dapat diaplikasikan, seperti yang sudah dijelaskan di atas. Proses kompresi yang bekerja menggunakan prinsip di antara proses isothermal dan adiabatik yaitu kompresi politropik. Proses politropik dapat mewakili proses sesungguhnya dari kompresor. Hubungan antara p dan V pada proses ini adalah sebagai berikut ;

$$pV^n = \text{tetap}$$

$$p_2 = p_1 \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^n \text{ dengan } 1 < n < 1,4 \text{ (} n \approx 1,25 \sim 1,35 \text{)}$$

dimana n = indeks politropik
n = 1 (isotermal)
n = 1,4 (adiabatis)

D.2. Temperatur Kompresi, Perbandingan Tekanan dan Kerja

Temperatur gas akan naik setelah kompresi, baik secara adiabatis atau politropis, karena panas disolasi, sehingga semua panas diubah menjadi temperatur. Kecuali pada kompresi isotermal tidak ada perubahan temperatur, karena temperatur dipertahankan normal.. Hubungan antara tekanan dan temperatur dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$T_d = T_s \left[\frac{p_s}{p_d} \right]^{\frac{n-1}{m}}$$

dimana T_d = temperatur mutlak gas mampat ke luar (K)
 T_s = temperatur hisap gas masuk (K)
m = jumlah tingkat kompresi ; m =1,2,3,..

$$\frac{p_d}{p_s} = \frac{\text{tekanan gas mampat keluar}}{\text{tekanan gas isap}} = \text{perbandingan tekanan}$$

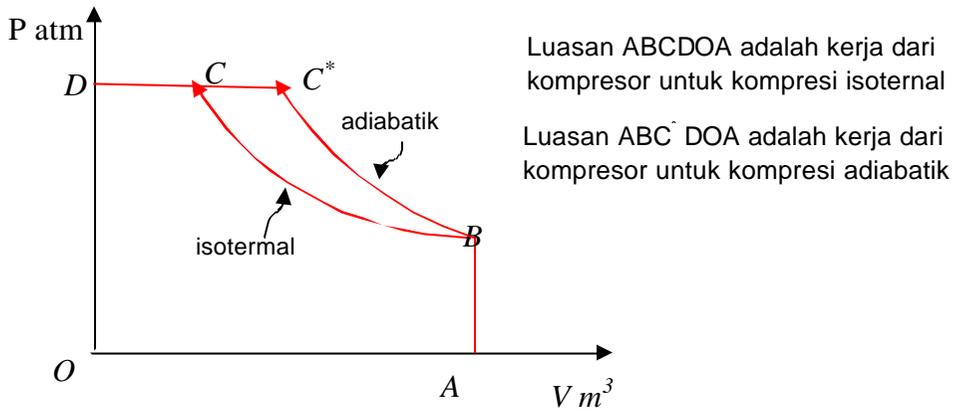
Adapun besarnya kerja yang dibutuhkan untuk proses kompresi adalah sebagai berikut :

$$W_{ad} = \frac{n}{n-1} p_s V_s \left[\left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Kerja untuk proses kompresi isotermal (dengan pendinginan)

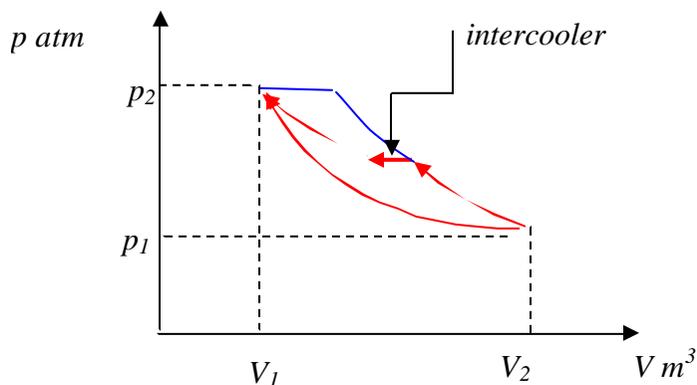
Untuk p_k adalah tekanan terakhir dari satu tingkat kompresi atau dari banyak tingkat. Pada kompresor torak satu tingkat digunakan satu silinder, untuk yang bertingkat banyak digunakan lebih dari satu silinder.

Untuk kompresor jenis turbo, jumlah tingkat sama dengan jumlah impeler. Sebagai contoh kompresor torak tiga tingkat, udara mampat dari tingkat pertama akan dike luarkan silinder pertama dan akan masuk ke silinder ke dua melalui katup hisap, kemudian dikompresi lagi, setelah itu gas mampat dike luarkan dan masuk ke silinder tiga untuk proses kompresi terakhir. Dari proses kompresi pada silinder ke tiga diperoleh tekanan terakhir p_k . Metode ini dipakai juga untuk kompresor jenis lain yang bertingkat banyak.



Gambar 9.16 Perbandingan kerja yang dibutuhkan untuk proses kompresi isothermal dan proses kompresi adiabatik

Dari Gambar 9.16 tersebut di atas terlihat kompresor dengan kompresi isothermal memerlukan lebih kecil energi atau kerja, dibandingkan dengan kompresi adiabatik. Tetapi proses kompresi tidak pernah dapat berlangsung isothermal, kecuali dengan penambahan alat pendingin pada kompresor, sehingga udara yang ke luar kompresor bertemperatur sama dengan sebelum masuk kompresor. Alat pendingin tersebut dipasang pada kompresor banyak tingkat, terutama pada kompresor radial. Antar tingkat kompresor dipasang pendingin yang biasa disebut dengan *intercooler*. Pada gambar 9.17 adalah kompresor dua tingkat dengan *intercooler*. Dengan memasang bertingkat, kompresor akan bekerja lebih ringan, karena menghemat sebagian kerja kompresi.



Gambar 9.17 Penghematan kerja pengkompresian dengan memasang kompresor dua tingkat

Kompresor bertingkat digunakan untuk memperoleh perbandingan tekanan yang tinggi. Untuk memperoleh perbandingan tekanan yang besar, kalau hanya menggunakan kompresi satu tingkat kurang efektif karena efisiensi volumetriknya rendah, namun sebaliknya kalau jumlah tingkatnya terlalu banyak, kerugian geseknya menjadi terlalu besar. Karena alasan tersebut, harus dipilih jumlah tingkat yang pas, sehingga efisiensi proses kompresi tinggi.

E. Efisiensi Kompresor

E.1. Efisiensi laju kerja adiabatik kompresor

Daya yang diperlukan kompresor tidak hanya untuk proses kompresi gas, tetapi juga untuk mengatasi kendala-kendala mekanis, gesekan-gesekan, kendala tahanan aerodinamik aliran udara pada katup dan saluran saluran pipa, kebocoran-kebocoran gas, proses pendinginan, dan lain-lain. Kendala-kendala tersebut akan mengurangi daya poros kompresor. Namun untuk menentukan seberapa besar pengaruh masing-masing kendala tersebut adalah sangat sulit. Secara teori perhitungan daya yang dibutuhkan untuk proses pemampatan kompresi bertingkat adalah sebagai berikut:

$$P_{ad} = p_s Q_s \frac{mn}{n-1} \left[\left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{mn}} - 1 \right] \quad C = \frac{mn}{n-1} \left[\left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{mn}} - 1 \right]$$

$$P_{ad} = \frac{p_s Q_s C}{60000} \text{ kW}$$

- dimana P_{ad} = daya untuk proses kompresi adiabatik (kW)
 m = jumlah tingkat kompresi
 Q_s = volume gas ke luar dari tingkat terakhir (m^3/menit)
 (dikondisikan tekanan dan temperatur hisap)
 p_s = tekanan hisap tingkat pertama (N/m^2)
 p_d = tekanan ke luar dari tingkat terakhir (N/m^2)
 n = 1,4 (udara adiabatik)
 = 1 isothermal

Daya kompresi adiabatik di atas adalah sama dengan daya poros kompresor dikurangi dengan kendala-kendala kompresi atau dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{ad} = P_{poros} - P_{kendala} = P_{berguna}$$

Secara teori, efisiensi sistem adalah perbandingan daya berguna dengan daya masuk sistem, maka efisiensi kompresor dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$h_{komp} = \frac{P_{berguna}}{P_{poros}} = \frac{P_{poros} - P_{kendala}}{P_{poros}} = \frac{P_{ad}}{P_{poros}}$$

Berdasarkan rumus tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi efisiensi, daya poros yang dibutuhkan menjadi berkurang, sehingga secara ekonomis menguntungkan. Sedangkan untuk menghitung tinggi yang dihasilkan kompresor adalah sebagai berikut:

$$H = \frac{R_i T_s C_s}{g} + \frac{(c_d^2 - c_s^2)}{2g}$$

$$H = \frac{p_s v_s C}{g} + \frac{(c_d^2 - c_s^2)}{2g}$$

$$\text{dengan } C = \frac{mn}{n-1} \left[\left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{mn}} - 1 \right]$$

c_d = kecepatan udara masuk kompresor (m/s)

c_s = kecepatan udara ke luar kompresor (m/s)

Daya yang dibutuhkan kompresor untuk menghasilkan udara mampat dengan tinggi tekan sebesar H :

$$P = QrgH$$

$$P_{iso} = \frac{QrgH_{iso}}{h_{iso} h_m 1000} \text{ KW}$$

$$P_{ad} = \frac{QrgH_{ad}}{h_{ad} h_m 1000} \text{ KW}$$

Contoh :

1. Sebuah kompresor digunakan untuk menghasilkan udara mampat pada sebuah instalasi industri. Pompa menghasilkan tekanan akhir sebesar 3 atm, debit udara masuk kompresor sebesar 7200 m³/menit, hitung berapa daya kompresor?. Juga tentukan daya poros apabila efisiensi kompresor 80% !

Diketahui :

$$\begin{aligned} Q_s &= 7200 \text{ m}^3/\text{jam} = 7200/3600 \text{ m}^3/\text{dtk} \\ p_s &= 1 \text{ atm} = 10130 \text{ Pa} \\ p_d &= 3 \text{ atm} = 30390 \text{ Pa} \\ n &= 1,4 \end{aligned}$$

Jawab :

Kerja kompresor adiabatik

$$P_{ad} = \frac{p_s Q}{60000} \frac{mn}{n-1} \left[\left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{mn}} - 1 \right] \text{ KW}$$

$$P_{ad} = \frac{10130 \times 2}{60000} \times \frac{1,4}{1,4-1} \left[\left(\frac{30390}{10130} \right)^{\frac{1,4-1}{1 \times 1,4}} - 1 \right] = 0,43 \text{ KW}$$

$$h_{komp} = \frac{P_{berguna}}{P_{poros}} = \frac{P_{poros} - P_{kendala}}{P_{poros}} = \frac{P_{ad}}{P_{poros}}$$

$$P_{poros} = \frac{P_{ad}}{h_{komp}} = \frac{0,43}{0,80} = 0,54 \text{ KW}$$

2. Kompresor menghasilkan udara mampat dengan tekanan 1,85 bar, debit aliran $6000 \text{ m}^3/\text{jam}$, kecepatan udara masuk 15 m/s dan kecepatan udara ke luar 25 m/s, berapa tinggi tekan yang dihasilkan kompresor dan daya dari kompresor?

dimana P_{ad} = daya untuk proses kompresi adiabatik (kW)

$$Q_s = 2000 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$p_s = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$T_s = 25^\circ \text{ C}$$

$$R_{udara} = 287 \text{ J/kgK}$$

$$p_d = 1,85 \text{ bar}$$

$$n = 1,4 \text{ (udara) adiabatik}$$

$$= 1 \text{ isothermal}$$

$$c_s = 20 \text{ m/s}$$

$$c_d = 25 \text{ m/s}$$

Jawab :

Asumsi kompresor bekerja adiabatik, tinggi tekan yang dihasilkan adalah

$$H_{ad} = \frac{R_i T_s C_s}{g} + \frac{(c_d^2 - c_s^2)}{2g}$$

$$H_{ad} = \frac{287(25 + 273)0,85}{9,8} + \frac{(25^2 - 20^2)}{2 \times 9,8}$$

dengan $C = 0,85$ dengan $p_d/p_s = 1,85/1$

$$H_{ad} = 7420 + 11,5 = 7431,5m$$

Daya yang dihasilkan sebesar

$$P_{ad} = \frac{QrgH_{ad}}{h_{ad}h_m} \text{ KW}$$

$$p_s = \frac{R_{udara}T_s}{r_s}$$

$$r_s = \frac{R_{udara}T_s}{p_s}$$

$$r_s = \frac{p_s}{R_{udara}T_s} = \frac{100000}{287 \times (25 + 273)} = 1,17$$

$$P_{ad} = \frac{\frac{2000}{3600} \times 1,17 \times 9,8 \times 7431,5}{0,7 \times 0,85 \times 1000} = 78,76 \text{ KW}$$

Asumsi kompresor bekerja isoeer, tinggi tekan yang dihasilkan adalah:

$$H_{ad} = \frac{R_i T_s C_s}{g} + \frac{(c_d^2 - c_s^2)}{2g}$$

$$H_{ad} = \frac{287(25 + 273)0,85}{9,8} + \frac{(25^2 - 20^2)}{2 \times 9,8}$$

dengan $C = 0,85$ dengan $p_d/p_s = 1,85/1$

$$H_{ad} = 7420 + 11,5 = 7431,5m$$

Daya yang dihasilkan sebesar:

$$P_{ad} = \frac{QrgH_{ad}}{h_{ad}h_m} \text{ KW}$$

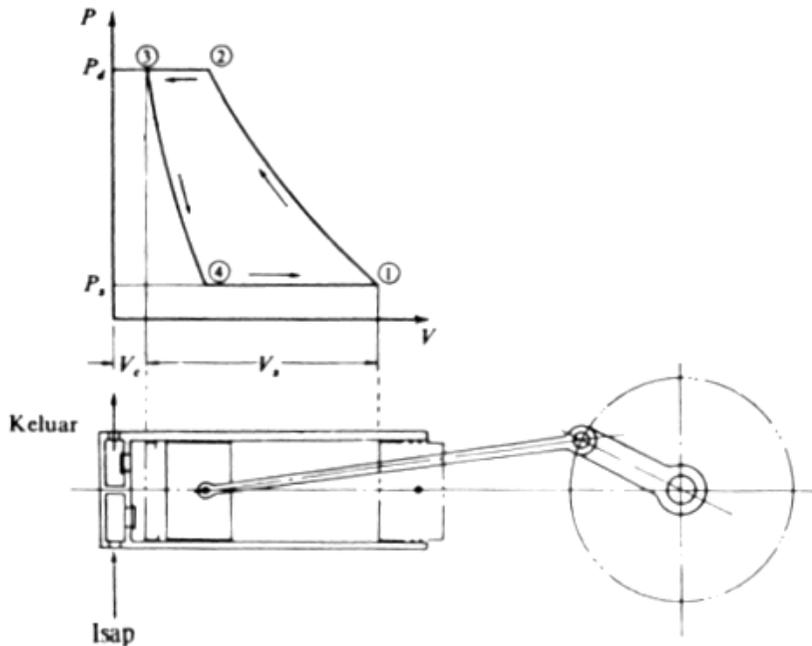
$$p_s = \frac{R_{udara}T_s}{r_s}$$

$$r_s = \frac{R_{udara}T_s}{p_s}$$

$$r_s = \frac{P_s}{R_{udara} T_s} = \frac{100000}{287 \times (25 + 273)} = 1,17$$

$$P_{ad} = \frac{\frac{2000}{3600} \times 1,17 \times 9,8 \times 7431,5}{0,7 \times 0,85 \times 1000} = 78,76 \text{ KW}$$

E.2. Efisiensi volumetrik



Gambar 9.18 Grafik p - V Proses kompresi pada kompresor torak

Jumlah udara mampat yang ke luar kompresor tidak akan mencapai jumlah yang sama dengan jumlah udara yang masuk kompresor pada proses penghisapan. Tingkat pencapaian proses pemampatan udara pada kompresor didefinisikan sebagai efisiensi volumetrik, yaitu perbandingan jumlah udara yang dike luarkan kompresor sebagai udara mampat dengan jumlah udara yang masuk kompresor selama perpindahan torak pada langkah hisap. Adapun perumusannya adalah sebagai berikut ini:

$$h_v = \frac{Q_s}{Q_{th}}$$

dimana Q_s = laju volume gas atau kapasitas (m^3)

Q_{th} = kapasitas perpindahan torak (m^3)

h_v = efisiensi volumetrik

F. Jenis Penggerak dan Spesifikasi Kompresor

Kompresor merupakan mesin yang membutuhkan penggerak dari luar. Penggerak yang dapat dipakai adalah motor listrik atau motor bakar. Motor listrik mempunyai keunggulan yaitu tidak berisik, tidak menimbulkan polusi, murah, dan operasi dan pemeliharannya mudah [Gambar 9.19]. Motor listrik yang biasa dipakai yaitu jenis motor induksi dan motor sinkron. Faktor daya dan efisiensi motor induksi lebih rendah dibanding dengan motor sinkron, akan tetapi harganya lebih murah dan pemeliharannya mudah. Motor sinkron hanya dipakai pada kompresor yang membutuhkan daya yang besar.

Motor bakar dipakai apabila kompresor beroperasi pada daerah yang tidak ada listrik, atau jenis kompresornya portable. Untuk daya-daya kecil dapat menggunakan mesin bensin dan untuk daya-daya yang besar digunakan mesin diesel.

Pemilihan transmisi untuk mentransmisikan daya dari motor penggerak ke poros kompresor, dapat berdasarkan jenis motor penggerak. Untuk motor penggerak motor listrik biasa dipakai sabuk V, kopling tetap, atau rotor terpadu. Sedangkan untuk motor penggerak motor bakar dapat dipakai transmisi sabuk V, kopling tetap, atau kopling gesek.

Laju volume gas dan tekanan kerja adalah dua hal yang penting dalam pemilihan kompresor. Kalau dua hal tersebut sudah ditentukan, maka daya kompresor dapat diketahui dengan mengaplikasikan persamaan di atas. Laju volume gas atau kapasitas pada kompresor torak yang biasa tertulis dalam katalog, menyatakan kapasitas perpindahan toraknya sedangkan pada kompresor turbo biasanya kapasitas sebenarnya. Kompresor akan bekerja dengan efisiensi adiabatik maksimum pada kondisi kapasitas normal, apabila bekerja pada kapasitas rendah atau terlalu tinggi akan turun efisiensinya. Dengan alasan tersebut, pemilihan kapasitas harus benar, sehingga kompresor akan bekerja dengan efisiensi maksimum.

Perhitungan laju volume untuk kompresor torak adalah:

$$Q_s = h_v Q_{th}$$

dimana Q_s = laju volume gas atau kapasitas (m^3)

Q_{th} = kapasitas perpindahan torak (m^3)

h_v = efisiensi volumetrik

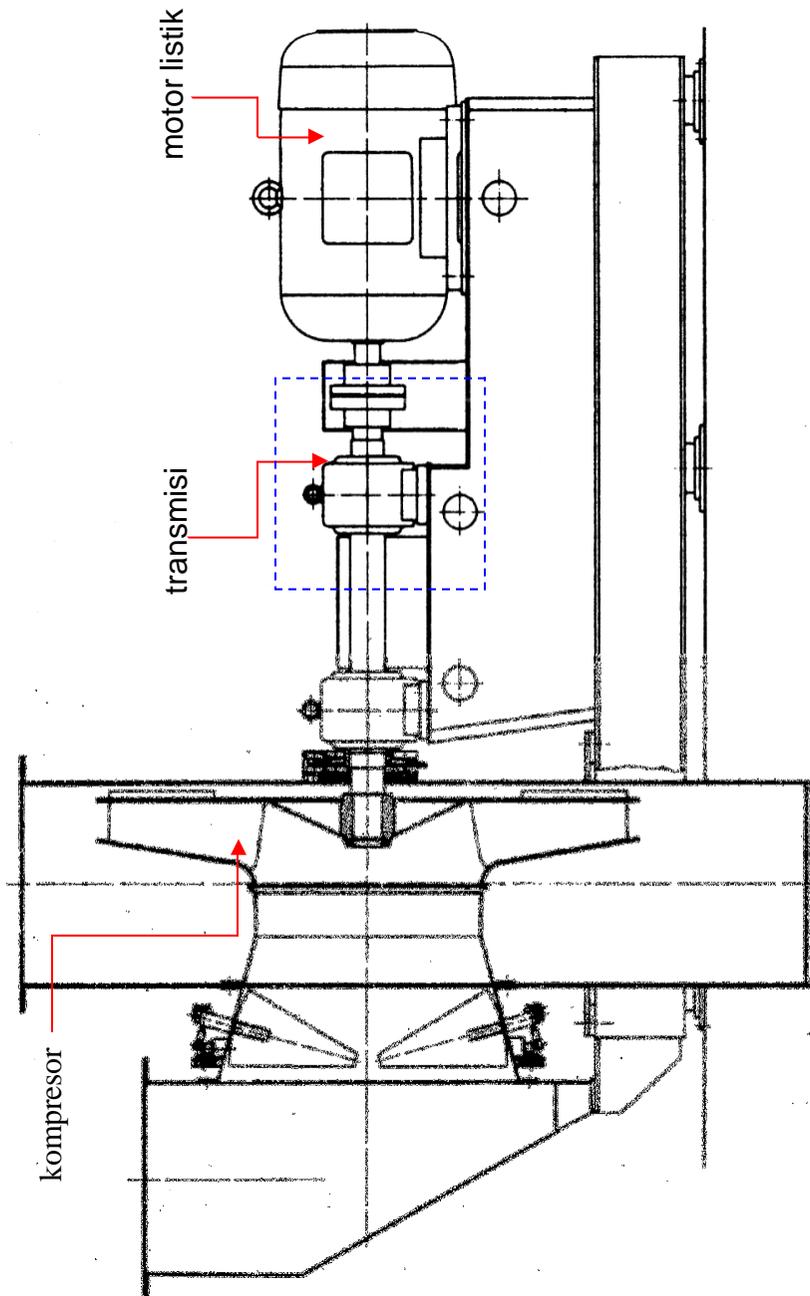
Tekanan kerja kompresor harus sama dengan tekanan kerja peralatan yang akan dilayaninya. Tekanan kerja tidak boleh terlalu rendah jauh di bawah tekanan normalnya, karena kompresor akan bekerja tidak pada efisiensi maksimumnya. Perhitungan tekanan kerja normal dari kompresor adalah jumlah dari tekanan yang dibutuhkan

peralatan ditambah dengan kerugian tekanan disepanjang saluran, atau dapat dituliskan dengan persamaan:

$$P_{\text{kerja}} = P_{\text{peralatan}} + P_{\text{kerugian}}$$

Berikut ini persyaratan dalam pembelian kompresor yang perlu diberikan ke pabrik pembuatnya.

1. Maksud penggunaan kompresor
2. Tekanan hisap
3. Tekanan ke luar
4. Jenis dan sifat sifat gas yang ditangani
5. Temperatur dan kelembaban gas
6. Kapasitas aliran volume gas yang diperlukan
7. Peralatan yang mengatur kapastas (jenis otomatis atau manual, bertingkat banyak)
8. Cara pendinginan (dengan udara atau dengan air).
9. Sumber tenaga
10. Kondisi dan lingkungan tempat instalasi
11. Jenis penggerak mula, putaran penggerak mula
12. Jenis kompresor, jumlah kompresor.

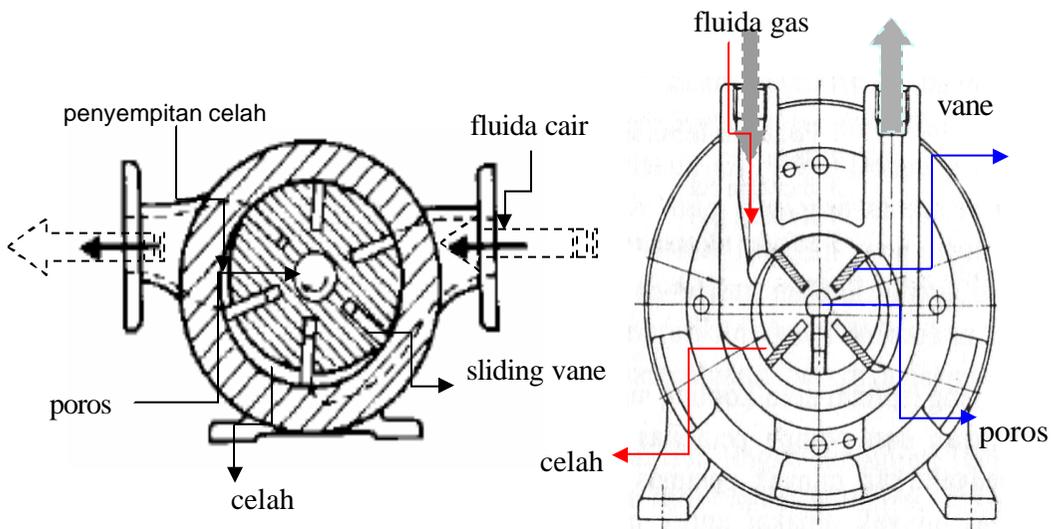


Gambar 9.19 Kompresor dengan penggerak motor listrik

G. Konstruksi Kompresor Perpindahan positif

Konstruksi kompresor perpindahan positif adalah mirip dengan konstruksi pada pompa perpindahan positif, untuk jenis yang sama. Misalnya untuk pompa torak dengan kompresor torak adalah sama, komponen utamanya adalah silinder, torak dan katup. Penggerakannya pun dapat menggunakan motor listrik atau motor bakar. Untuk jenis yang lain, misalnya untuk jenis sudu luncur, konstruksinya juga tidak banyak berbeda.

Kedua mesin bertugas untuk memampatkan atau memberi tekanan pada fluida kerja, karena tugas atau fungsi tersebut kedua mesin harus mengambil tenaga atau energi dari luar. Dengan alasan tersebut efisiensi adalah menjadi penting sehingga boros energi.



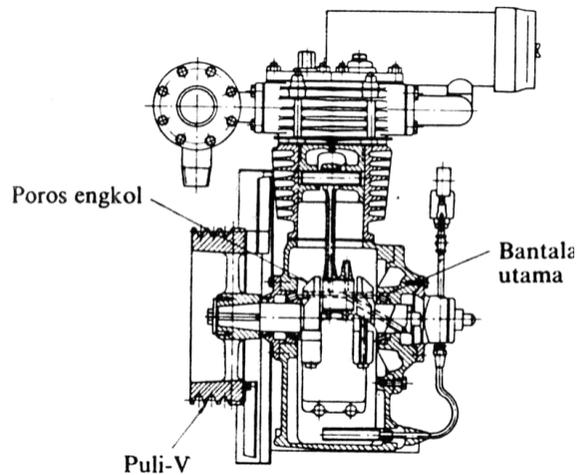
Gambar 9.20 Konstruksi dari pompa vane dan kompresor vane

Fluida kerja pompa dan kompresor adalah jelas berbeda, yang satu menggunakan udara dan yang lainnya menggunakan fluida kerja zat cair. Karena proses pemampatan fluida kerja akan mengalami kenaikan tekanan dan temperatur, maka harus dirancang suatu konstruksi yang dapat mendinginkan temperatur udara mampat. Alasan yang mendasari perlunya pendinginan adalah secara termodinamika kerja kompresor akan naik apabila temperatur udara mampat yang dihasilkan tinggi. Pada pompa kenaikan temperatur air yang ke luar tidak terlalu tinggi, karena langsung didinginkan oleh zat cair, jadi tidak ada masalah pada pompa.

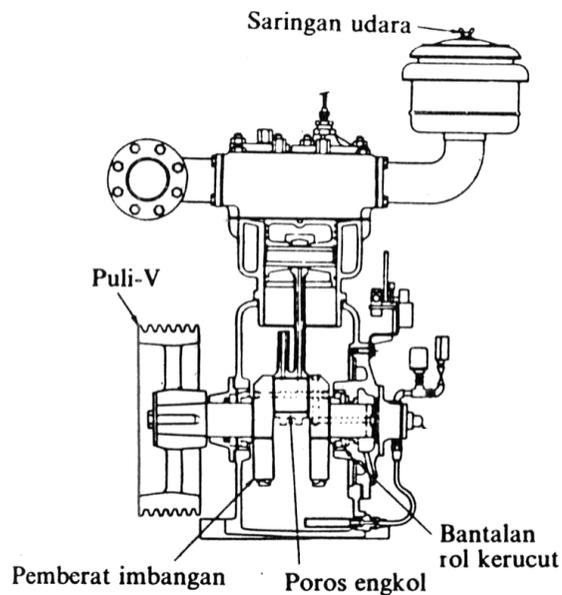
G.1 Konstruksi kompresor torak

Karena proses kompresi yang menaikkan suhu udara mampat, pada silinder kompresor torak dipasang sistem pendinginan, yaitu sirip-

sirip untuk pendinginan dengan udara [Gambar 9.21] Untuk pendinginan yang menggunakan air, prinsipnya sama dengan media yang berbeda. Pada gambar tidak terdapat sirip-sirip pada silinder tetapi menggunakan selubung air di dalam bloknnya. Pada kepala silinder juga terdapat dua katup yaitu katup hisap dan katup pengeluaran. Untuk yang bekerja ganda terdapat tutup atas dan tutup bawah.



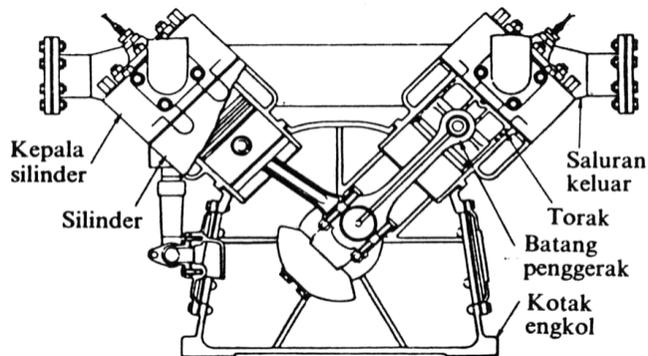
Gambar 9.21 Kompresor torak dengan pendingin udara



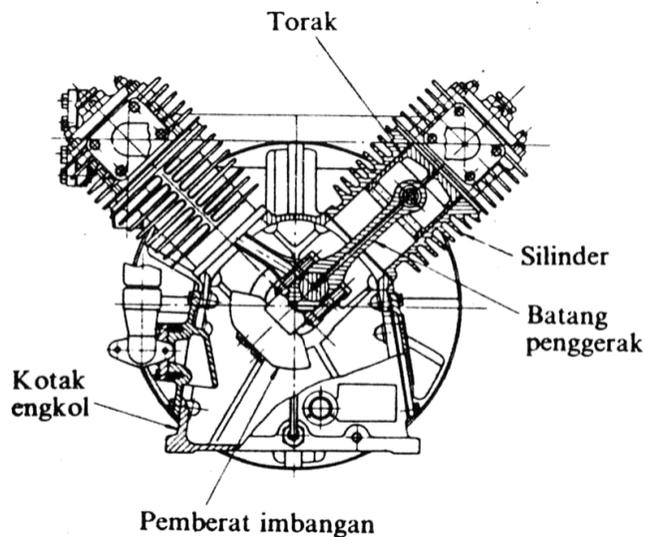
Gambar 9.23 Kompresor torak dengan pendingin air

Karena proses pemampatan tekanan di dalam silinder naik, sehingga silinder harus dibuat cukup kuat untuk menahan tekanan yang tinggi. Biasanya dipakai besi cor dengan kombinasi pendinginan, dengan

maksud silinder tidak menerima dua pembebanan sekaligus yaitu tekanan tinggi dan temperatur tinggi.



Gambar 9.24 Konstruksi kompresor torak silinder



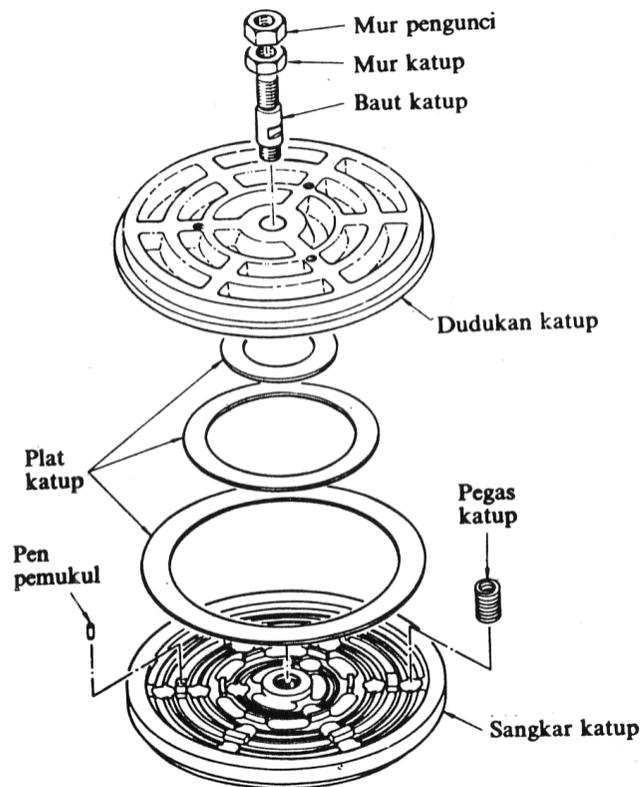
Gambar 9.25 Konstruksi kompresor torak silinder

Di dalam silinder terdapat torak dan cincin-cincinnya. Fungsi torak sudah jelas yaitu sebagai alat pemampat sehingga dengan pergerakan torak volume silinder dapat berubah-ubah. Mengingat pentingnya fungsi tersebut, torak harus mempunyai persyaratan khusus yaitu harus kuat, tahan panas dan ringan. Pada torak terdapat cincin-cincin torak yang bertugas sebagai perapat antara torak dan dinding silinder bagian dalam.

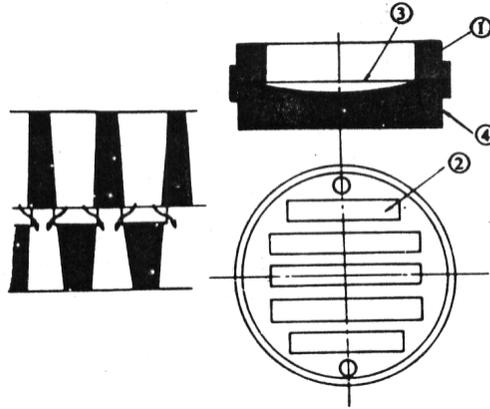
Pengaturan udara masuk dan ke luar, dari dan ke dalam silinder diatur dengan mekanisme katup. Katup pada kompresor bekerja karena perbedaan tekan. Untuk katup hisap terbuka karena tekanan dalam

silinder vakum sehingga dengan desakan tekanan udara luar katup terbuka. Sedangkan katup ke luar terbuka karena tekanan silinder sudah cukup kuat untuk membuka katup ke luar. Permasalahan katup tidak berbeda dengan silinder karena katup juga harus bekerja pada tekanan dan panas yang tinggi, khususnya bagian katup ke luar yang menerima beban tekanan dan panas tinggi. Pada saluran katup hisap dipasang penyaring udara, sehingga udara yang dihisap lebih bersih terbebas dari kotoran-kotoran yang dapat menyebabkan sumbatan pada katup atau saluran lainnya.

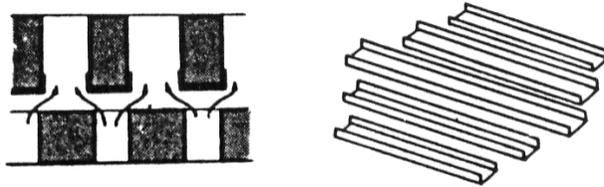
Konstruksi dari katup model cincin [Gambar 9.26], model pita [Gambar 9.27], model katup kanal [Gambar 9.28], dan katup kepek [Gambar 9.29]. Model berbeda-beda tetapi prinsip kerjanya sama.



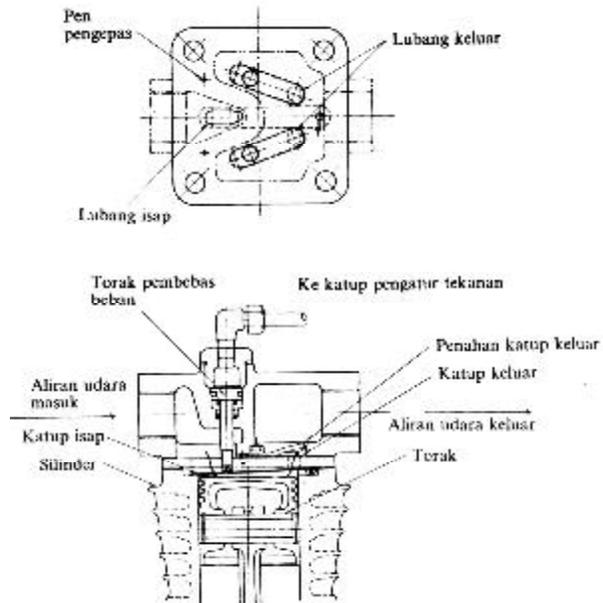
Gambar 9.26 Konstruksi katup kompresor jenis cincin



Gambar 9.27 Konstruksi katup kompresor jenis pita



Gambar 9.28 Konstruksi katup kompresor jenis kanal



Gambar 9.29 Konstruksi katup kompresor jenis kepak

Komponen penting lain pada kompresor torak adalah poros engkol dan batang penggerak [gambar 9.24, 9.25]. Kedua komponen ini bertugas mengubah gerakan putar poros menjadi gerak bolak-balik torak. Gerakan putar diperoleh poros engkol dari motor penggerak yaitu motor bakar atau motor listrik. Poros motor penggerak dan poros engkol dapat dikopel langsung, atau dengan transmisi (roda gigi, sabuk, atau puli. Untuk menyeimbangkan gerakan dan juga memperhalus getaran pada poros engkol dipasang pemberatimbangan. Poros engkol dan peralatan tambahan lainnya ditopang dengan kotak engkol. Kotak engkol harus kuat dan mampu menahan getaran dari pergerakan torak pada silinder. Poros engkol ditopang dengan bantalan pada bak engkol. Pemilihan bantalan bergantung dari ukuran kompresornya. Bantalan luncur dengan terbelah dua atau empat banyak dipakai, untuk bantalan gelinding dipakai terutama yang berjenis bola.

Kompresor adalah alat untuk melayani udara mampat dari tekanan rendah sampai tekanan tinggi. Untuk peralatan pemampat udara dengan tandon penyimpanan udara bertekanan (tangki udara), apabila suplai udara bertekanan melebihi dari kapasitas dari yang dibutuhkan, tekanan akan naik tidak terkontrol pada tangki udara, hal ini sangat membahayakan karena tangki dapat pecah. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan suatu katup pembebas beban (*unloader*). Dengan alat ini, dapat mengatur laju udara yang dihisap sesuai dengan laju aliran ke luar yang dibutuhkan. Pembebas beban dapat digolongkan menurut azas kerjanya yaitu:

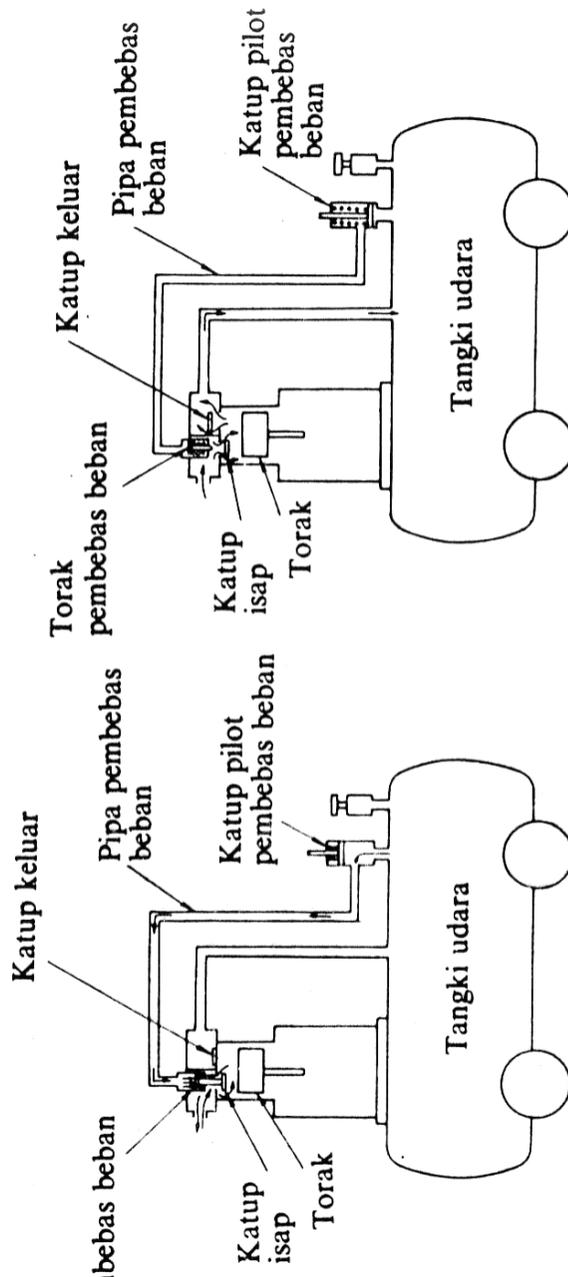
1. Pembebas beban katup hisap
2. Pembebas celah katup
3. Pembebas beban trotel hisap.
4. Pembebas dengan pemutus otomatis

Untuk kompresor torak dengan tangki udara banyak menggunakan pembebas katup hisap dan pembebas dengan pemutus otomatis. Sedangkan untuk mengurangi beban pada waktu starter digunakan pembebas beban awal.

Metode pembebas katup hisap banyak dipakai pada kompresor kecil atau sedang. Cara ini menggunakan katup hisap dimana plat katupnya dapat dibuka terus pada langkah hisap atau kompresi sehingga udara dapat bergerak bebas ke luar masuk silinder tanpa terjadi kompresi.

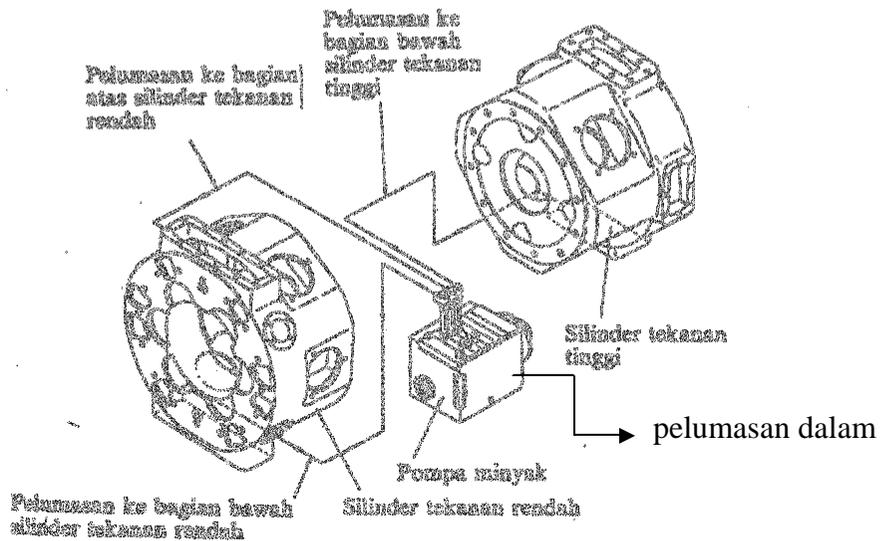
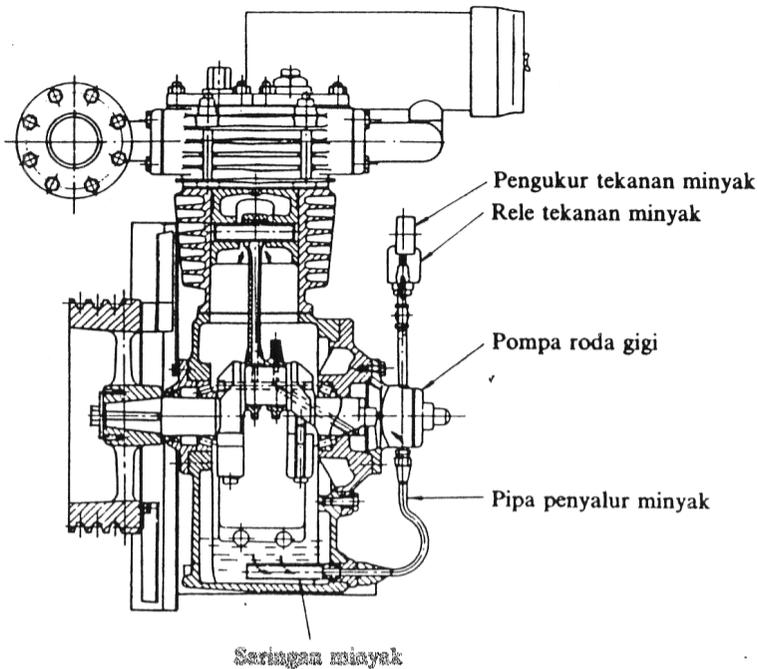
Pada Gambar 9.30 menunjukkan proses kerja dari kompresor torak dengan katup pilot pembebas beban. Fungsi katup itu adalah sebagai pembuang udara mampat dari tangki apabila tekanan di dalam tangki melebihi batas yang diijinkan. Kompresor akan bekerja pertama kali untuk pengisian tangki udara, setiap langkahnya masih normal. Katup hisap akan terbuka karena tekanan vakum dalam silinder dan langkah kompresi dimulai. Udara mampat kemudian ke luar lewat katup buang dan masuk

saluran masuk tangki udara. Apabila tekanan di dalam tangki sudah melewati batas kekuatan pegas katup pilot, maka katup pitot akan terbuka dan mengalirkan udara bertekanan menuju torak pembebas beban pada katup hisap. Karena terdorong udara bertekanan dari katup pitot, torak pembebas beban akan terbuka, dan mendorong katup hisap. Karena katup hisap terdorong maka menjadi terbuka, baik pada langkah hisap atau kompresi.



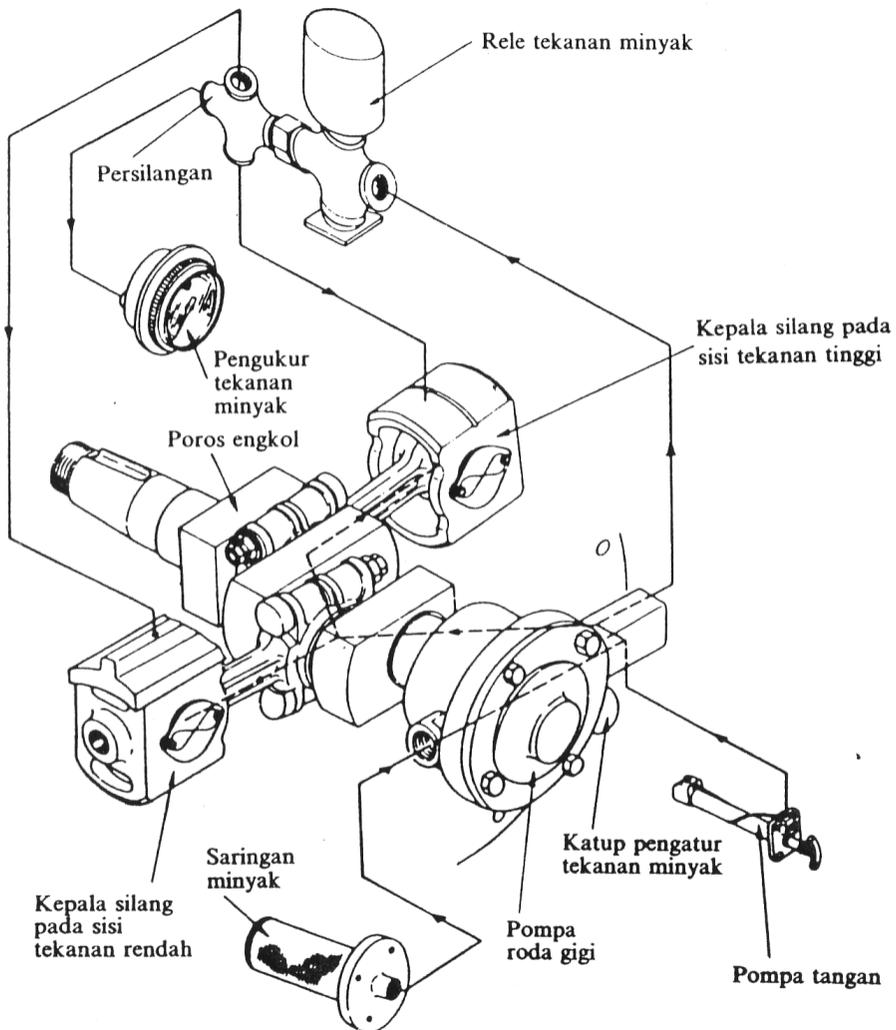
Gambar 9.30 Pengaturan kapasitas kompresor

Selama katup hisap terbuka udara mampat dari tangki bebas ke luar sehingga tekanan terus menurun sampai tekanan di dalam tangki udara tidak dapat lagi menekan pegas pilot sehingga katup pilot pembebas tekan tertutup. Hal ini juga menyebabkan torak pembebas beban pada katup hisap tertutup. Katup hisap kemudian akan bekerja normal.



Gambar 9.31 Pelumasan paksa pada kompresor

Komponen-komponen kompresor torak yang bekerja dengan pembebanan tinggi berakibat cepat panas karena gesekan atau menerima panas dari proses pemampatan. Untuk mengurangi gesekan dan mendinginkan komponen-komponen seperti torak, dinding silinder, poros engkol, batang torak dan komponen-komponen terutama yang bergerak, diperlukan pelumasan. Dengan pelumasan komponen-komponen akan bekerja lebih halus, karena antar permukaan terlindungi minyak pelumas. Panas yang berlebihan pada komponen-komponen juga dapat dihindari, keausan komponen berkurang, dan kebocoran udara dari ruang silinder ke luar lewat cincin torak dapat dihindari.



Gambar 9.32 Pelumasan luar kompresor torak

Gambar 9.32 menunjukkan sistem pelumasan luar kompresor torak. Dengan metode ini minyak pelumas didistribusikan ke semua bagian komponen yang akan dilumasi dengan pompa minyak. Tekanan pompa minyak diatur oleh sebuah alat pengatur tekanan. Minyak sebelum disalurkan terlebih dahulu ke penyaring minyak pelumas. Metode pelumasan lain adalah dengan pelumasan minyak dalam dimana metode ini banyak dipakai untuk kompresor kapasitas sedang dan besar. Jenis pompa minyak yang dipakai adalah pompa plunyer bertekanan tinggi. Untuk pelumasan luar digunakan pompa roda gigi.

Peralatan tambahan yang dipasang pada kompresor torak adalah sebagai berikut:

1. Saringan udara, digunakan untuk menyaring udara yang dihisap kompresor sehingga lebih bersih dan bebas dari kandungan debu dan pengotor lainnya, terutama yang bersifat korosi.
2. Katup pengaman, katup ini harus ada pada instalasi kompresor. Katup pengaman dipasang pada pipa ke luar dan bekerja apabila tekanan mencapai 1,2 kali tekanan normal maksimum dari kompresor
3. Tangki udara, fungsi tangki udara adalah sebagai penampung sekaligus pengatur kapasitas udara mampat.

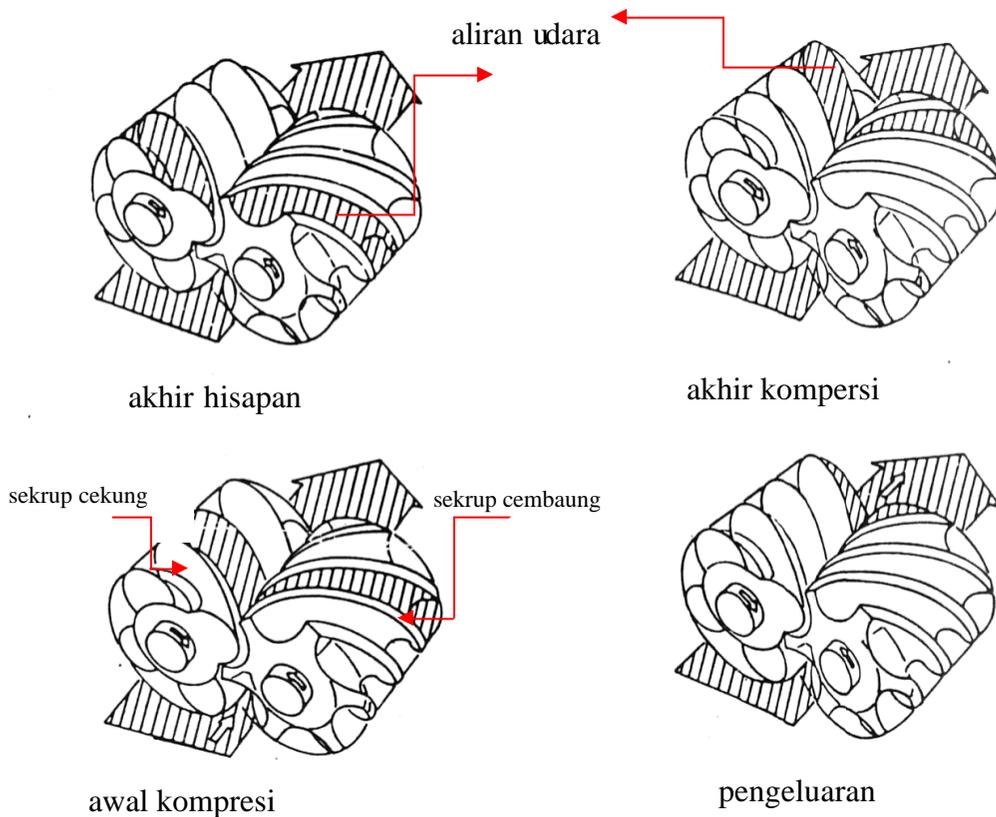
G.2 Konstruksi kompresor sekrup

Kompresor sekrup adalah termasuk jenis kompresor perpindahan positif. Berbeda dengan kompresor torak yang mempunyai banyak komponen pemampatan, kompresor sekrup hanya terdiri dari dua buah sekrup atau ulir. Dua buah sekrup ini adalah komponen pemampatan seperti torak pada kompresor torak. Sekrup satu berbentuk cembung (*male skrup*) dan yang kedua berbentuk cekungan (*female screw*). Geraknya adalah putaran, bukan bolak-balik, sehingga lebih halus, sedikit menimbulkan getaran, dan ini sangat menguntungkan apabila beroperasi pada putaran tinggi.

Cara kerja dari kompresor sekrup adalah sama dengan torak, yaitu penghisapan, kompresi dan pengeluaran. Akan tetapi, berbeda dengan kompresor torak yang kapasitasnya tidak stabil atau terputus-putus, kompresor ini menghasilkan kapasitas udara mampat yang stabil atau terus-menerus.

Kompresor sekrup dibedakan menjadi dua yaitu kompresor sekrup jenis injeksi minyak, dan kompresor sekrup jenis bebas minyak. Sesuai dengan namanya, kompresor sekrup jenis injeksi minyak menggunakan minyak pelumas yang berfungsi ganda yaitu sebagai pendingin dan pelumas. Sebagai pendingin, minyak akan mendinginkan udara selama proses kompresi, sehingga energi kompresi menjadi lebih kecil, hal ini sesuai dengan teori kompresi isothermal, yaitu selama kompresi dan

sampai akhir kompresi tidak ada perubahan suhu dengan kerja yang kompresi yang minimal.

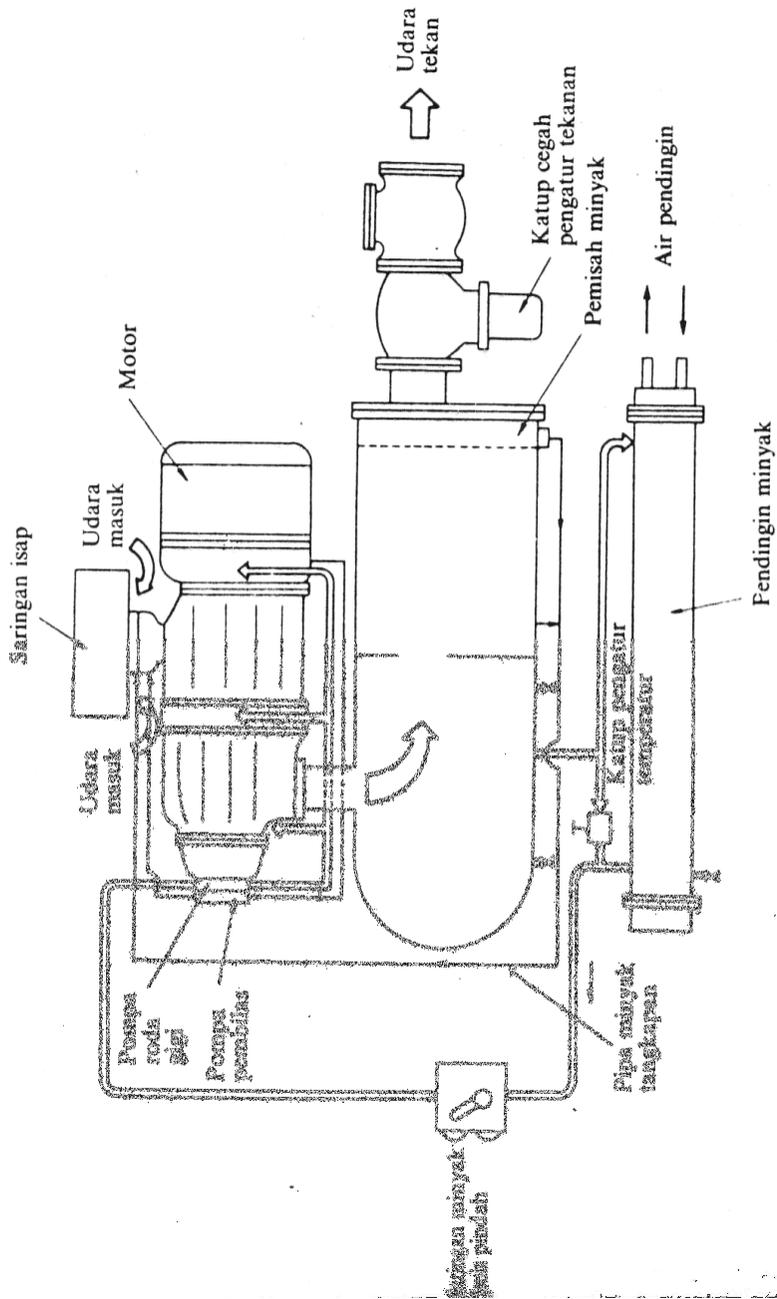


Gambar 9.33 Proses pemampatan pada kompresor sekrup

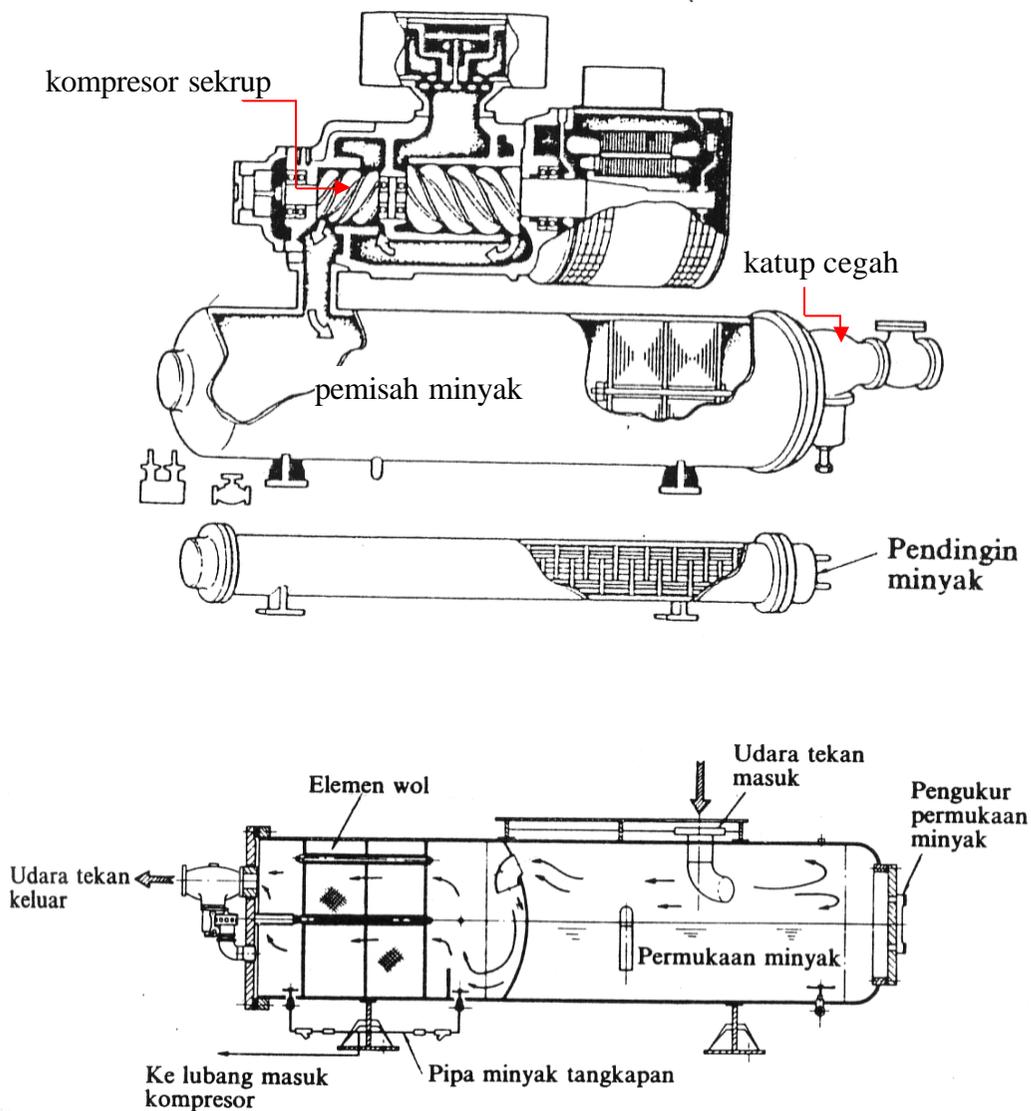
Sebagai pelumas, minyak akan melumasi kedua permukaan sekrup yang saling bersinggungan sekaligus sebagai perapat untuk mencegah kebocoran selama kompresi.

Kompresor digerakkan oleh motor listrik yang berhubungan langsung dengan poros sekrup yang cembung. Poros kompresor ditumpu dengan bantalan rol atau bantalan bola.

Pada Gambar 9.33, udara dihisap masuk ke dalam kompresor melalui saringan udara, setelah dimampatkan bareng dengan pelumasan pada kompresor skrup, kemudian dialirkan ke pemisah minyak yang sekaligus sebagai penampung minyak. Minyak di sini didinginkan dengan pendingin minyak dan udara mampat dialirkan ke luar melalui katup cegah.

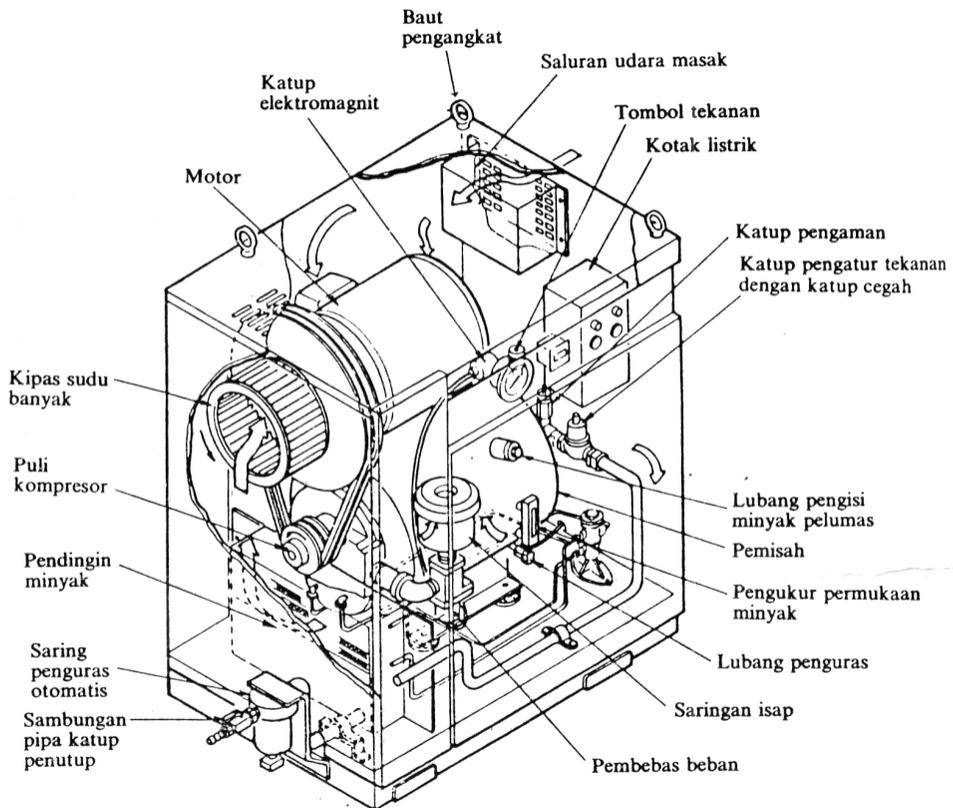


Gambar 9..34 Proses pemampatan pada kompresor sekrup injeksi minyak



Gambar 9.35 Kompresor sekrup injeksi minyak

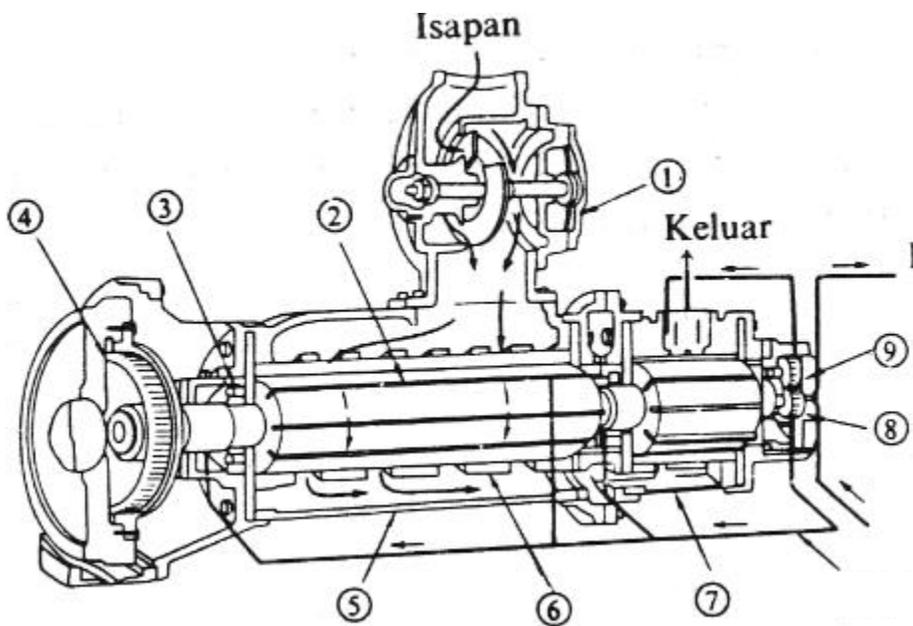
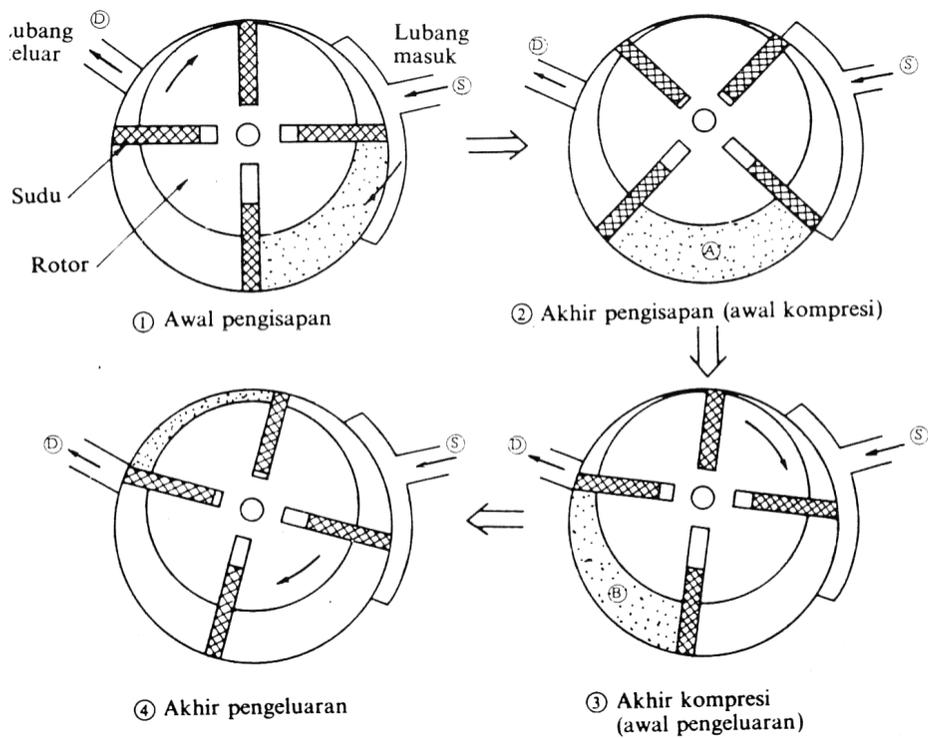
Peralatan pembantu untuk kompresor sekrup tidak berbeda dengan kompresor torak, hanya satu yang lain yaitu pada kompresor sekrup tidak mempunyai tangki udara. Peralatan pembantu dan kompresor sekrup ukuran kecil dapat dijadikan satu tempat untuk mengisolasi suara yang timbul.



Gambar 9.36 Kompresor sekrup kecil kompak jenis injeksi minyak

G.3.Konstruksi kompresor sudu luncur

Jenis kompresor rotari lainnya yang masih termasuk kompresor perpindahan positif adalah kompresor sudu luncur. Dinamakan demikian karena kompresor ini mempunyai sudu-sudu yang meluncur bebas pada rumah yang berbentuk silinder. Sudu-sudu tersebut terpasang pada parit-parit rotor. Karena letak rotor yang eksentrik tidak berada pada titik tengah silinder, ruang di antara sudu-sudu menjadi tidak sama. Hal ini dimaksudkan untuk proses pemampatan pada waktu rotor diputar. Dengan memutar poros yang sekaligus memutar rotor, pertama-tama pada daerah hisap, volume membesar sehingga tekanan menjadi vakum dan udara akan terhisap. Udara yang terjebak di antara sudu-sudu luncur akan didesak ke ruang yang lebih sempit lagi yaitu di daerah pengeluaran. Adapun proses selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 9.37.

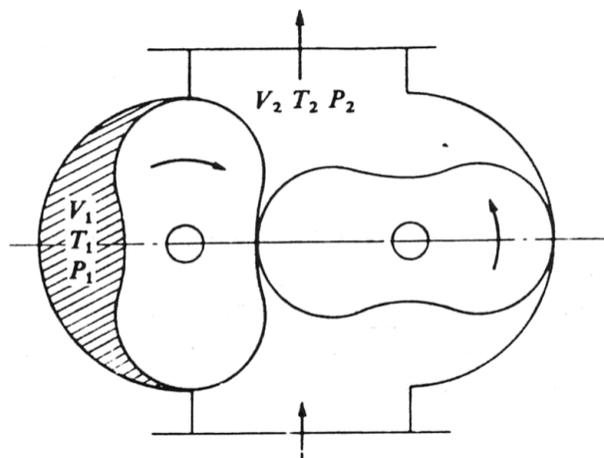


Gambar 9.37 Kompresor sudu jenis injeksi minyak

Tabel 11.1 Komponen kompresor sudu luncur

No	Nama Komponen
1	Pembebas beban hisap
2	Sudu
3	Bantalan rol
4	Kopling gigi
5	Silinder tekanan rendah
6	Rotor
7	Silinder tekanan tinggi
8	Pompa minyak pembilas
9	Pompa minyak utama

Pada gambar 9.37 menunjukkan sebuah kompresor sudu luncur tingkat dua. Rotor dengan poros menjadi satu, dan kedua ujungnya ditumpu dengan bantalan. Rotor dihubungkan dengan kopling roda gigi. Pelumasan dan pendinginan dilayani oleh pompa minyak yang dipasang pada kedua ujung poros. Kompresi jenis ini biasanya terdapat pada kompresor injeksi minyak. Sudu-sudu yang meluncur pada permukaan silinder harus dilumasi sehingga keausan material dapat diminimalkan. Peralatan tambahan sama dengan kompresor sekrup injeksi minyak.

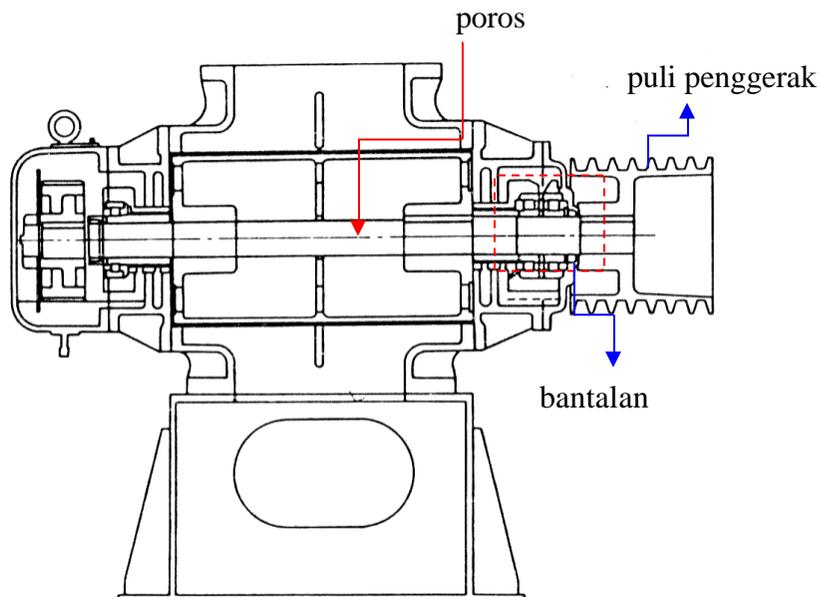


Gambar 9.38 Kompresor Roots

G.4.Konstruksi kompresor jenis roots

Kompresor atau blower jenis Roots [Gambar 9.38] mempunyai dua buah rotor yang masing-masing mempunyai dua buah gigi (Lobe) dan bentuknya mirip dengan kepongpong. Kedua rotor berputar serentak dengan arah yang berlawanan di dalam sebuah rumah. Sumbu gigi kedua rotor selalu tegak lurus antara satu dengan lainnya.

Cara kerjanya adalah sebagai berikut. Apabila kedua rotor diputar, ke dua lobe gigi akan berputar, pada saat mulai berputar tekanan di daerah hisap vakum, sehingga udara masuk ruang diantara lobe gigi dengan dinding blower kanan atau kiri, saling bergantian. Karena udara semakin didesak ke ruang yang lebih sempit, tekanannya mejadi naik, dan pada daerah pengeluaran udara tersebut dike luarkan.



Gambar 9.39 Kompresor Roots

Pada Gambar 9.39 adalah kompresor jenis roots yang banyak dipakai untuk industri. Kompresor mempunyai unjuk kerja di antara kompresor sentrifugal dan kompresor torak. Kelebihan kompresor ini dibanding dengan kompresor jenis lain yaitu:

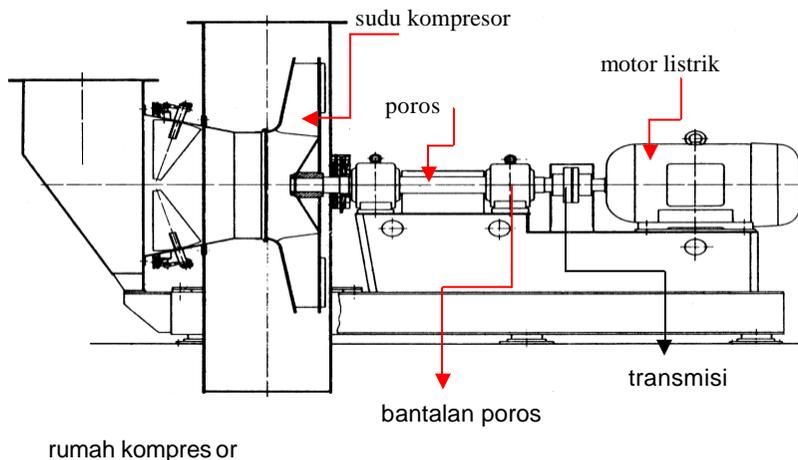
1. Kompresor tidak menimbulkan surging
2. Putarannya mudah divariasasi
3. Kapasitas mudah diatur dengan jalan pintas
4. Bebas minyak

H. Konstruksi Kompresor Rotari Aksial dan Radial

Konstruksi kompresor rotari adalah sama dengan konstruksi pompa sentrifugal. Konstruksi utama dari kompresor jenis ini adalah impeler atau sudu kompresor, rumah sudu, poros kompresor. Pada Gambar 9.40 adalah sebuah kompresor tekanan rendah atau blower. Kompresor aksial dan radial banyak dirancang untuk melayani kapasitas udara yang besar yaitu pada industri-industri besar. Kelebihan dari kompresor jenis ini adalah dapat dibuat bertingkat tanpa banyak mengalami permasalahan.

Tekanan yang dihasilkan pun sangat bervariasi, untuk tekanan yang rendah sampai sedang biasanya dipakai untuk keperluan pekerjaan yang ringan, seperti untuk ventilator atau untuk sirkulasi udara.

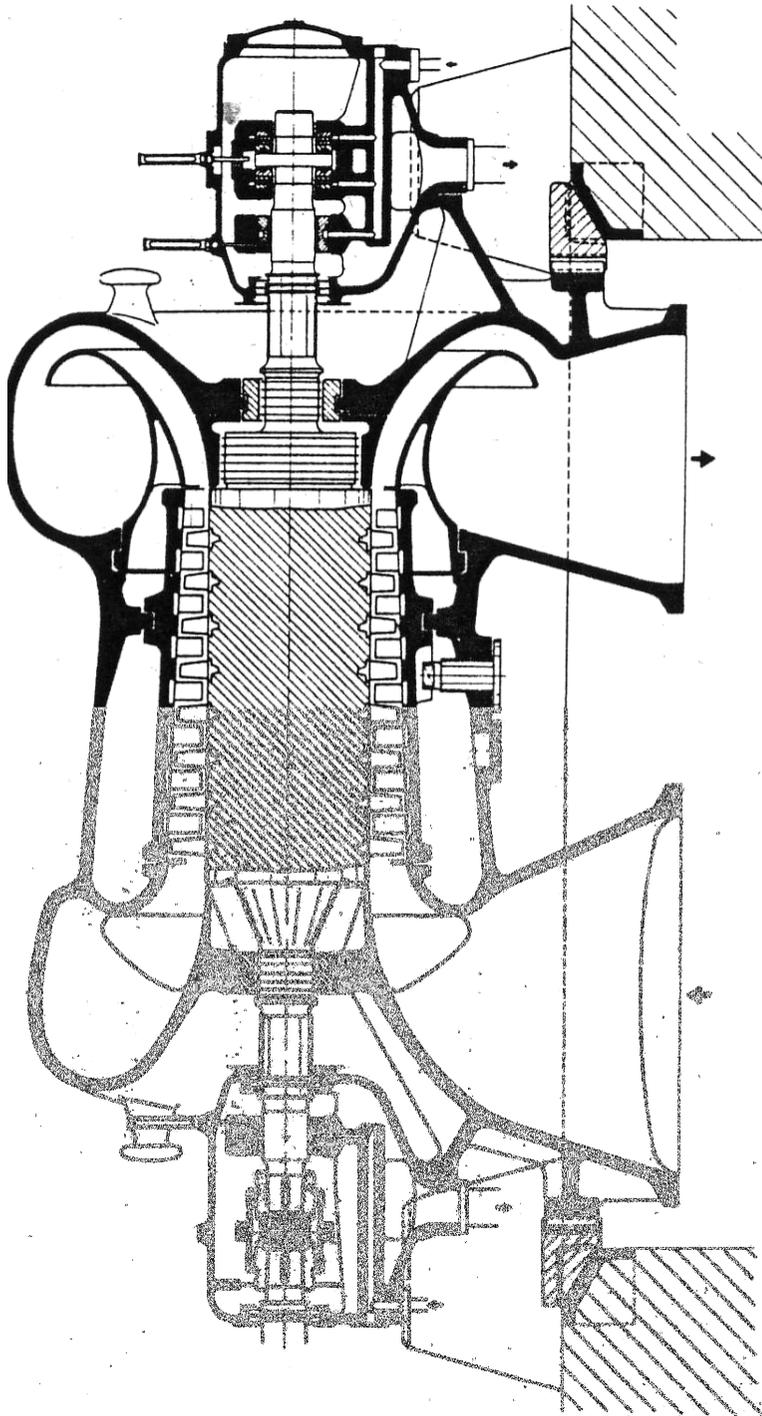
Kompresor dengan tekanan tinggi dan kapasitas yang besar akan melayani pekerjaan yang berat pula. Sebagai contoh yang paling mudah dipahami adalah pemakaian kompresor pada sistem turbin gas, yaitu sebagai penyuplai udara mampat untuk proses pembakaran.



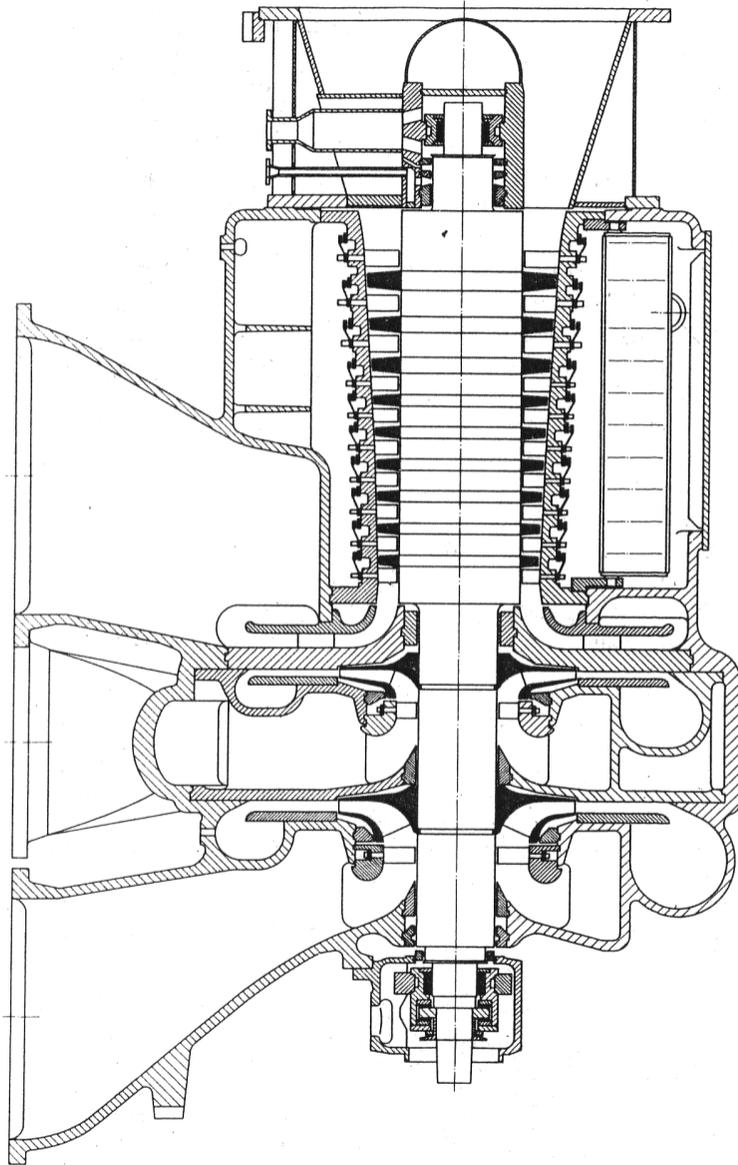
Gambar 9.40 Kompresor tekanan sedang atau blower

Pada gambar 9.41 adalah konstruksi dari kompresor aksial tingkat banyak. Kompresor ini banyak dipakai di industri sebagai penghasil udara bertekanan dalam kapasitas yang besar. Rotor ditumpu dengan bantalan luncur logam putih. Sudu-sudu pengarah dipasang pada rumah sudu pengarah. Rumah bagian luar dilengkapi dengan saluran hisap dan saluran tekan. Kompresor jenis ini juga banyak diaplikasikan untuk industri turbin gas, yaitu sebagai komponen utama penyuplai udara bertekanan sebelum masuk ruang bakar. Kemampuan menghasilkan kapasitas yang besar dengan unjuk kerja yang lebih bagus dibandingkan

dengan kompresor radial [gambar 9.42] menjadikan kompresor jenis ini banyak dipakai.



Gambar 9.41 Konstruksi kompresor aksial



Gambar 9.42 Konstruksi kompresor aksial radial

Pada gambar 9.42 adalah konstruksi sebuah kompresor aksia radial. Kompresor ini digunakan sebagai pemampat udara, gas-gas, instalasi yang membutuhkan udara yang banyak dipakai pada pabrik baja, serta instalasi amoniak pada pabrik pupuk.

I. Gangguan Kerja Kompresor dan Cara Mengatasinya

I.1. Pembebanan lebih dan pemanasan lebih pada motor penggerak.

Kompresor merupakan suatu mesin yang bekerja dengan energi dari sumber lain. Seperti yang sudah diuraikan pada bab sebelumnya, sumber energi berupa motor penggerak yang umum digunakan secara luas adalah motor bakar dan motor listrik. Permasalahan akan muncul apabila jumlah daya yang dibutuhkan kompresor adalah kurang dari harga normal operasi. Sebagai contoh apabila kompresor membutuhkan $P_v = 10$ KWatt untuk bekerja normal tetapi motor penggerak hanya mempunyai daya maksimum sebesar 8 Kwatt, motor penggerak akan bekerja berat atau menjadi terbebani lebih. Hal ini dapat berakibat motor listrik menjadi panas dan dapat terbakar pada lilitan kemagnetannya. Penggunaan motor bakar sebagai motor penggerak, apabila sering beropersai dalam kondisi pembebanan lebih akan mengurangi umur mesin.

Untuk mengatasi kondisi di atas, yaitu pembebanan yang berlebih pada instalasi kompresor, dalam memilih motor penggerak harus mempertimbangkan faktor koreksi daya a . Dengan mempertimbangkan hal tersebut apabila terjadi peningkatan kebutuhan daya kompresor, motor penggerak tetap dapat melayani kebutuhan daya.

I.2. Pemanasan lebih pada udara hisap

Berdasarkan perumusan proses kompresi pada kompresor, semakin tinggi temperatur udara yang dihisap dengan rasio kompresi yang sama, akan menghasilkan udara mampat dengan temperatur yang lebih tinggi. Disamping itu kerja kompresor menjadi lebih berat, hal ini tentunya menaikkan harga dari daya penggerak kompresor. Temperatur udara luar yang diijinkan adalah sekitar 40°C . Apabila temperatur udara hisap lebih tinggi dari temperatur tersebut, dapat mengakibatkan temperatur udara tekan menjadi sangat tinggi dan efeknya merugikan dan cenderung mengganggu kinerja dari proses pemampatan. Pelumas yang terkena panas berlebih juga akan terbakar dan menghasilkan karbid yang menempel pada katup-katup atau peralatan lainnya yang dalam jangka waktu lama akan merusak katup-katup tersebut. Efek lainnya yang dapat terjadi adalah karena kerusakan pada katup-katup, udara tekan akan masuk silinder lagi dan dikompresikan lagi, kondisi ini menghasilkan udara tekan dengan temperatur sangat tinggi, proses kompresi bahkan berhenti sama sekali karena piston pada panas tinggi menjadi memuai dan kemudian macet.

Cara mengatasi kondisi apabila terjadi kenaikan temperatur udara tekan yang besar, instalasi kompresor perlu dipasang alat pendingin terutama pada tangki penampung udara tekan. Disamping itu sistem pelumasan sebaiknya diberi pendingin air.

I.3. Katup pengaman yang sering terbuka

Peralatan pengatur kapasitas yang paling penting adalah katup pengaman yang berfungsi membatasi tekanan ke luar tidak naik sampai melampaui batas normalnya. Sebelum katup pengaman terbuka, katup pembebas beban harus bekerja. Gangguan terjadi apabila katup pembebas beban ada kerusakan karena tersumbat atau disetel pada kondisi nilai tekanan yang tinggi. Apabila hal tersebut terjadi pengontrolan tekanan menjadi kacau atau dengan kata lain tekanan berlebih di atas normal yang ke luar tidak terkontrol lagi, hal ini sangat membahayakan bagi operator kompresor.

Hal yang patut diperhatikan untuk mencegah tidak terkontrolnya tekanan udara ke luar yang melebihi normal yaitu melakukan penyetelan yang pas dengan standar dan selalu mengecek kebersihan pada katup pembebas beban dari kotoran-kotoran yang kemungkinan dapat menyumbat.

I.4. Bunyi dan getaran

Kompresor bekerja untuk mengompresi udara dengan rasio tekanan tertentu. Semakin tinggi, semakin berat kerja kompresor, beban yang diterima komponen-komponen juga bertambah. Untuk kompresor dengan waktu kerjanya lama, antar komponen biasanya terjadi kelonggaran (*clearance*) yang semakin bertambah. Sebagai contoh kelonggaran antara torak dengan silinder, bantalan-bantalan pada pena torak, pena engkol dan poros engkol. Pada bantalan kompresor radial juga terjadi, terutama apabila porosnya tidak lurus. Apabila batas kelonggaran dilampaui akan menyebabkan bunyi berisik dan getaran, hal tersebut terjadi karena antar komponen saling bertumbukan, menggesek, lama kelamaan permukaan komponen tersebut mengalami abrasi dan menjadi aus. Jika proses abrasi berlangsung terus menerus akan mengakibatkan komponen-komponen menjadi retak kemudian dapat pecah atau patah.

Pemasangan pondasi yang tidak baik juga dapat menimbulkan getaran yang merugikan. Pemasangan antara motor penggerak dengan kompresor yang tidak lurus akan menimbulkan banyak masalah terutama pada bantalan-bantalan akan terkena pembebanan yang tidak merata.

Aliran udara tekan yang melewati perpipaian juga dapat menimbulkan gangguan yaitu timbulnya resonansi di dalam pipa. Disamping itu, udara tekan yang melewati saluran yang berbelok akan menumbuk dan cenderung menimbulkan getaran apabila pondasi pipa tidak kuat.

Keausan komponen sebagian besar disebabkan oleh kurang adanya perhatian terhadap sistem pelumas dan kualitas dari pelumasnya. Pemakai pelumas yang tidak standar atau tidak tepat akan merugikan. Sebaiknya pemakaian pelumas sesuai dengan standar yang disarankan dari pabrik pembuat. Faktor penting yang perlu diperhatikan adalah penggantian minyak pelumas harus terjadwal dengan baik, sehingga kompresor beroperasi selalu dalam keadaan siap dan aman tanpa kemungkinan terjadi kerusakan.

Untuk mencegah getaran yang timbul pada saat kompresor bekerja, pondasi harus bagus yang menjamin dapat meredam getaran yang timbul. Pemilihan transmisi juga harus mempertimbangkan dengan kondisi operasi kompresor.

I.5. Korosi

Fluida kerja dari kompresor adalah udara yang akan dimampatkan. Udara tersebut jika tercampur senyawa-senyawa asam atau basa akan sangat korosif. Apabila kompresor dalam keadaan mati, udara tekan akan mengalami pendinginan dan uap air dengan kandungan senyawa korosif yang akan mengembun dan dapat menempel pada komponen-komponen dan sebagian masuk ke dalam minyak pelumas. Air dari pengembunan ini dapat menimbulkan korosi yaitu peristiwa bereaksinya bahan logam dengan zat korosif dan menghasilkan karat. Minyak pelumas juga berperan dalam proses korosi, hal ini terjadi jika minyak pelumas tidak terkontrol penggantianannya sehingga pelumas yang bersirkulasi banyak mengandung zat asam dan korosif terhadap logam.

Pencegahan korosi pada peralatan kompresor dapat dilakukan melalui pemilihan bahan logam yang tepat dan tahan korosi. Cara lain adalah dengan pemberian katup cegah air otomatis pada sisi ke luar kompresor, hal ini untuk mengurangi jumlah air yang terlarut pada udara tekan dan pelumas.

Rangkuman

1. Kompresor adalah alat pemampat atau pengkompresi udara dengan kata lain kompresor adalah penghasil udara mampat. Karena dari proses pemampatan, udara mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara lingkungan (1atm).
2. Kompresor berdasarkan dari cara pemampatannya dibedakan menjadi dua yaitu jenis turbo dan jenis perpindahan. Jenis turbo menggunakan gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh putaran impeler sehingga udara mengalami kenaikan energi yang akan diubah menjadi energi tekanan. Sedangkan jenis perpindahan, dengan memperkecil volume udara yang diisap kedalam silinder atau stator dengan torak atau sudu. Kompresor yang diklasifikasikan berdasarkan tekanannya adalah kompresor untuk

pemampat (tekanan tinggi), blower untuk meniup (tekanan sedang) dan fan untuk kipas (tekanan rendah)

3. Dalam sehari-hari kita banyak menemui penggunaan kompresor sebagai contoh berikut ini ;
 - a. Pengisi udara pada ban sepeda atau mobil
 - b. Sebagai penyemprot kotoran pada bagian-bagian mesin
 - c. Rem pada bus dan kereta api
 - d. Pintu pneumatik pada bus dan kereta api
4. Proses kompresi sebenarnya secara isothermal dan adiabatik tidak dapat diaplikasikan. Proses kompresi yang bekerja menggunakan prinsip diantara proses isothermal dan adiabatik yaitu kompresi politropik
5. Temperatur gas akan naik setelah kompresi baik secara adiabatik atau politropik, karena panas disolasi, sehingga semua panas diubah menjadi temperatur.
6. Kompresor dengan kompresi isothermal memerlukan lebih kecil energi atau kerja, dibandingkan dengan kompresi adiabatik. Tetapi proses kompresi tidak pernah dapat berlangsung isothermal, kecuali dengan penambahan alat pendingin pada kompresor, sehingga udara yang keluar kompresor bertemperatur sama dengan sebelum masuk kompresor. Alat pendingin tersebut dipasang pada kompresor banyak tingkat, terutama pada kompresor radial. Antar tingkat kompresor dipasang pendingin yang biasa disebut dengan *intercooler*
7. Daya yang diperlukan kompresor tidak hanya untuk proses kompresi gas, tetapi juga untuk mengatasi seperti kendala mekanis, gesekan gesekan, kendala tahanan aerodinamik aliran udara pada katup dan saluran
8. Kompresor merupakan mesin yang membutuhkan penggerak dari luar. Penggerak yang dapat dipakai adalah motor listrik atau motor bakar. Motor listrik mempunyai keunggulan yaitu tidak berisik, tidak polusi, murah, dan operasi dan pemeliharaannya mudah

Soal.

1. Sebutkan fungsi dari kompresor !
2. Jelaskan klasifikasi dari kompresor dan dari jenis apakah kompresor yang sering anda jumpai dipinggir-pinggir jalan atau dibengkel-bengkel !

3. Bagaimana cara kerja kompresor jenis turbo jenis perpindahan positif ?
4. Jelaskan cara-cara kompresi pada kompresor !, dan cara yang mana yang terbukti paling efisien !
5. Jelaskan fungsi dari pemasangan intercooler
6. Sebutkan macam-macam penggerak kompresor dan jelaskan keuntungan dan kelebihanannya !

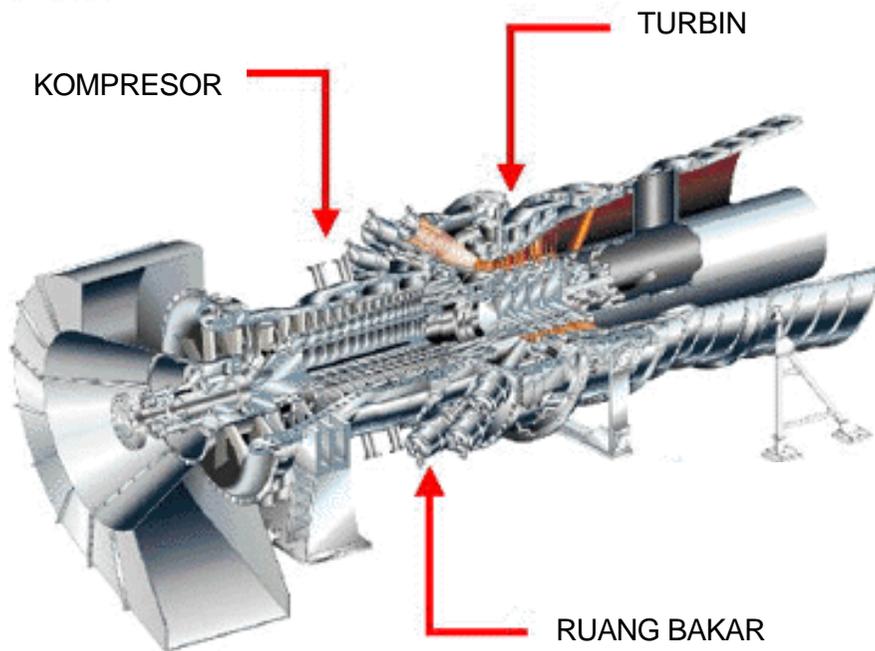
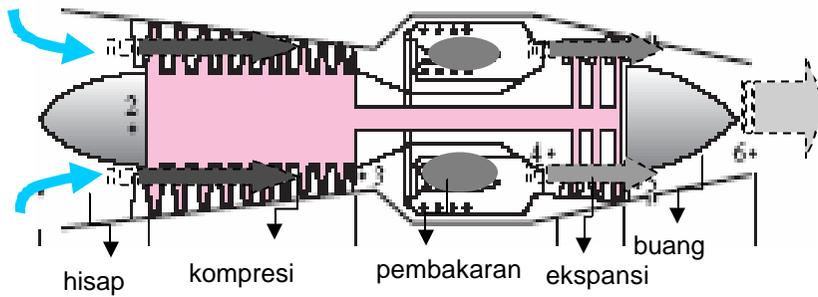
BAB 10 DASAR MOTOR BAKAR

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin konversi energi yang banyak dipakai sebagai penggerak kendaraan (otomotif) atau sebagai penggerak peralatan industri [gambar 10.1]. Dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya. Mesin yang bekerja dengan cara ini disebut mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) [gambar 10.1]. Adapun mesin kalor yang cara memperoleh energinya dengan proses pembakaran di luar disebut mesin pembakaran luar (*external combustion engine*). Sebagai contoh mesin uap [gambar 10.2], dimana energi kalor diperoleh dari pembakaran luar, kemudian dipindahkan ke fluida kerja melalui dinding pemisah.

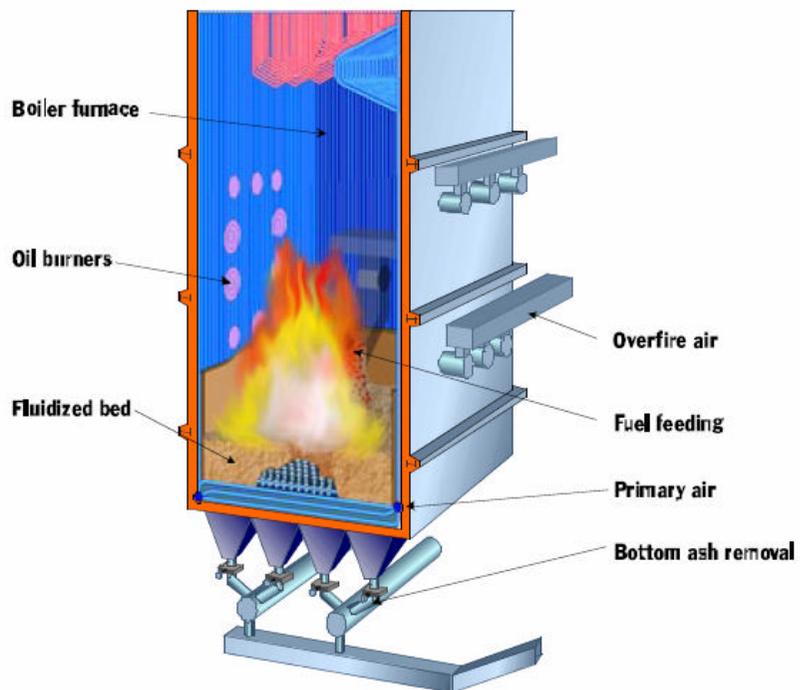
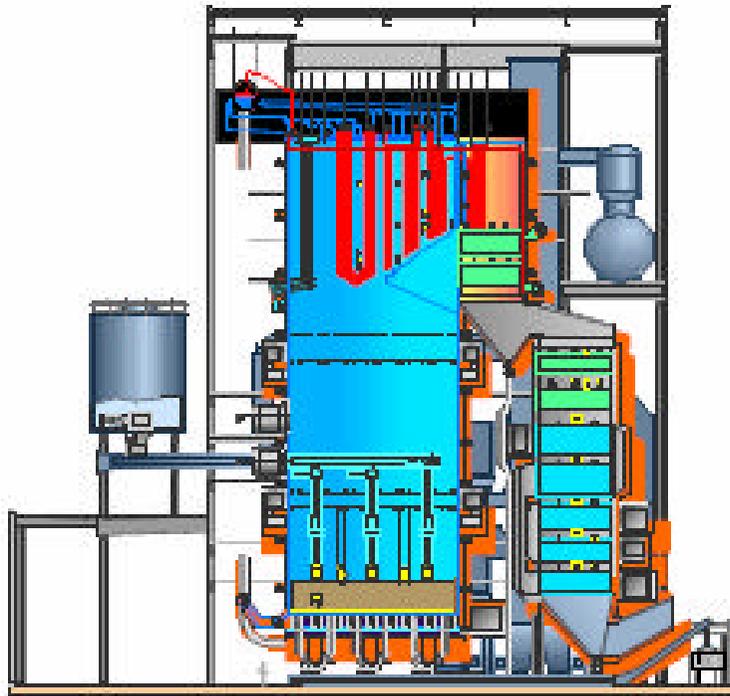


Gambar 10.1 Mesin pembakaran dalam

Keuntungan dari mesin pembakaran dalam dibandingkan dengan mesin pembakaran luar adalah konstruksinya lebih sederhana, tidak memerlukan fluida kerja yang banyak dan efisiensi totalnya lebih tinggi. Sedangkan mesin pembakaran luar keuntungannya adalah bahan bakar yang digunakan lebih beragam, mulai dari bahan bakar padat sampai bahan-bakar gas, sehingga mesin pembakaran luar banyak dipakai untuk ke luaran daya yang besar dengan banan bakar murah. Pembangkit tenaga listrik banyak menggunakan mesin uap. Mesin uap tidak banyak dipakai untuk kendaraan transport karena konstruksinya yang besar dan memerlukan fluida kerja yang banyak.



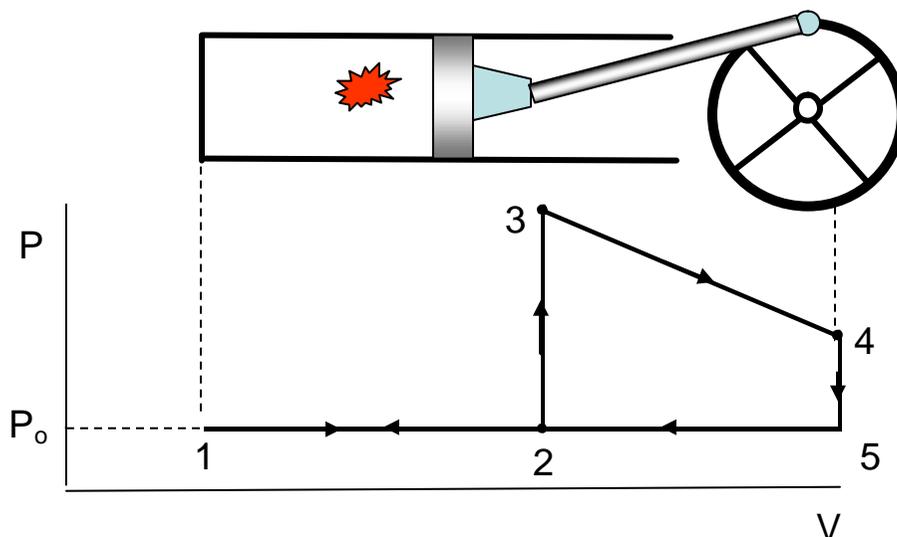
Gambar 10.2 Mesin pembakaran dalam



Gambar 10.3 Mesin pembakaran luar

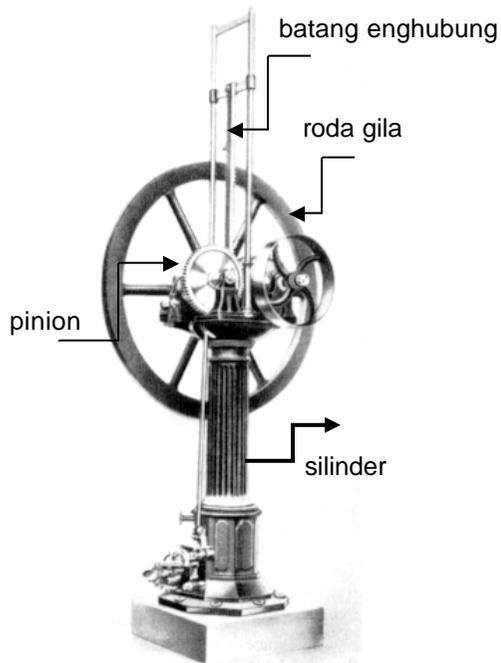
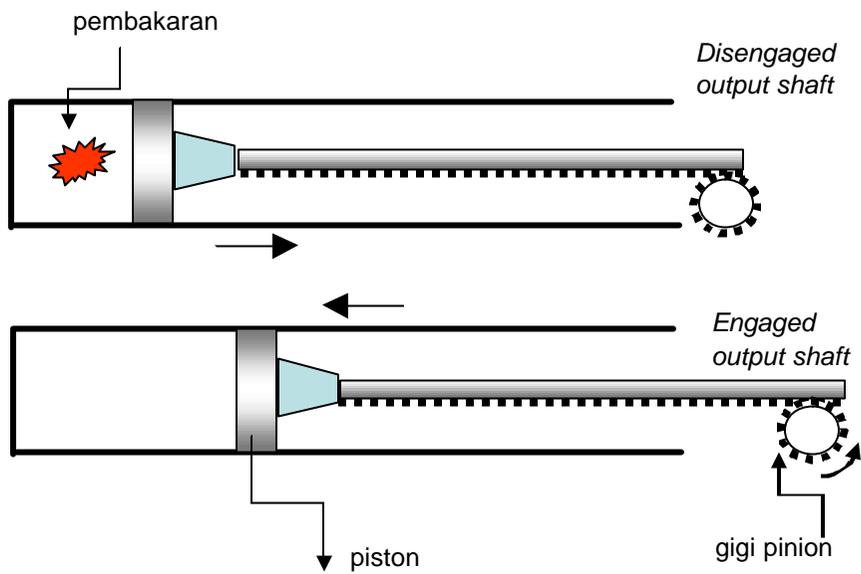
A. Sejarah Motor Bakar

Sejarah motor bakar mengalami perkembangan yang menggembirakan sejak tahun 1865. Pada tahun tersebut Lenoir mengembangkan mesin pembakaran dalam tanpa proses kompresi [Gambar 10.4]. Campuran bahan bakar dihisap masuk silinder dan dinyalakan sehingga tekanan naik, selanjutnya gas pembakaran berekspansi yang mendorong piston. Langkah berikutnya gas pembakaran dibuang, piston kembali bergerak menghisap campuran bahan bakar udara dengan menggunakan energi yang tersimpan dalam roda gila. Mesin Lenoir pada tahun 1865 diproduksi sebanyak 500 buah dengan daya 1,5 hp pada putaran 100 rpm.

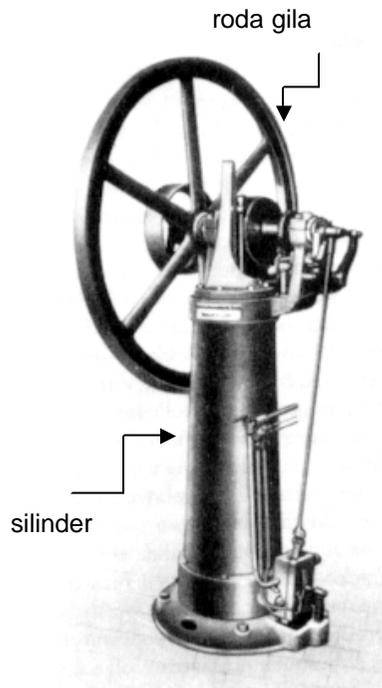


Gambar 10.4 Mesin Lenoir

Mesin berikutnya yang lebih efisien dari mesin Lenoir adalah *Otto langen engine* [Gambar 10.5, 10.6, 10.7]. Mesin ini terdiri dari piston yang tidak dihubungkan dengan poros engkol, tetapi piston bergerak bebas secara vertikal pada proses ledakan dan tenaga. Setelah itu, secara gravitasi piston bergerak turun dan terhubung dengan gigi pinion diteruskan ke roda gila. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam roda gila digunakan oleh piston untuk energi langkah hisap. Pada langkah hisap campuran bahan bakar udara masuk silinder untuk pembakaran.



Gambar 10.5 *Otto langgen engin* generasi pertama

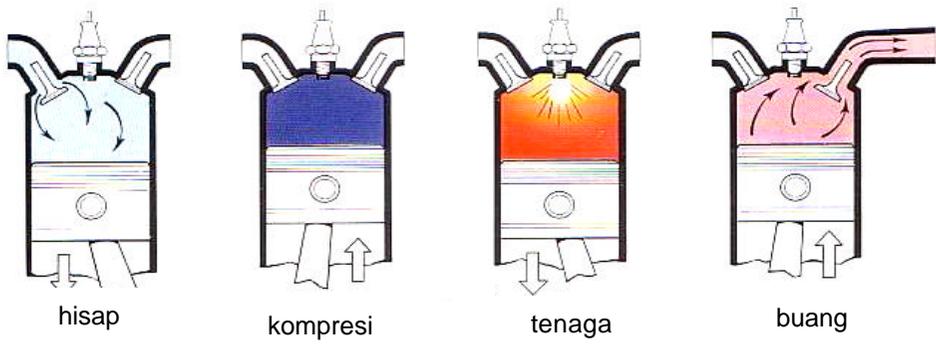
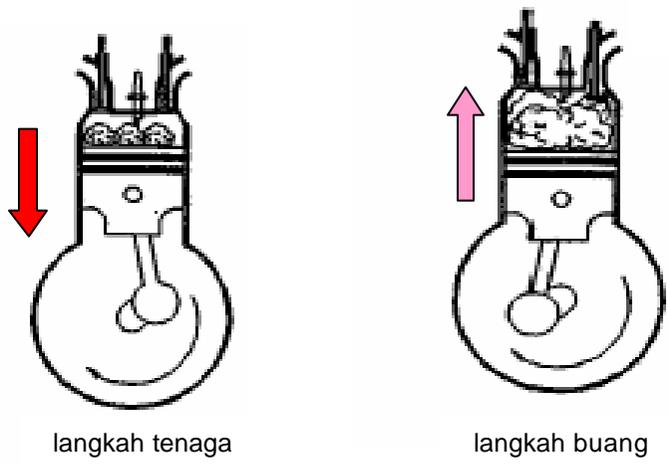
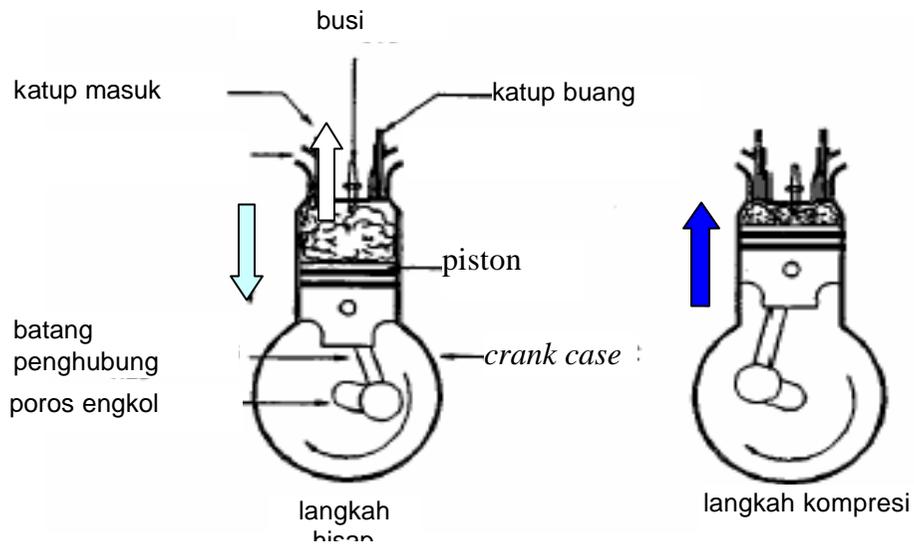


Gambar 10.6 *Otto langen mesin* generasi kedua

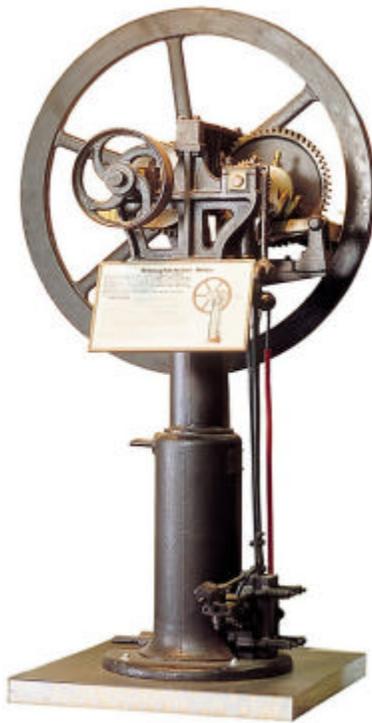
Konsep-konsep untuk menaikkan efisiensi mesin pembakaran dalam terus dilakukan oleh para peneliti . Pada tahun 1862 di Prancis, Beau de Rochas menulis prinsip dasar untuk efisiensi sistem mesin pembakaran dalam. Adapun prinsip dasar dari mesin Rochas adalah sebagai berikut [Gambar 10.7]

- **Langkah pertama** adalah langkah hisap pada waktu piston bergerak menjauh ruang bakar. Campuran bahan bakar udara masuk ruang bakar.
- **Langkah kedua** adalah mengkompresi campuran bahan bakar udara selama piston bergerak menuju ruang bakar.
- **Langkah ke tiga** adalah penyalaan dan pembakaran, terjadi ekspansi dan piston bergerak menjauh dari ruang bakar.
- **Langkah ke empat** adalah pembuangan pada waktu piston menuju ruang bakar.

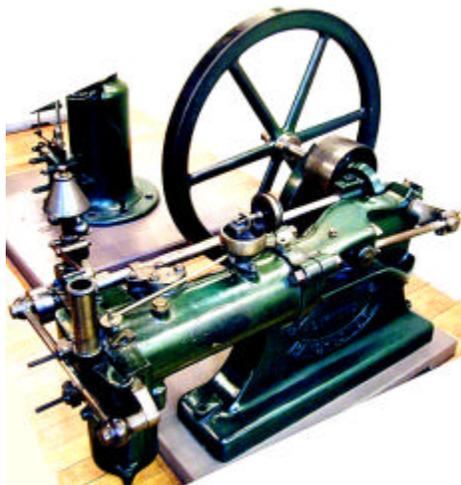
Tahun 1876 oleh orang Jerman Nicolas August Otto membuat mesin dengan konsep Beau de Rochas, dan mengajukan paten atas namanya [Gambar 10.8 , 10.9]. Mulai saat itu, semua mesin yang dibuat sama dengan mesin Otto, sehingga sampai sekarang siklus yang terkenal adalah siklus Otto. Untuk mesin Otto modern adalah pada Gambar 10.10



Gambar 10.7 Prinsip kerja mesin dengan konsep Beau de Rochas



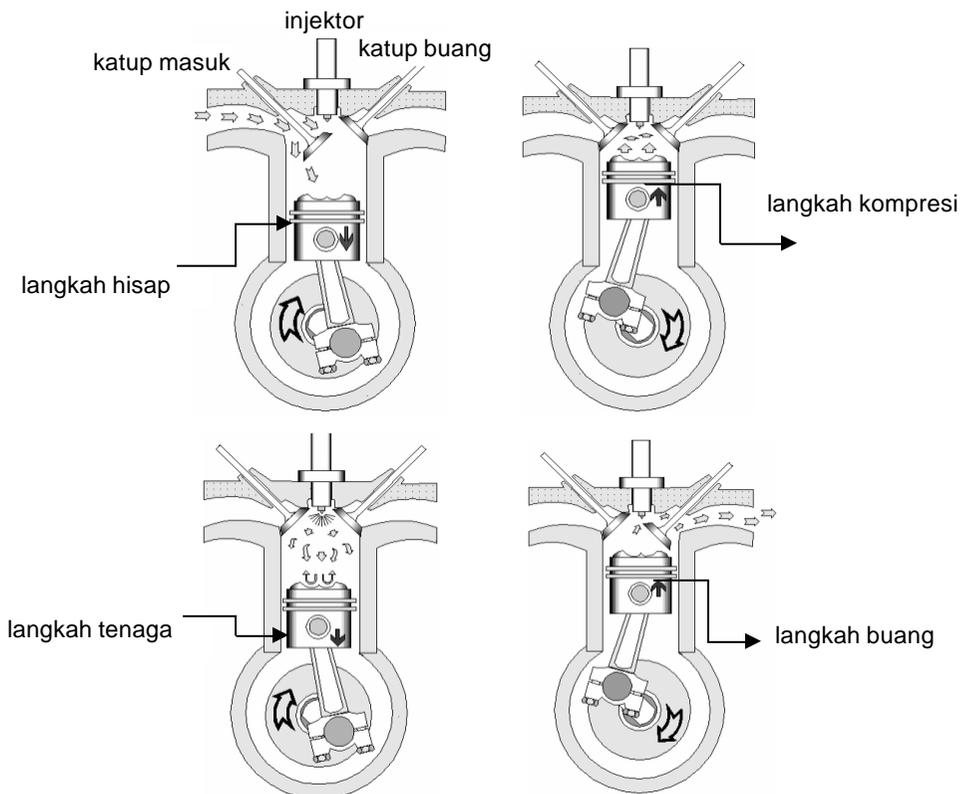
Gambar 10.8 Mesin Otto pertama



Gambar 10.9 Mesin Otto horizontal

Pada mesin 4 langkah untuk setiap siklusnya ada satu langkah tenaga dan dua putaran poros engkol. Pada tahun 1881 Dugald Clerk mematenkan mesin 2 langkah yang menghasilkan 1 langkah tenaga dalam satu putarannya. Prinsip kerjanya mengikuti siklus otto, proses ekspansi, pembuangan dan pengisian terjadi pada waktu piston menuju titik mati bawah, sebaliknya proses kompresi dan penyalaan terjadi pada waktu piston menuju titik mati atas.

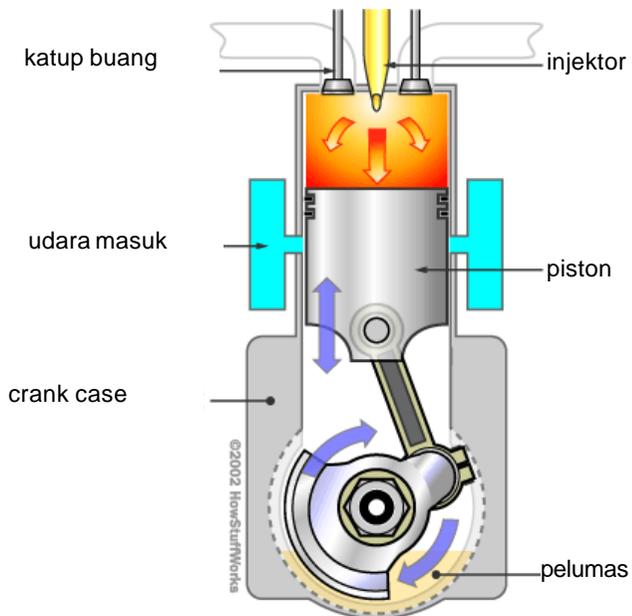
Pada tahun 1892 Rudolf Diesel (Jerman), membuat konsep sekaligus membuat mesinnya dengan prinsip penyalaan kompresi. Udara dimasukkan ke dalam silinder kemudian dikompresi sampai temperaturnya naik. Sebelum piston mencapai titik mati atas, bahan bakar disemprotkan sehingga terjadi proses pencampuran dengan udara bertemperatur tinggi. Karena temperatur nyala bahan bakar tercapai, terjadilah proses penyalaan sendiri, selanjutnya berlangsung proses pembakaran. Langkah tenaga terjadi pada waktu piston mulai bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah. Efisiensi mesin Diesel sekitar 26,2 % menggunakan bahan bakar solar. Pada Gambar 10.11 adalah mesin diesel modern. Dalam perkembangannya mesin 2 langkah juga dapat diaplikasikan pada mesin diesel [Gambar 10.12]



Gambar 10.10 Dasar kerja dari mesin Diesel



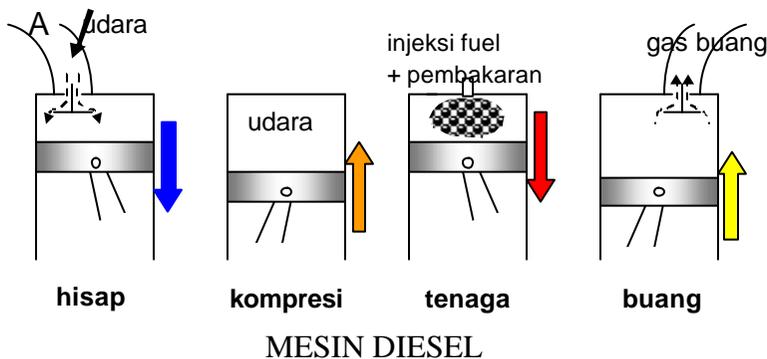
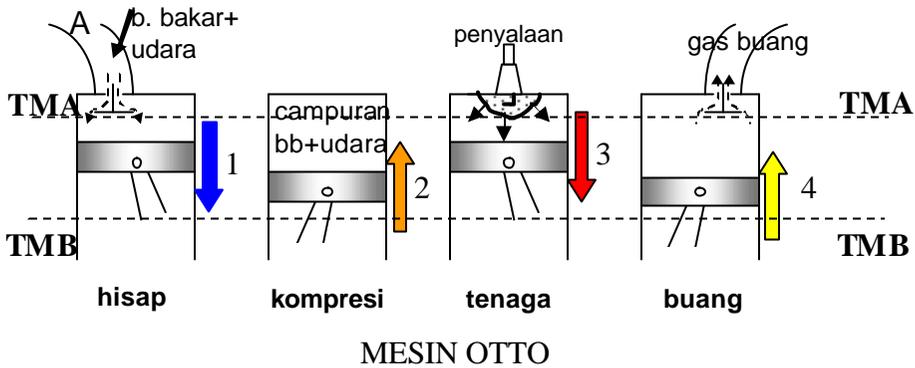
Gambar 10.11 Mesin Diesel modern



Gambar 10.12 Mesin Diesel 2 langkah

B. Siklus 4 Langkah dan 2 Langkah

B.1. Siklus 4 langkah



Gambar 10.13 Proses kerja mesin 4 langkah Otto dan Diesel

Motor bakar bekerja melalui mekanisme langkah yang terjadi berulang-ulang atau periodik sehingga menghasilkan putaran pada poros engkol. Sebelum terjadi proses pembakaran di dalam silinder, campuran udara dan bahan-bakar harus dihisap dulu dengan langkah hisap [1]. Pada langkah ini, piston bergerak dari TMA menuju TMB, katup hisap terbuka sedangkan katup buang masih tertutup.

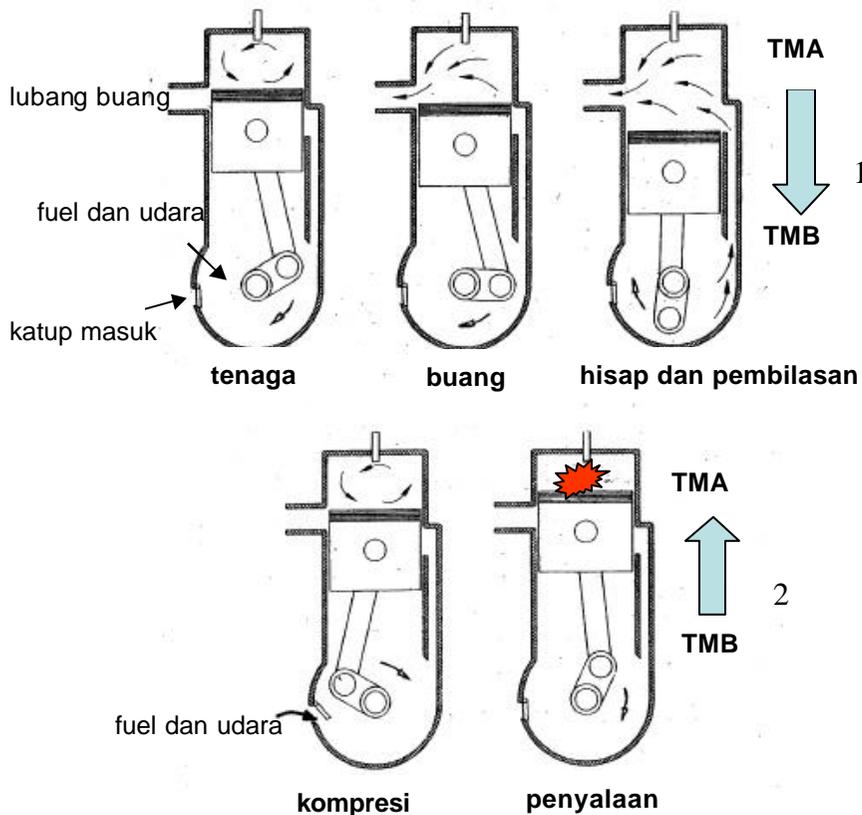
Setelah campuran bahan-bakar udara masuk silinder kemudian dikompresi dengan langkah kompresi [2], yaitu piston bergerak dari TMB menuju TMA, kedua katup hisap dan buang tertutup. Karena dikompresi volume campuran menjadi kecil dengan tekanan dan temperatur naik, dalam kondisi tersebut campuran bahan-bakar udara sangat mudah terbakar. Sebelum piston sampai TMA campuran dinyalakan dan terjadilah proses pembakaran menjadikan tekanan dan temperatur naik, dan piston masih naik terus sampai TMA sehingga tekanan dan temperatur semakin tinggi. Setelah sampai TMA kemudian torak didorong

menuju TMB dengan tekanan yang tinggi, katup hisap dan buang masih tertutup.

Selama piston bergerak menuju dari TMA ke TMB yang merupakan langkah kerja [3] atau langkah ekspansi, volume gas pembakaran bertambah besar dan tekanan menjadi turun. Sebelum piston mencapai TMB katup buang dibuka, katup masuk masih tertutup. Kemudian piston bergerak lagi menuju ke TMA mendesak gas pembakaran ke luar melalui katup buang.

Proses pengeluaran gas pembakaran disebut dengan langkah buang [4]. Setelah langkah buang selesai siklus dimulai lagi dari langkah hisap dan seterusnya. Piston bergerak dari TMA-TMB-TMA-TMB-TMA membentuk satu siklus. Ada satu langkah tenaga dengan dua putaran poros engkol. Motor bakar yang bekerja dengan siklus lengkap tersebut termasuk golongan motor 4 langkah.

B.2. Siklus 2 langkah



Gambar 10.14 Proses kerja mesin 2 langkah

Langkah pertama, setelah terjadi pembakaran piston bergerak dari TMA menuju TMB melakukan ekspansi, lubang buang mulai terbuka. Karena tekanan di dalam silinder lebih besar dari lingkungan, gas pembakaran ke luar melalui lubang buang. Piston terus bergerak menuju TMB, lubang buang semakin terbuka dan saluran bilas mulai terbuka. Bersamaan dengan kondisi tersebut tekanan di dalam karter mesin lebih besar daripada di dalam silinder sehingga campuran bahan bakar-udara menuju silinder melalui saluran bilas sambil melakukan pembilasan gas pembakaran. Proses ini disebut pembilasan. Proses ini berhenti pada waktu piston mulai bergerak dari TMB menuju TMA dengan lubang buang dan saluran bilas tertutup.

Langkah kedua, setelah proses pembilasan selesai, campuran bahan bakar masuk ke dalam silinder kemudian dikompresi, posisi piston menuju TMA. Sesaat sebelum piston sampai di TMA campuran bahan-bakar dan udara dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran. Siklus kembali lagi ke proses awal seperti diuraikan di atas.

Dari uraian di atas terlihat piston melakukan dua kali langkah yaitu dari:

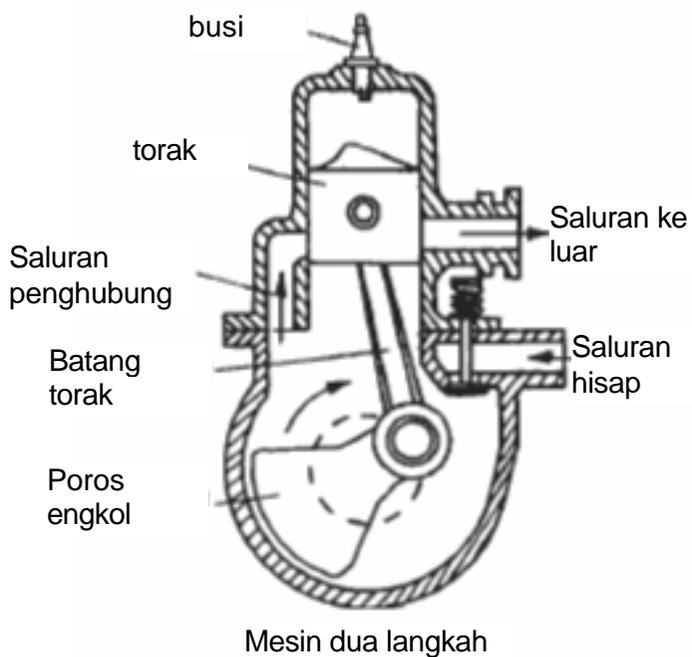
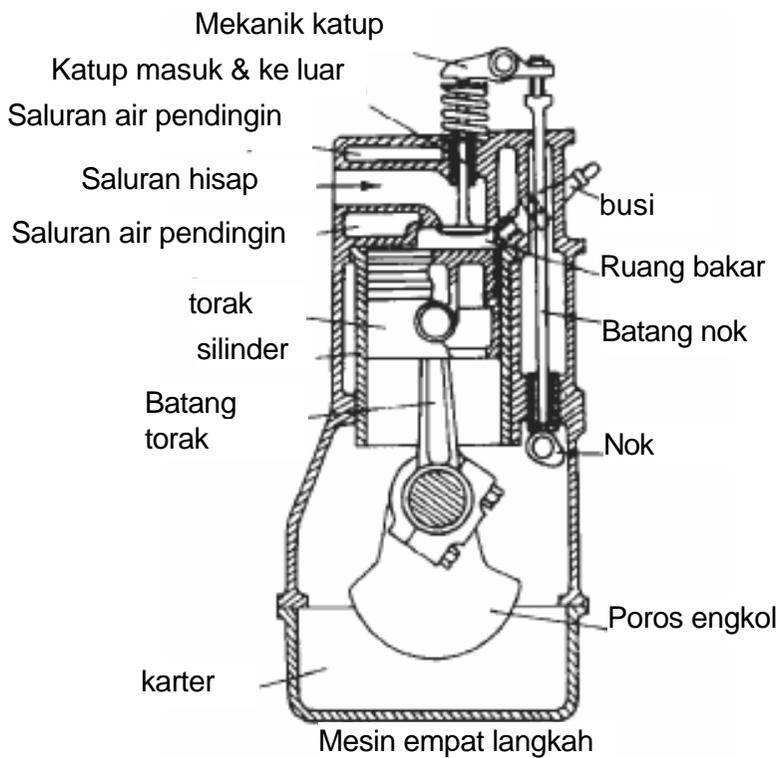
- [1] **TMA menuju TMB**; proses yang terjadi: ekspansi dan pembilasan (pembuangan dan pengisian)
- [2] **TMB menuju TMA**; proses yang terjadi: kompresi dan penyalaan pembakaran

C. Daftar Istilah-Istilah Pada Motor Bakar

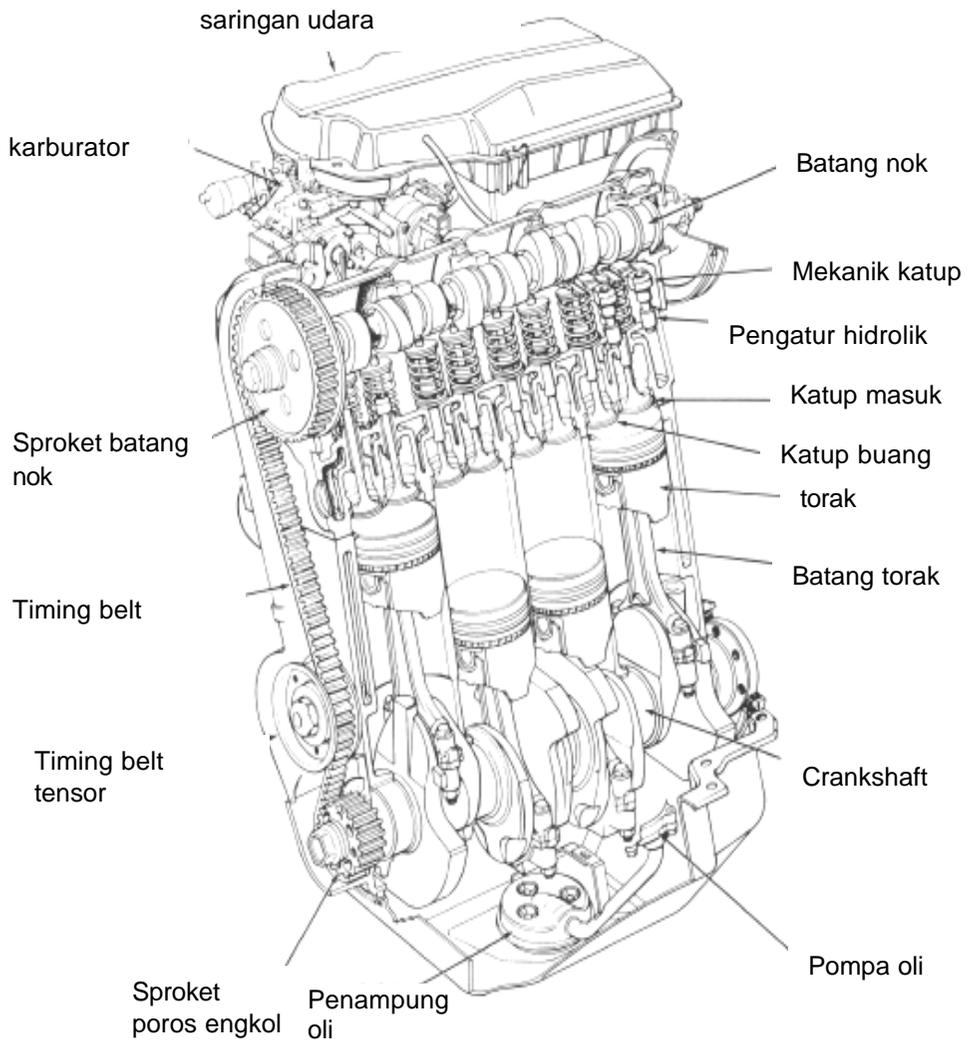


Gambar 10.15 Mesin pembakaran dalam

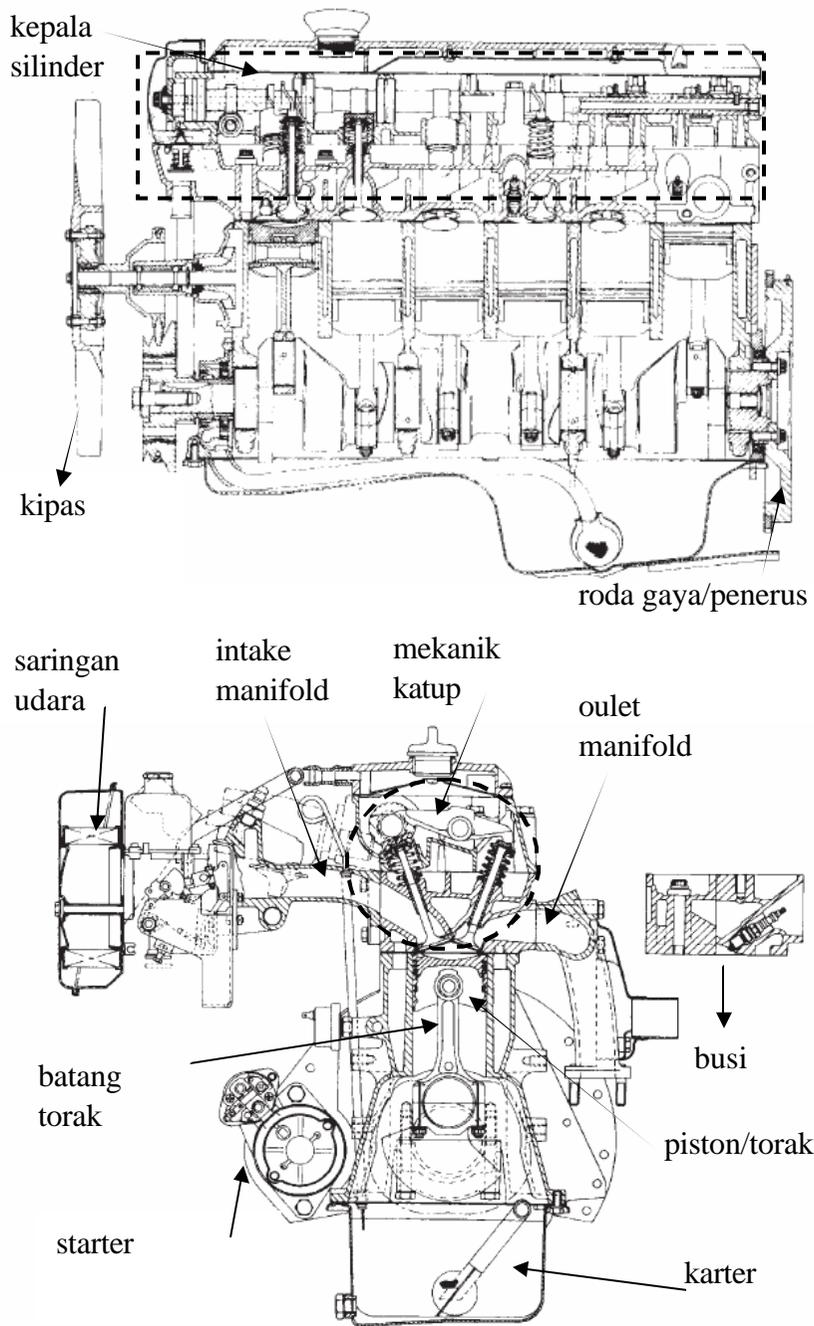
Gambar 10.15 menunjukkan mesin pembakaran dengan penyalan busi. *Silinder* terpasang pada *blok silinder*, dibagian atas ditutup dengan *kepala sinder*. Di dalam silinder terdapat *piston* yang bergerak bolak-balik. Ruang diantara bagian atas silinder dan titik mati atas piston disebut dengan *ruang bakar*. Bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu di *karburator* kemudian masuk silinder melewati *inlet manifold*. Pada karburator terdapat *throttle* untuk mengatur jumlah campuran bahan bakar udara masuk ruang bakar. Pada kepala silinder terdapat *katup masuk*, *katup buang* dan *busi*. Katup masuk berguna untuk memasukkan campuran bahan bakar dan udara dari karburator, katup ke luar untuk pembuangan gas pembakaran, sedangkan busi untuk penyalan proses pembakaran.



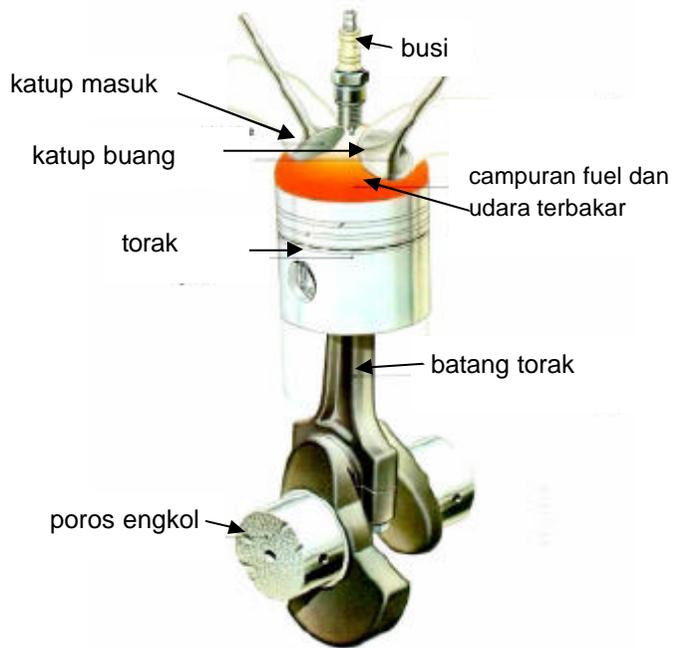
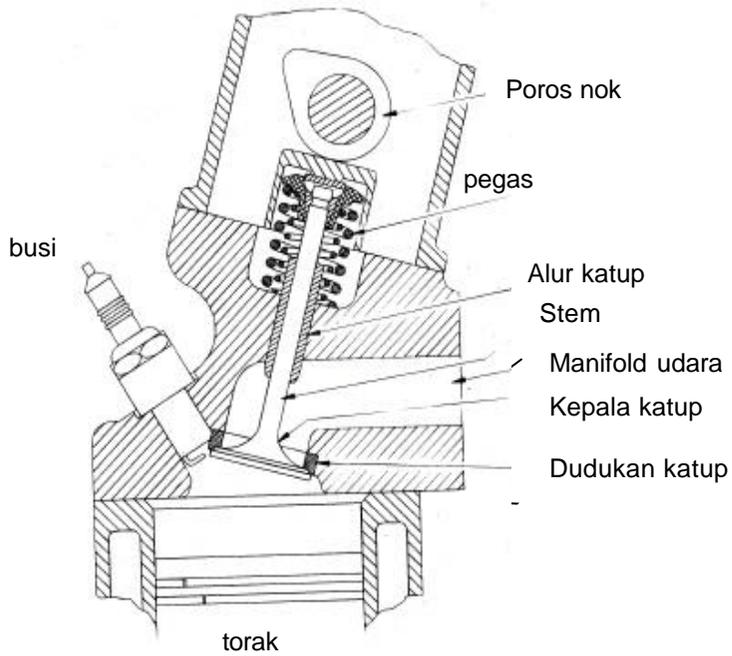
Gambar 10.16 Komponen-komponen mesin 4 tak dan 2 tak



Gambar 10.17 Komponen mesin multi silinder



Gambar 10.18 Komponen mesin tampak depan dan samping



Gambar 10.19 Komponen mesin mekanik katup dan torak

BAB 11 SIKLUS MOTOR BAKAR

A. Siklus Termodinamika Motor Bakar

Analisis siklus termodinamika merupakan dasar penting dalam mempelajari motor bakar. Proses kimia dan termodinamika yang terjadi pada motor bakar sangatlah rumit untuk dianalisis, sehingga diperlukan suatu siklus yang diidealkan guna memudahkan analisis motor bakar. Siklus yang diidealkan tentunya harus mempunyai kesamaan dengan siklus sebenarnya, yaitu dalam hal urutan proses dan perbandingan kompresinya. Di dalam siklus aktual, fluida kerja adalah campuran bahan-bakar-udara dan produk pembakaran, akan tetapi di dalam siklus yang diidealkan fluidanya adalah udara. Jadi siklus ideal dapat disebut dengan siklus udara.

A.1. Siklus udara ideal

Penggunaan siklus ideal berdasarkan pada beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Fluida kerja adalah udara yang dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan (tidak ada bahan bakar)
2. Langkah hisap dan buang pada tekanan konstan
3. Langkah kompresi dan tenaga pada keadaan adiabatik
4. Kalor diperoleh dari sumber kalor dan tidak ada proses pembakaran atau tidak ada reaksi kimia

Siklus udara pada motor bakar yang akan dibahas adalah

1. Siklus udara pada volume konstan (**Siklus Otto**)
2. Siklus udara pada tekanan konstan (**Siklus Diesel**)
3. Siklus udara tekanan terbatas (**Siklus gabungan**)

A.1.1 Siklus udara volume konstan

Siklus ideal volume konstan ini adalah siklus untuk mesin otto. Siklus volume konstan sering disebut dengan siklus ledakan (*explosion cycle*) karena secara teoritis proses pembakaran terjadi sangat cepat dan menyebabkan peningkatan tekanan yang tiba-tiba. Penyalaan untuk proses pembakaran dibantu dengan loncatan bunga api. Nicolas August Otto menggunakan siklus ini untuk membuat mesin sehingga siklus ini sering disebut dengan siklus otto.

Gambar 11.1 adalah diagram p - V untuk siklus ideal otto. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

[1] **Langkah hisap (0-1)** merupakan proses tekanan konstan.

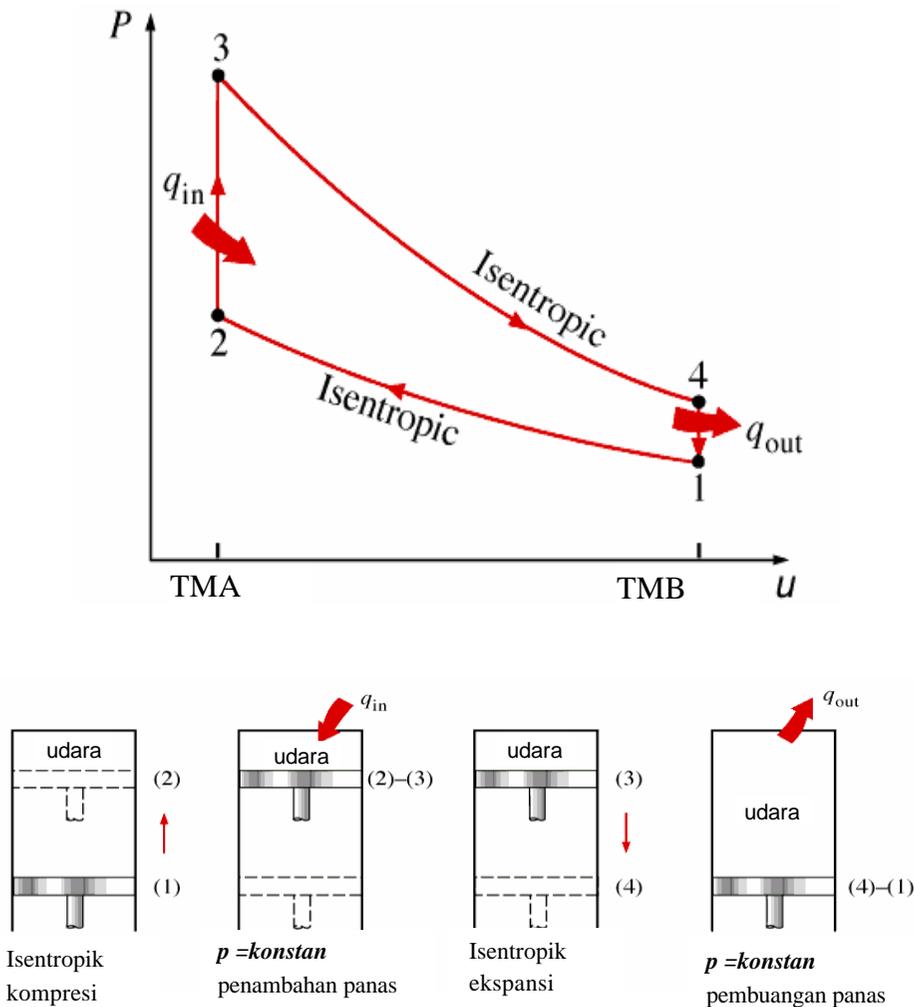
[2] **Langkah kompresi (1-2)** merupakan proses adiabatik

Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.

[3] **Langkah kerja (3-4)** merupakan proses adiabatik

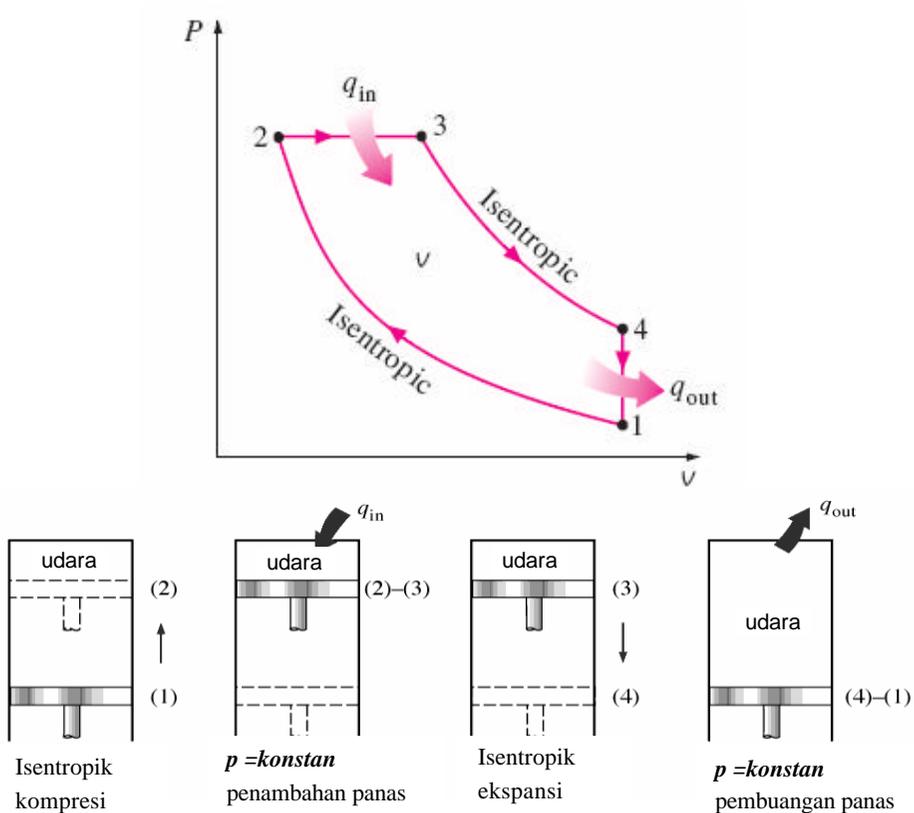
Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan

[4] **Langkah buang (1-0)** merupakan proses tekanan konstan, gas pembakaran dibuang melalui katup buang



Gambar 11.1 Siklus udara volume konstan

A.1.2. Siklus udara tekanan konstan

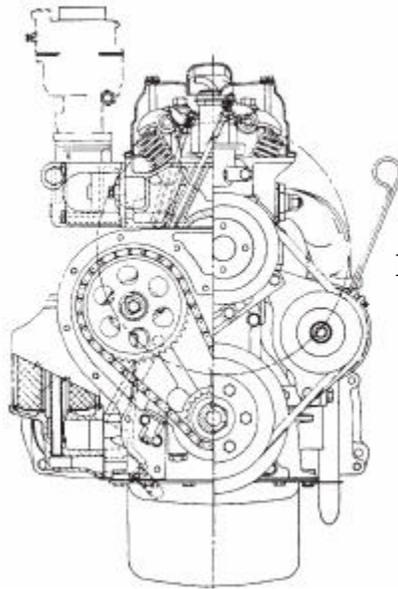


Gambar 11.2 Siklus Udara Tekanan Konstan

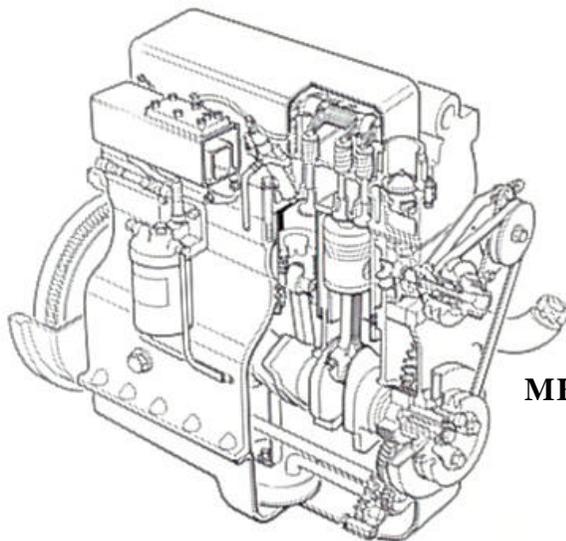
Siklus ideal tekanan konstan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar 11.2 adalah diagram p-V untuk siklus ideal Diesel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

- [1] Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
- [2] Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatik
Proses pembakaran tekanan konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada tekanan konstan.
- [3] Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatik
Proses pembuangan kalor (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan
- [4] Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan

Dapat dilihat dari urutan proses di atas bahwa pada siklus tekanan konstan pemasukan kalornya pada tekanan konstan. Berbeda dengan siklus volume konstan di mana proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel. Rudolf Diesel yang pertama kali merumuskan siklus ini dan sekaligus pembuat pertama mesin diesel. Proses penyalaan pembakaran terjadi tidak menggunakan busi, tetapi terjadi penyalaan sendiri karena temperatur di dalam ruang bakar tinggi karena kompresi.



MESIN OTTO

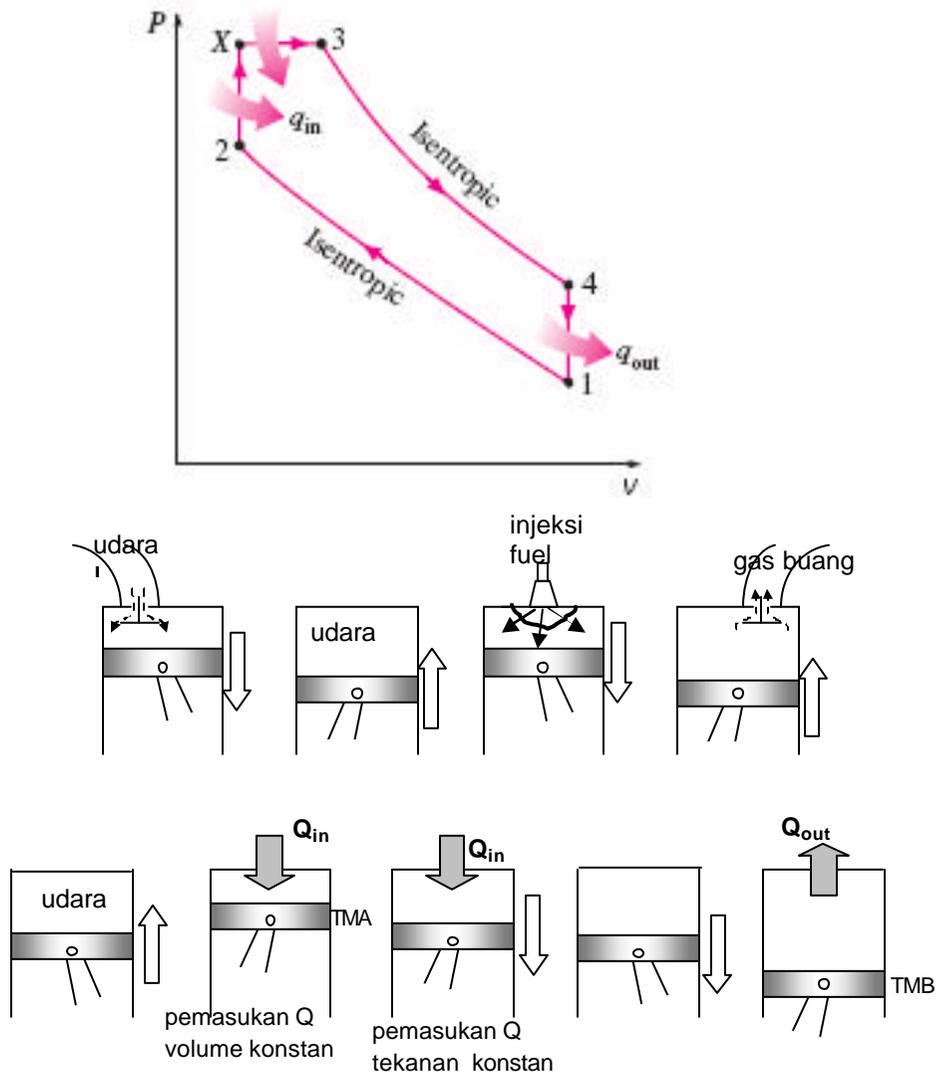


MESIN DIESEL

Gambar 11.3 Mesin otto dan mesin diesel

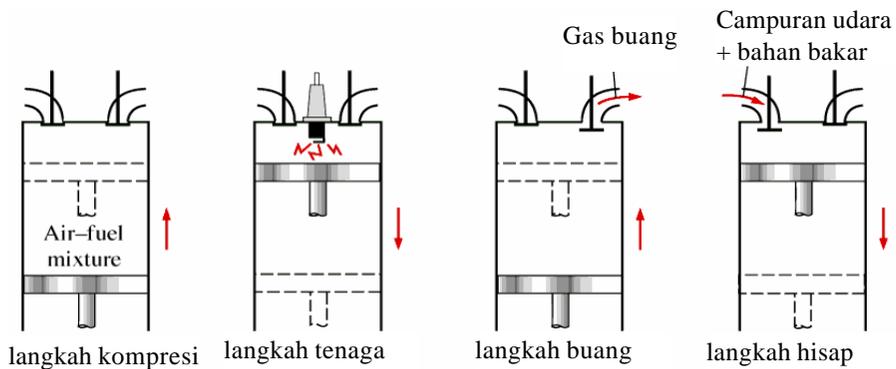
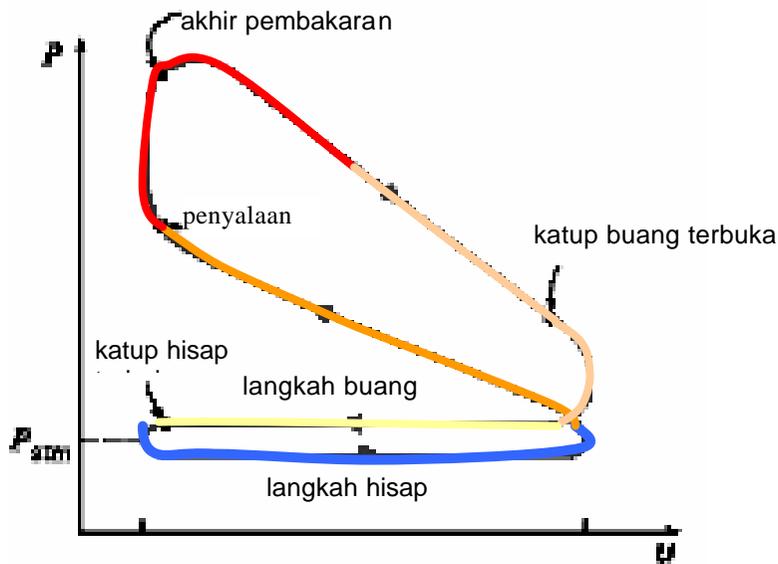
A.1.3. Siklus udara gabungan

Perbedaan dari dua siklus yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu pada proses pembakaran dimana kalor dianggap masuk sistem. Sedangkan pada siklus yang ketiga yaitu siklus gabungan, proses pemasukan kalornya menggunakan dua cara yaitu pemasukan kalor volume konstan dan tekanan konstan. Dari cara pemasukan kalornya terlihat bahwa siklus ini adalah gabungan antara siklus volume konstan dan tekanan konstan, karena itu siklus ini sering disebut siklus gabungan. Diagramnya p-V dapat dilihat pada gambar di bawah.



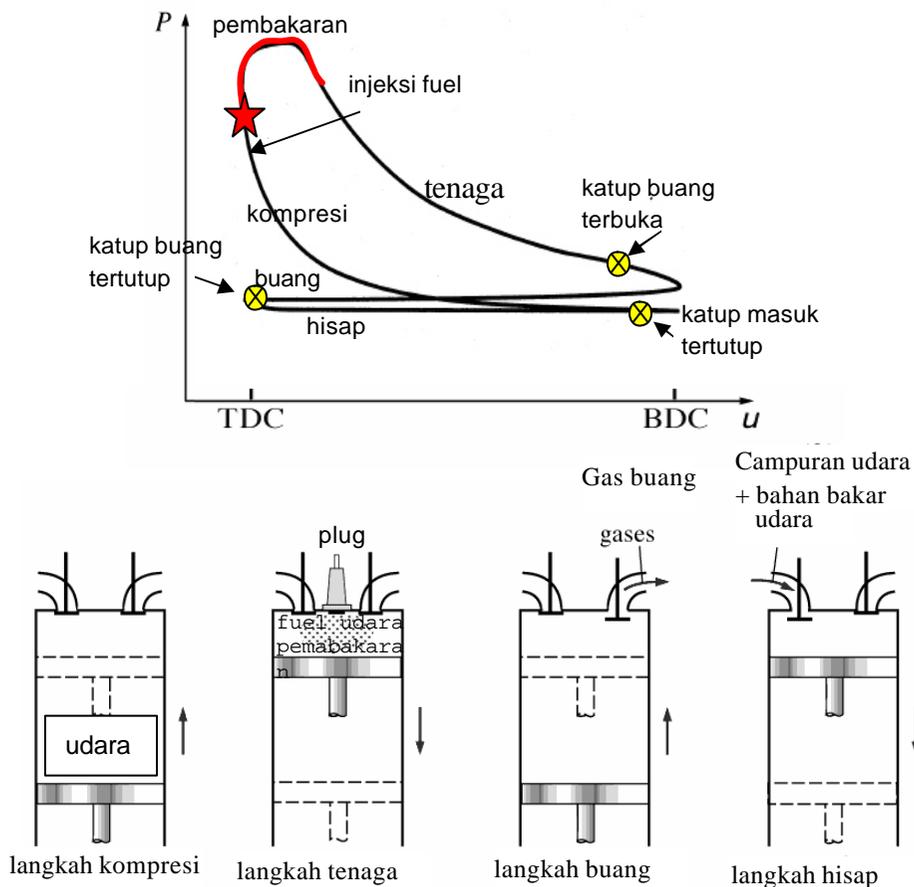
Gambar 11.4 Siklus gabungan

A.2. Siklus aktual



Gambar 11.5 Siklus aktual otto

Gambar 11.5 di atas adalah siklus aktual dari mesin otto. Fluida kerjanya adalah campuran bahan bakar dan udara, jadi ada proses pembakaran untuk sumber panas. Pada langkah hisap, tekanannya lebih rendah dibandingkan dengan langkah buang. Proses pembakaran dimulai dari penyalaan busi (*ignition*) sampai akhir pembakaran. Proses kompresi dan ekspansi tidak adiabatik, karena terdapat kerugian panas yang ke luar ruang bakar.

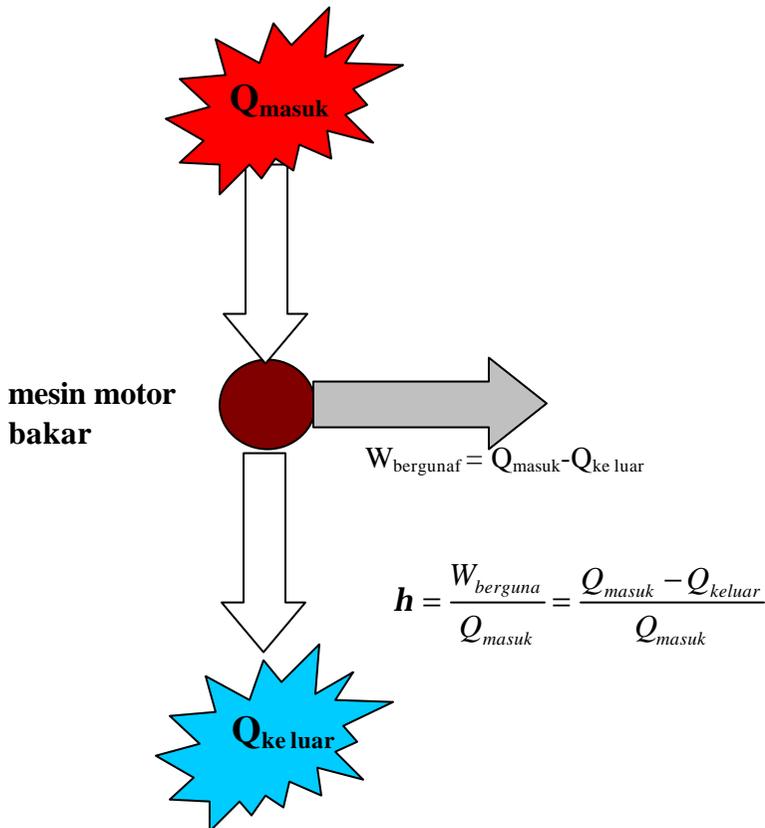


Gambar 11.6 Siklus aktual disel

Gambar 11.6 di atas adalah siklus aktual dari mesin diesel. Pada mesin ini, langkah hisap hanya udara saja, bahan bakar disemprotkan melalui nosel di kepala silinder. Proses pembakaran untuk menghasilkan panas terjadi karena kompresi.

B. Menghitung Efisiensi Siklus Udara Ideal

Dari hukum termodinamika II dapat diketahui bahwa tidak mungkin membuat suatu mesin yang dapat mengubah semua energi yang masuk menjadi kerja semuanya. Dengan kata lain, harus ada sebagian energi yang kebuang ke lingkungan. Jadi, kerja yang berguna adalah pengurangan dari jumlah energi yang masuk dengan energi yang terbuang. Perbandingan antara kerja berguna dengan jumlah energi yang masuk ke mesin adalah definisi dari efisiensi.



Gambar 11.7 Bagan efisiensi kerja dari motor bakar

B.1. Efisiensi dari siklus Otto

Berdasarkan diagram p-V untuk siklus otto dapat digunakan untuk menganalisis atau menghitung efisiensi siklus sebagai berikut. Energi kalor yang masuk pada volume konstan adalah sebesar:

$$Q_m = mc_v \Delta T .$$

$$Q_m = mc_v (T_3 - T_2)$$

dengan Q_m = adalah kalor masuk

m = massa fluida

c_v = panas jenis pada volume konstan

ΔT = perbedaan temperatur

Energi yang ke luar sistem pada volume konstan adalah

$$Q_l = mc_v \Delta T$$

$$Q_l = mc_v(T_4 - T_1)$$

dengan Q_l = adalah kalor ke luar

m = massa fluida

c_v = panas jenis pada volume konstan

ΔT = perbedaan temperatur

Definisi dari efisiensi yaitu kerja berguna dibagi dengan energi kalor masuk

$$h = \frac{W}{Q_m} = \frac{\text{kerja berguna}}{\text{kalor masuk}}$$

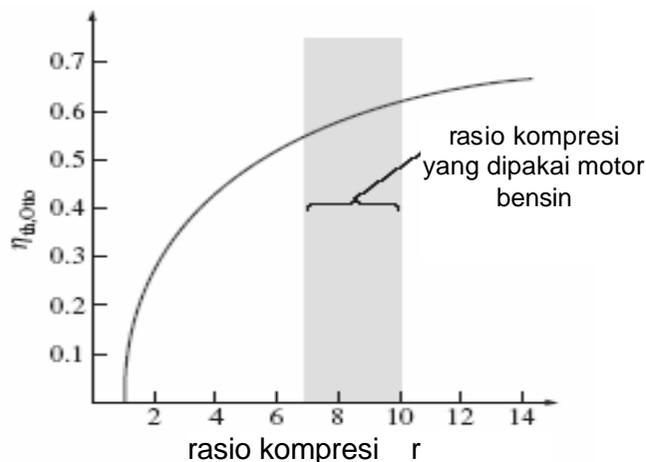
$$h = \frac{Q_m - Q_l}{Q_m} = \frac{mc_v(T_3 - T_2) - mc_v(T_4 - T_1)}{mc_v(T_3 - T_2)}$$

$$h = \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Apabila rasio kompresi didefinisikan sebagai perbandingan antara volume silinder dibagi dengan volume ruang bakarnya yaitu:

$$r = \frac{\text{volume silinder}}{\text{volume ruang bakar}} = \frac{V_l + V_s}{V_s}$$

maka rumusan efisiensi di atas dapat dituliskan sebagai $h = 1 - \frac{1}{(r)^{k-1}}$



Gambar 11.8 Grafik efisiensi terhadap rasio kompresi mesin otto

Dapat dilihat dari Gambar 11.8, bahwa efisiensi siklus otto akan naik apabila kita menaikkan rasio kompresinya. Kenaikan rasio kompresi mesin otto dibatasi oleh peristiwa *knocking*, yaitu suara berisik karena

terjadi ledakan dari pembakaran spontan dari mesin otto. *Knocking* dapat menurunkan daya sehingga efisiensinya pun menurun.

B.2. Efisiensi siklus tekanan konstan

Dengan definisi yang sama untuk rasio kompresi, efisiensi dari siklus tekanan konstan adalah sebagai berikut:

$$h = \frac{1}{r^{k-1}} \left(\frac{b^k - 1}{k(b-1)} \right)$$

Dengan menaikkan rasio kompresi efisiensi siklus tekanan konstan atau diesel semakin naik. Kenaikan rasio kompresi berarti tekanan kompresi juga tinggi sehingga material yang dibutuhkan harus lebih kuat. Pada rasio kompresi yang sama efisiensi mesin otto lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel, akan tetapi mesin otto tidak bekerja pada rasio kompresi disel karena terlalu tinggi.

Rangkuman

1. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya
2. Keuntungan dari mesin pembakaran dalam dibandingkan dengan mesin pembakaran luar adalah konstruksinya lebih sederhana, tidak memerlukan fluida kerja yang banyak dan efisiensi totalnya lebih tinggi
3. Siklus udara pada motor bakar yang akan dibahas adalah
 - a. Siklus udara pada volume konstan (**Siklus Otto**)
 - b. Siklus udara pada tekanan konstan (**Siklus Diesel**)
 - c. Siklus udara tekanan terbatas. (**Siklus gabungan**)
4. Siklus tekanan konstan pemasukan kalornya pada tekanan konstan, berbeda dengan siklus volume konstan yang proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel
5. Siklus gabungan, proses pemasukan kalornya menggunakan dua cara yaitu pemasukan kalor volume konstan dan tekanan konstan.
6. Kerja yang berguna adalah pengurangan dari jumlah energi yang masuk dengan energi yang terbuang. Perbandingan antara kerja berguna dengan jumlah energi yang masuk ke mesin adalah definisi dari efisiensi

$$h = \frac{W}{Q_m} = \frac{\text{kerja berguna}}{\text{kalor masuk}}$$

7. Efisiensi siklus otto akan naik apabila kita menaikkan rasio kompresinya. Kenaikan rasio kompresi mesin otto dibatasi oleh peristiwa knocking, yaitu suara berisik karena terjadi ledakan dari pembakaran spontan dari mesin otto. Karena knocking daya menjadi turun sehingga efisiensi pun menurun. atau diesel semakin naik.
8. Kenaikan rasio kompresi berarti tekanan kompresi juga tinggi sehingga material yang dibutuhkan harus lebih kuat. Pada rasio kompresi yang sama efisiensi mesin otto lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel, akan tetapi mesin otto tidak bekerja pada rasio kompresi diesel karena terlalu tinggi

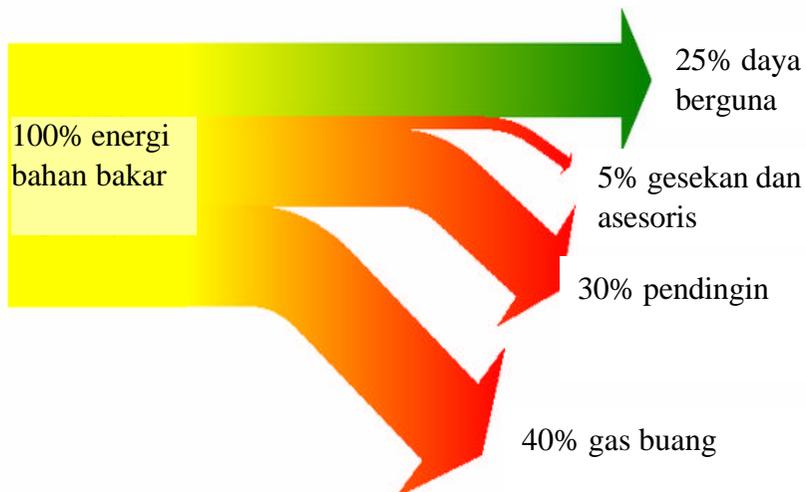
Soal :

1. Jelaskan proses kerja dari motor bakar, dan sebutkan siklus termodinamikanya!
2. Jelaskan tentang efisiensi motor bakar dan bagaimana perumusannya !
3. Sebutkan faktor faktor yang bisa menambah dan mengurangi efisiensi motor bakar ?
4. Apa yang dimaksud dengan knocking pada mesin otto
5. Menurut anda lebih efisien mana antara mesin otto dan mesin disel

BAB 12 PRESTASI MESIN

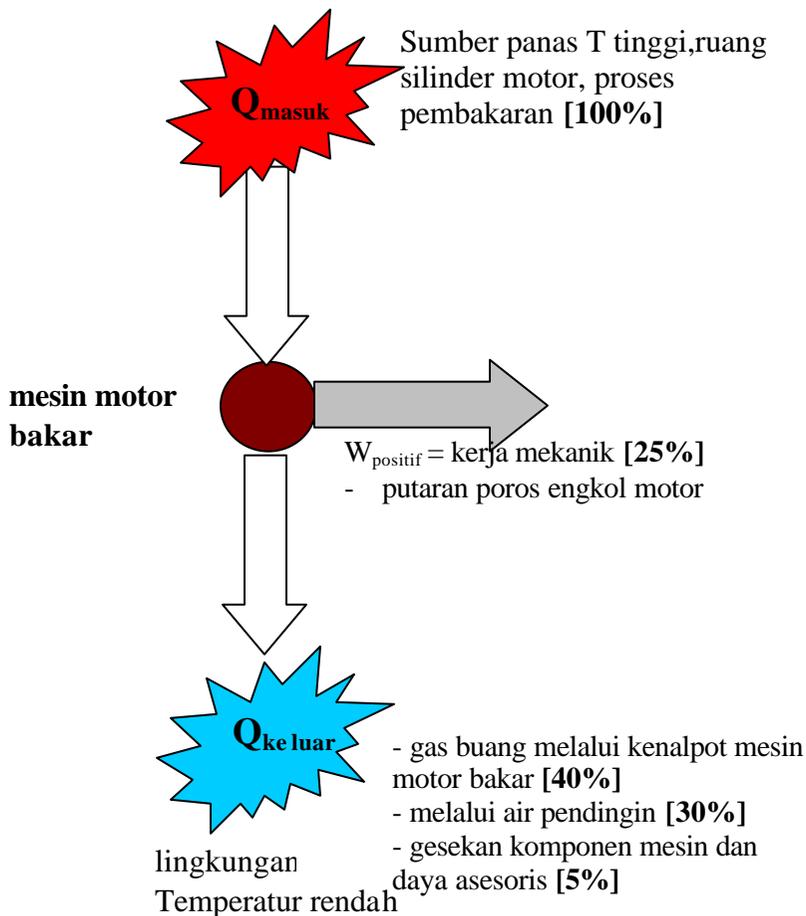
Motor bakar adalah suatu mesin yang mengkonversi energi dari energi kimia yang terkandung pada bahan bakar menjadi energi mekaik pada poros motor bakar. Jadi daya yang berguna yang langsung dimanfaatkan sebagai penggerak adalah daya pada poros. Proses perubahan energi dari mulai proses pembakaran sampai menghasilkan daya pada poros motor bakar melewati beberapa tahapan dan tidak mungkin perubahannya 100%. Selalu ada kerugian yang dihasilkan selama proses perubahan, hal ini sesuai dengan hukum termodinamika kedua yaitu "tidak mungkin membuat sebuah mesin yang mengubah semua panas atau energi yang masuk menjadi kerja". Jadi selalu ada "keterbatasan" dan "keefektifitasan" dalam proses perubahan, ukuran inilah yang dinamakan efisiensi.

Kemampuan mesin motor bakar untuk mengubah energi yang masuk yaitu bahan bakar sehingga menghasilkan daya berguna disebut kemampuan mesin atau prestasi mesin. Gambar 12.1 menggambarkan proses perubahan energi bahan bakar.



Gambar 12.1 Keseimbangan energi pada motor bakar

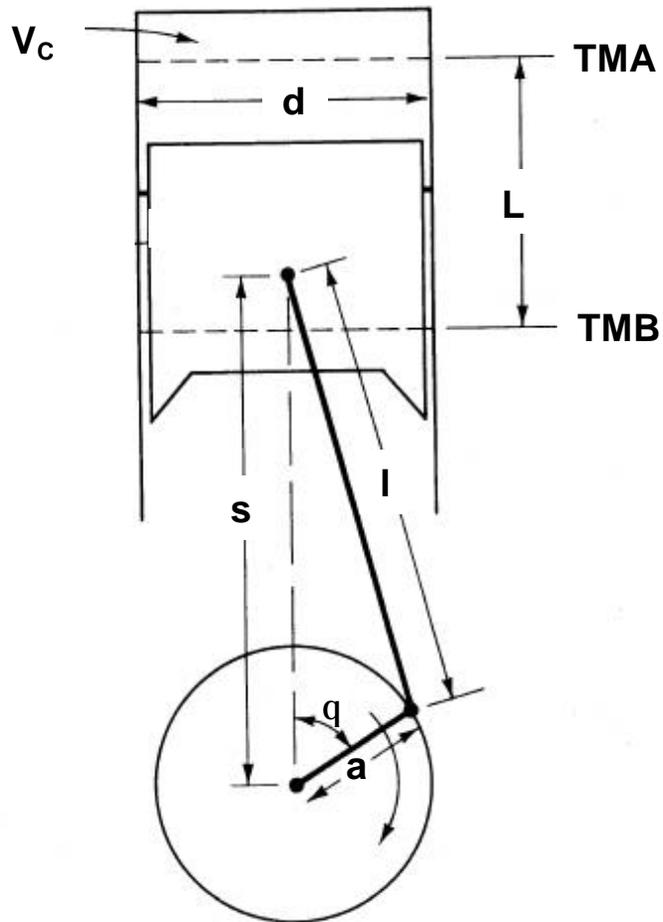
Berdasarkan gambar 12.2 terlihat jelas bahwa tidak mungkin mengubah semua energi bahan bakar menjadi daya berguna. Daya berguna hanya sebesar 25%, yang artinya mesin hanya mampu menghasilkan 25% daya berguna yang dapat dipakai sebagai penggerak dari 100% bahan bakar. Energi yang lainnya dipakai untuk menggerakkan asesoris atau peralatan bantu, kerugian gesekan dan sebagian terbuang ke lingkungan sebagai panas gas buang dan melalui air pendingin. Jika digambarkan dengan hukum termodinamika dua adalah sebagai berikut :



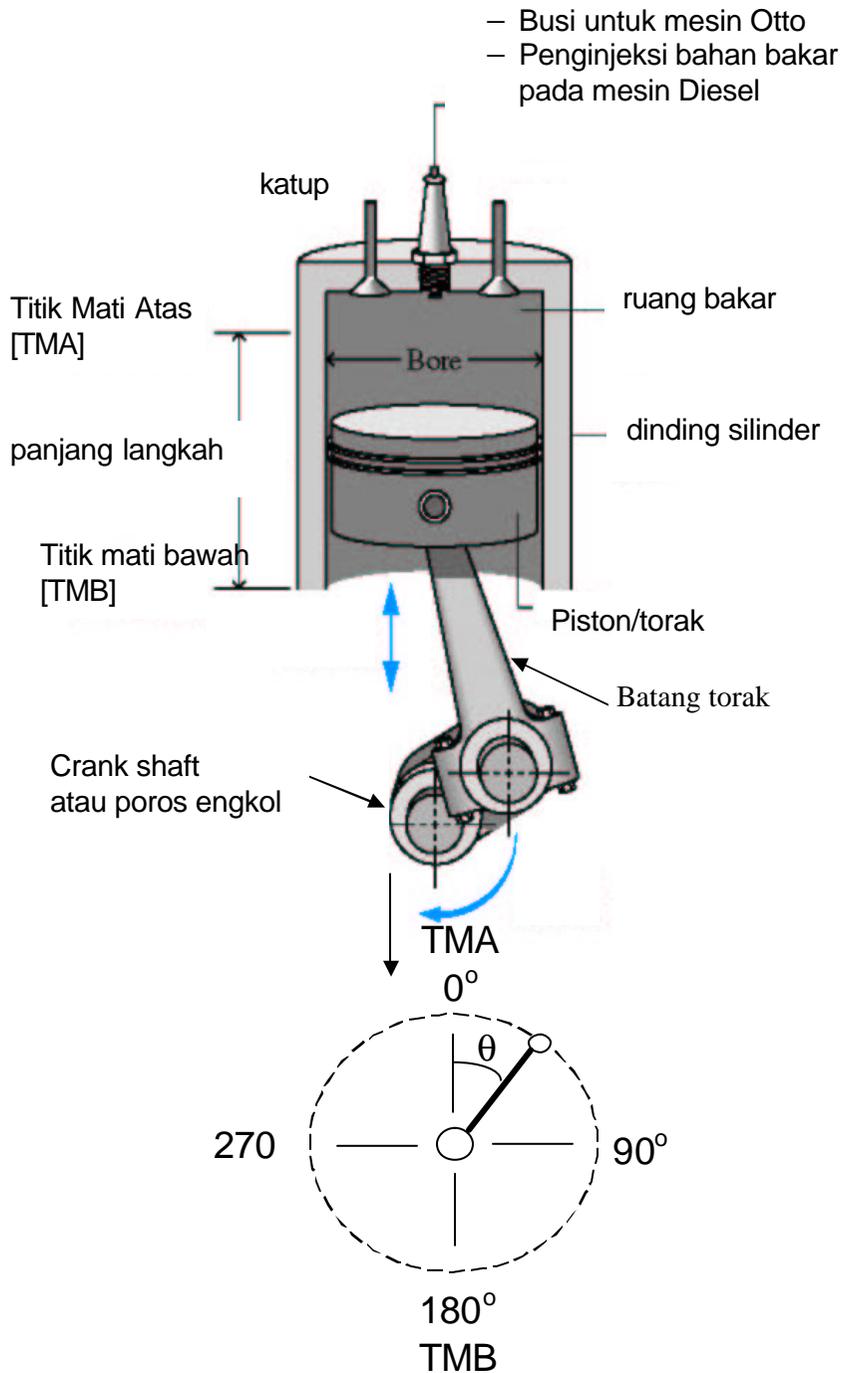
Gambar 12.2 Diagram proses konversi energi pada motor bakar

A. Propertis Geometri Silinder

Bahan bakar dibakar di dalam silinder untuk menghasilkan energi. Jadi silinder adalah komponen utama sebagai tempat proses pembakaran.



Gambar 12.3 Propertis geometri silinder motor bakar



Gambar 12.4 Geometri silinder

Gambar 12.3 dan 12.4 di atas adalah propertis dari geometri silinder motor bakar. Adapun definisi dari masing-masing propertis atau komponen adalah:

[1] **Silinder**, adalah bagian yang memindahkan panas ke tenaga mekanik dengan menggunakan **piston** atau **torak** yang bergerak bolak balik di dalam silinder. Gerakan piston akan bersinggungan dengan **dinding silinder**.

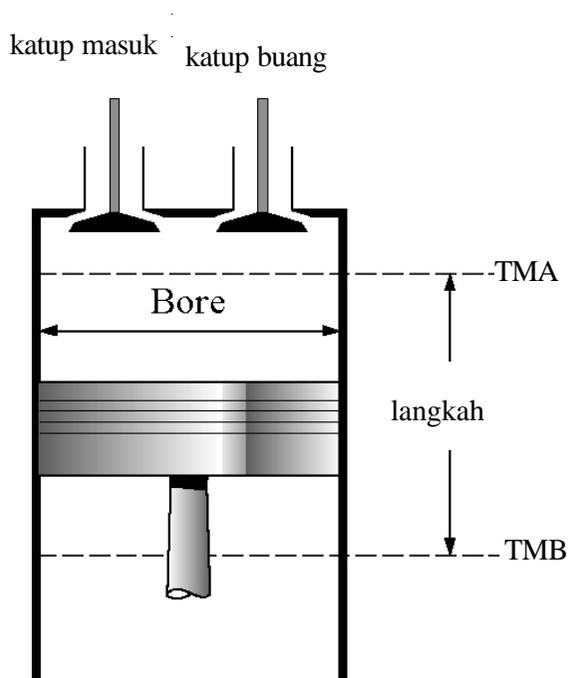
[2] **Kepala silinder**, terdiri dari **ruang bakar (Vc)**, lubang-lubang untuk **busi atau nosel injeksi dan mekanik katup** (hisap dan buang)

[3] **Diameter silinder (d)**, adalah ukuran melebar dari silinder.

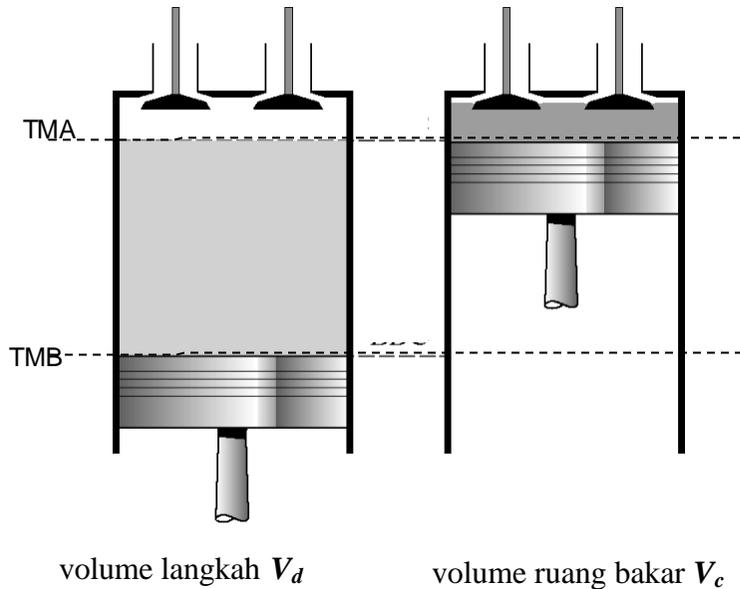
[4] **Panjang langkah (L)**, adalah jarak terjauh piston bergerak di dalam silinder, atau jarak gerakan piston dari **Titik Mati Bawah (TMB)** ke **Titik Mati Atas (TMA)**

[5] **Poros engkol dan batang torak**, adalah komponen pengubah gerak bolak balik piston menjadi gerak putar atau rotasi

[6] **Sudut engkol q** adalah sudut perputaran poros engkol pada langkah tertentu, satu putaran penuh adalah 360° .



Gambar 12.5 Langkah mesin



Gambar 12.6 Volume langkah dan volume ruang bakar

A.1. Volume langkah dan volume ruang bakar

Volume langkah adalah volume ketika torak bergerak dari TMA ke TMB, disebut juga volume *displacement* dari mesin. Volume mesin satu silinder dihitung dengan rumus:

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Volume langkah dengan jumlah silinder N adalah:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} x L x N$$

Volume ruang bakar atau *clearance* volume adalah V_c

A.2. Perbandingan kompresi (*compression ratio*)

Perbandingan kompresi (r) adalah menunjukkan seberapa banyak campuran bahan bakar dan udara yang masuk silinder pada langkah hisap, dan yang dimampatkan pada langkah kompresi. Perbandingannya adalah antara volume langkah dan ruang bakar ($V_d + V_c$) yaitu pada posisi piston di TMB, dengan volume ruang bakar (V_c) yaitu pada posisi piston di TMA, dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$r = \frac{\text{volume silinder pada posisi piston di TMB}}{\text{volume silinder pada posisi piston di TMA}}$$

$$r = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

Dari rumus efisiensi termal dapat dilihat bahwa dengan menaikkan rasio kompresi akan menaikkan efisiensi, dengan kata lain tekanan pembakaran bertambah dan mesin akan menghasilkan daya berguna yang lebih besar. Akan tetapi, kenaikan tekanan pembakaran di dalam silinder dibarengi dengan kenaikan temperatur pembakaran dan ini menyebabkan pembakaran awal, peristiwa tersebut dengan *knocking* dan menyebabkan daya mesin turun.

Pada mesin diesel rasio kompresi lebih tinggi dibanding dengan mesin bensin. Rasio kompresi semakin tinggi pada mesin diesel dibarengi dengan kenaikan efisiensi. Kenaikan rasio kompresi akan menaikkan tekanan pembakaran, kondisi ini akan memerlukan material yang kuat sehingga dapat menahan tekanan dengan temperatur tinggi. Material yang mempunyai kualitas tinggi harus dibuat dengan teknologi tinggi dan harganya mahal, sehingga secara keseluruhan menjadi tidak efektif.

A.3. Kecepatan piston rata-rata

Piston atau torak bergerak bolak balik (*reciprocating*) di dalam silinder dari TMA ke TMB dan dari TMB ke TMA. Kecepatan pergerakan piston dapat dihitung dengan mengambil harga rata-ratanya yaitu:

$$U_p = 2xLxn$$

dengan U_p = adalah kecepatan piston rata-rata (m/s)
 n = putaran mesin rotasi per waktu (rpm)
 L = panjang langkah atau stroke

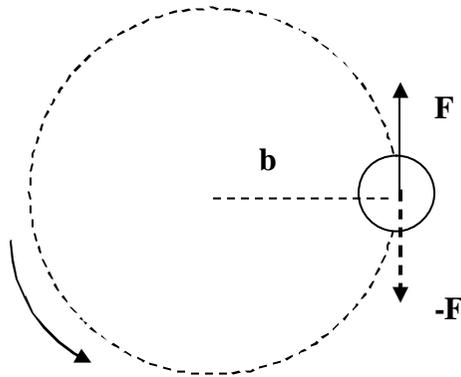
B. Torsi dan Daya Mesin

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusan dari torsi adalah sebagai berikut. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar b , maka torsinya adalah:

$$T = Fxb \text{ (N.m)}$$

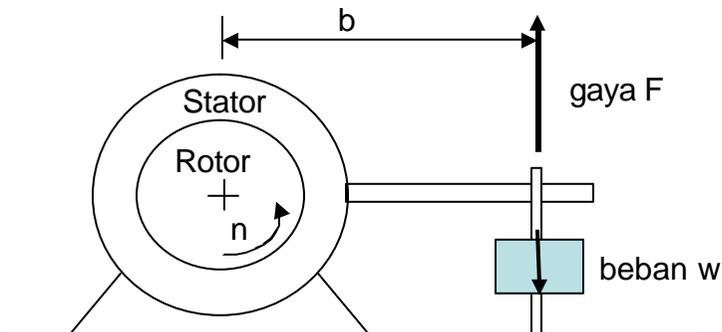
dengan T = Torsi benda berputar (N.m)
 F = gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)
 b = jarak benda ke pusat rotasi (m)

Karena adanya torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan.



Gambar 12.7 Skema pengukuran torsi

Pada motor bakar untuk mengetahui daya poros harus diketahui dulu torsinya. Pengukuran torsi pada poros motor bakar menggunakan alat yang dinamakan Dinamometer. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran sampai putaran mendekati 0 rpm. Beban ini nilainya sama dengan torsi poros. Gambar 12.8 menunjukkan prinsip dasar dari dynamometer.



Gambar 12.8 Skema dynamometer

Dari gambar di atas dapat dilihat pengukuran torsi pada poros (rotor) dengan prinsip pengereman dengan stator yang dikenai beban

sebesar w . Mesin dinyalakan kemudian pada poros disambungkan dengan dinamometer. Untuk mengukur torsi mesin pada poros mesin diberi rem yang disambungkan dengan w pengereman atau pembebanan. Pembebanan diteruskan sampai poros mesin hampir berhenti berputar. Beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin F . Dari definisi disebutkan bahwa perkalian antara gaya dengan jaraknya adalah sebuah torsi, dengan definisi tersebut Torsi pada poros dapat diketahui dengan rumus:

$$T = wxb \text{ (Nm)}$$

dengan T = torsi mesin (Nm)

w = beban (kg)

b = jarak pembebanan dengan pusat putaran

Pada mesin sebenarnya, pembebanan terjadi pada komponen-komponen mesin sendiri yaitu asesoris mesin (pompa air, pompa pelumas, kipas radiator), generator listrik (pengisian aki, listrik penerangan, penyalan busi), gesekan mesin dan komponen lainnya.

Dari perhitungan torsi di atas dapat diketahui jumlah energi yang dihasilkan mesin pada poros. Jumlah energi yang dihasilkan mesin setiap waktunya disebut dengan daya mesin. Kalau energi yang diukur pada poros mesin dayanya disebut daya poros.

C. Perhitungan Daya Mesin

Pada motor bakar, daya dihasilkan dari proses pembakaran di dalam silinder dan biasanya disebut dengan daya indikator. Daya tersebut dikenakan pada torak yang bekerja bolak-balik di dalam silinder mesin. Jadi di dalam silinder mesin, terjadi perubahan energi dari energi kimia bahan bakar dengan proses pembakaran menjadi energi mekanik pada torak.

Daya indikator merupakan sumber tenaga per satuan waktu operasi mesin untuk mengatasi semua beban mesin. Mesin selama bekerja mempunyai komponen-komponen yang saling berkaitan satu dengan lainnya membentuk kesatuan yang kompak. Komponen-komponen mesin juga merupakan beban yang harus diatasi daya indikator. Sebagai contoh pompa air untuk sistem pendingin, pompa pelumas untuk sistem pelumasan, kipas radiator, dan lain lain, komponen ini biasa disebut asesoris mesin. Asesoris ini dianggap parasit bagi mesin karena mengambil daya dari daya indikator.

Disamping komponen-komponen mesin yang menjadi beban, kerugian karena gesekan antar komponen pada mesin juga merupakan parasit bagi mesin, dengan alasan yang sama dengan asesoris mesin yaitu mengambil daya indikator. Seperti pada Gambar 12.1 terlihat bahwa

daya untuk meggerakkan asesoris dan untuk mengatasi gesekan sekitar 5% bagian.

Untuk lebih mudah memahami, di bawah ini ditunjukkan perumusan dari masing masing daya. Satuan daya menggunakan HP(horse power).

$$N_e = N_i - (N_g + N_a) \text{ (HP)}$$

dengan N_e = daya efektif atau daya poros (HP)

N_i = daya indikator (HP)

N_g = kerugian daya gesek (HP)

N_a = kerugian daya asesoris (HP)

C.1. Daya indikator

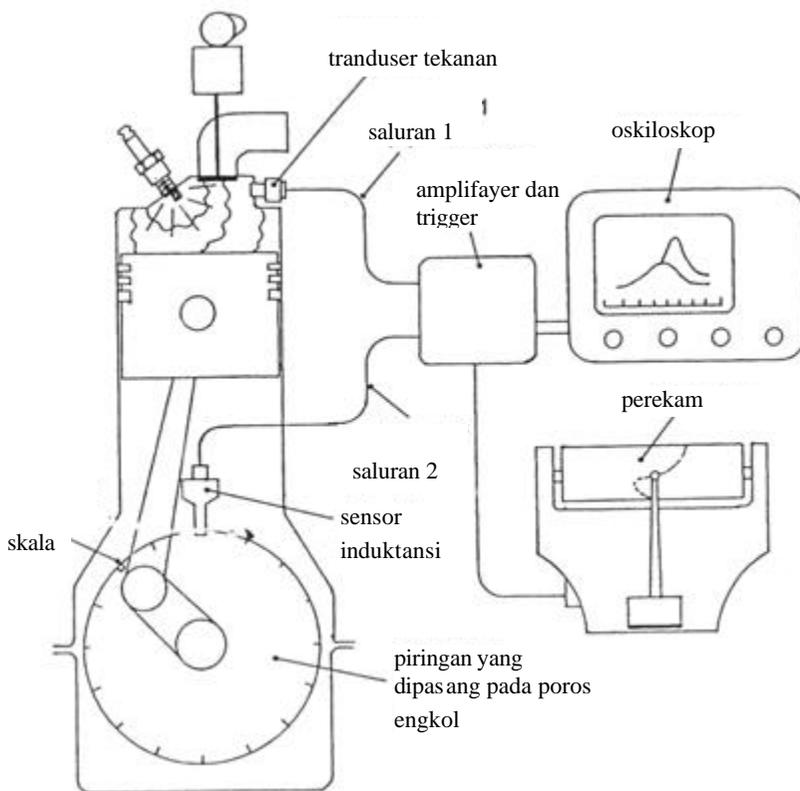
Seperti telah diuraikan di atas, daya indikator adalah daya yang dihasilkan di dalam silinder pada proses pembakaran. Untuk menghitung daya indikator, perlu ditentukan terlebih dahulu tekanan indikator rata-rata yang dihasilkan dari proses pembakaran satu siklus kerja.

C.1.1 Diagram indikator

Cara memperoleh siklus kerja dari suatu mesin adalah dengan menggunakan sebuah motor atau mesin uji yang dipasang seperangkat alat untuk mencatat setiap kondisi kerja mesin pada semua langkah. Dengan mesin uji tersebut dapat dihasilkan diagram indikator satu siklus kerja. Pada gambar berikut adalah mesin uji yang digunakan untuk menggambarkan diagram indikator satu siklus kerja mesin, jenis mekanis dan jenis elektrik. Gambar diagram indikator adalah sebuah grafik hubungan p dan V, jadi setiap tekanan pada kedudukan tertentu dari piston dapat diketahui.

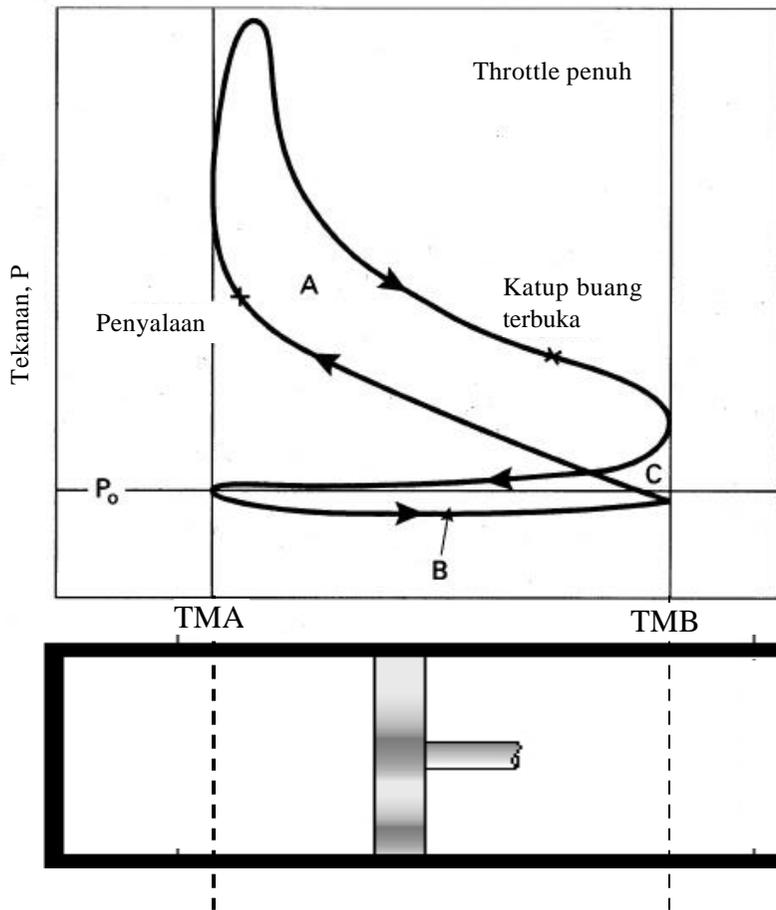
Cara kerja mesin uji adalah sebagai berikut.

[A] Mesin uji elektrik. Mesin uji bekerja dengan sinyal digital. Alat pendeteksi tekanan (*pressure transducer*) dipasang pada ruang silinder, alat pendeteksi volume (*inductive pick up*) dipasang pada piringan yang terpasang pada bagian bawah silinder terhubung dengan poros engkol. Masing masing alat pendeteksi memberikan respon dari setiap kondisi yang diukur, kemudian respon tersebut diubah dalam bentuk sinyal listrik yang akan diperkuat di unit *amplifier* dan *trigger*. Sinyal-sinyal digital di tampilan pada layar osiloskop dalam bentuk grafik hubungan sudut poros engkol dan tekanan silinder [Gambar 12.9]



Gambar 12.9 Mesin uji elektrik

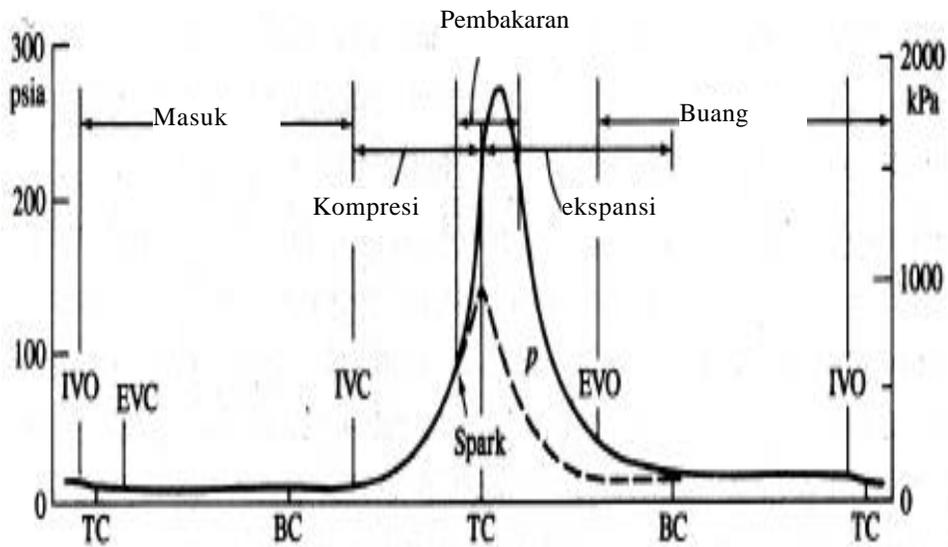
[B] Mesin uji mekanis. Mesin uji mekanis terdiri dari dua perangkat [Gambar 12.10]. Perangkat pertama adalah mesin otto dan yang kedua adalah perangkat mekanisme pencatat. Proses pembakaran pada tekanan dan volume tertentu di dalam silinder mesin otto. Pada silinder dibuat lubang sebagai tempat saluran pipa yang akan mendeteksi perubahan tekanan di dalam silinder selama siklus kerja mesin. Pipa tersebut terhubung dengan silinder pada perangkat kedua yang terdiri dari piston, batang piston dan tuas pencatat atau indikator *scriber*. Pada tuas pencatat ujungnya akan bersinggungan dengan drum kertas. Respon volume setiap kondisi piston dideteksi dengan menggunakan mekanisme tuas yang dipasang pada piston, kemudian disambungkan dengan kabel yang dihubungkan drum kertas. Setiap pergerakan piston akan memutar drum. Jadi pada saat mesin mulai bekerja tekanan di dalam silinder mulai berubah sehingga tuas pencatat mulai bergerak, karena kedudukan piston juga berubah menyebabkan tuas pada piston juga berubah posisinya, seterusnya drum berputar karena ditarik dengan kabel dari tuas piston.



Gambar 12.11 Diagram indikator mesin uji mekanik

Dari diagram indikator di atas terlihat satu siklus kerja dari mesin otto. Siklus ini menggambarkan kondisi aktual dari mesin di dalam silinder. Tekanan hisap dan buang terlihat berbeda, proses pembakaran juga tidak pada volume konstan, pembuangan gas sisa juga tidak pada volume konstan.

Diagram indikator yang dihasilkan mesin uji elektrik menggambarkan kondisi tekanan pada setiap kedudukan piston di dalam silinder. Sehingga secara sederhana diagram indikator dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 12.12 Diagram indikator mesin uji elektrik

Diagram di atas merupakan hubungan antara tekanan di dalam silinder dengan sudut engkol pada mesin. Dengan menggunakan grafik ini dapat dianalisis setiap langkah kerja mesin, yaitu mulai hisap (*intake*), kompresi (*compression*), pembakaran (*combustion*), tenaga (*expansion*), dan buang (*exhaust*). Tekanan pembakaran pada piston yaitu pada sumbu tegak menggambarkan kondisi aktual perubahan tekanan selama mesin bekerja

C.1.2. Kerja indikator

Kerja indikator adalah kerja pada piston karena perubahan tekanan dan volume selama siklus kerja mesin. Adapun kerja indikator persiklusnya dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_i = \oint p dv \text{ atau disederhanakan menjadi}$$

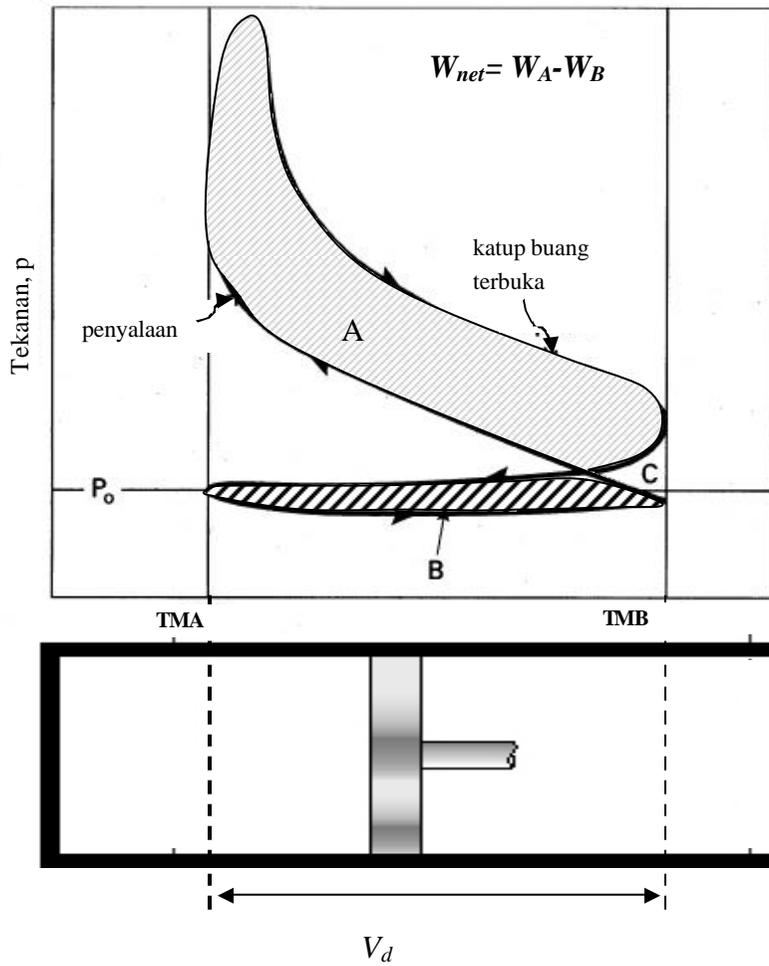
$$W_i = p \times \Delta v$$

dengan p = tekanan di dalam silinder (atm)

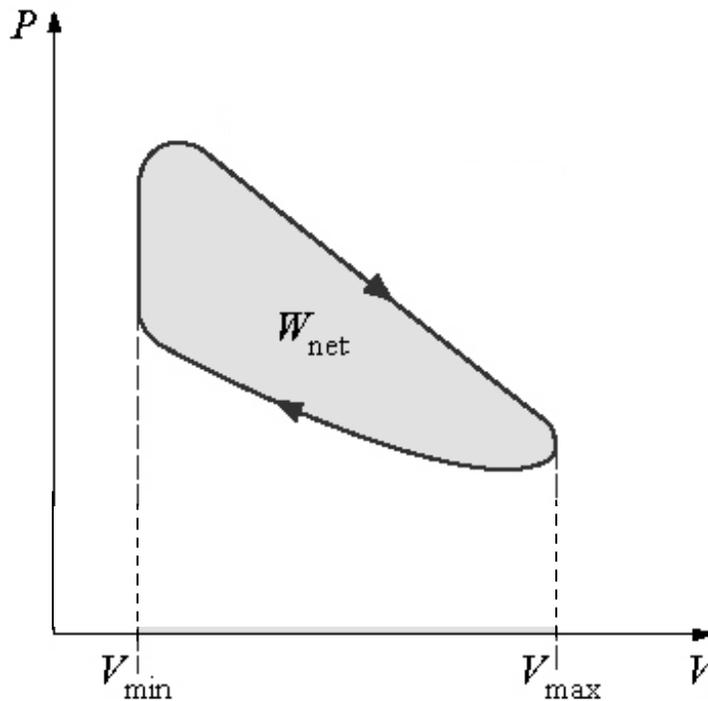
Δv = beda volume karena pergerakan piston

Gambar 12.13 adalah digram p-V dari mesin otto. Daerah A adalah kerja indikator positif pada langkah kompresi dan tenaga, sedangkan pada daerah B adalah kerja negatif pemompaan langkah hisap dan buang. Adapun jumlah total dari kedua daerah kerja tersebut adalah kerja indikator total, dirumuskan dengan persamaan:

$$W_{\text{idikatoraal}} = W_{\text{indikator}} - W_{\text{pemompaan}}$$



Gambar 12.13 Diagram indikator mesin otto

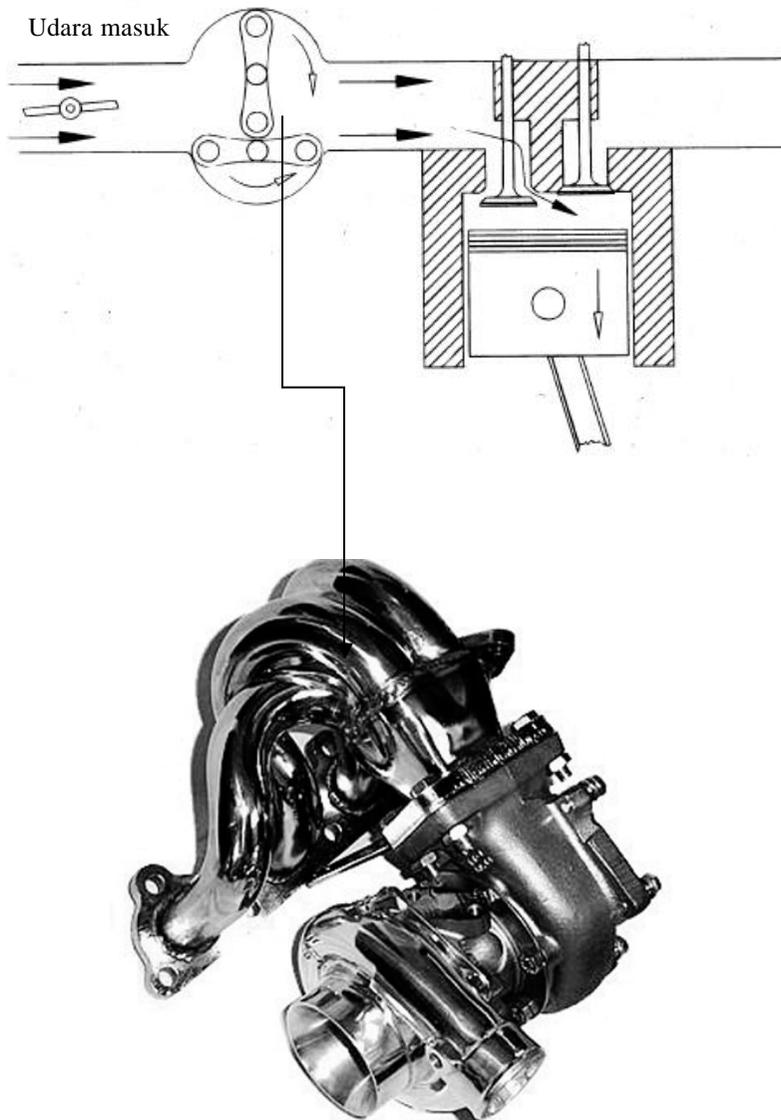


Gambar 12.14 Kerja indikator total

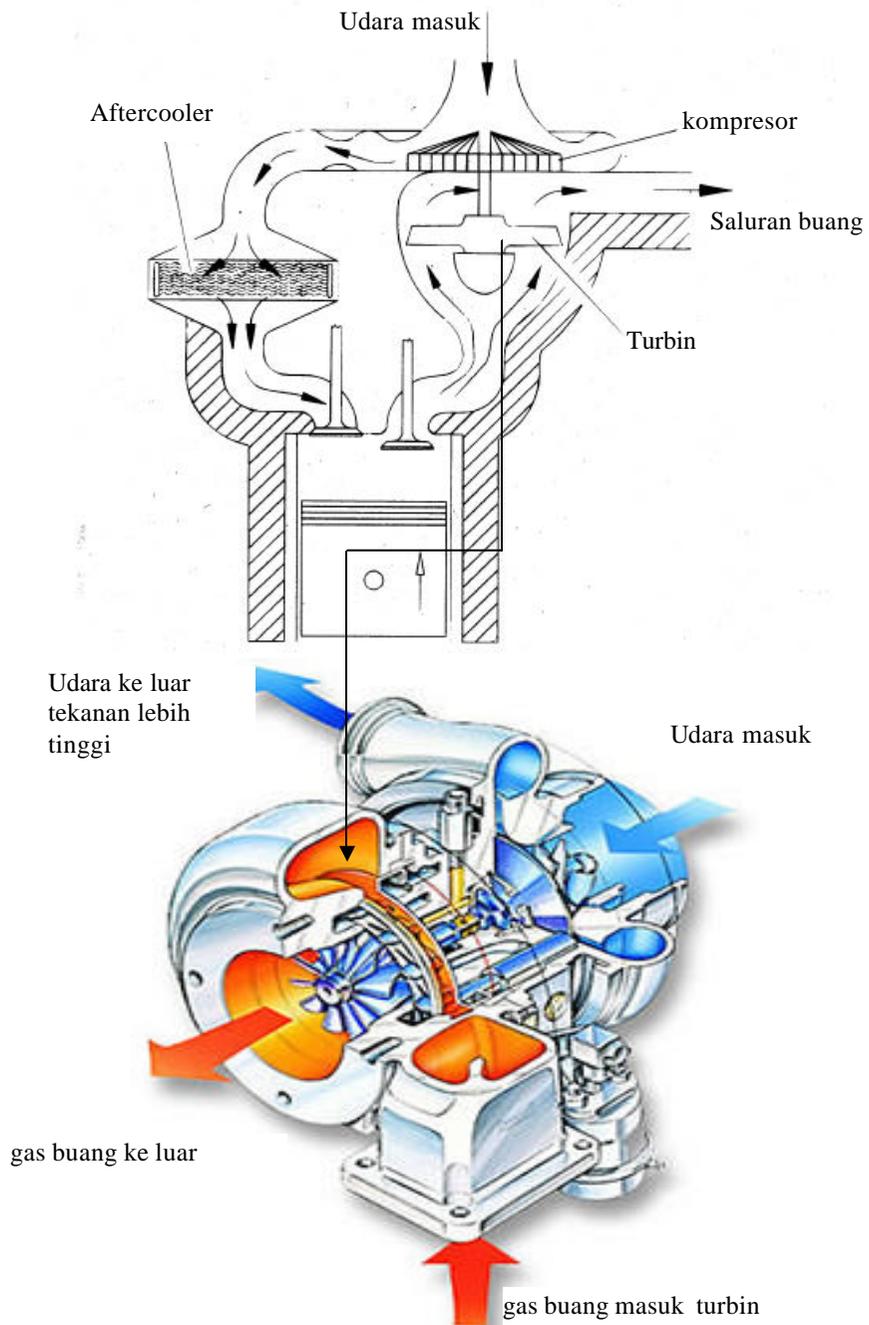
Kerja indikator total [Gambar 12.14] adalah kerja yang akan diteruskan torak ke poros engkol. Kerja indikator akan selalu berubah menyesuaikan dengan jumlah campuran bahan bakar udara yang dihisap oleh mesin. Pada kondisi putaran rendah kerja indikator kecil, kerja indikator paling besar apabila mesin mencapai efisiensi maksimum.

Harga dari $W_{\text{pemompaan}}$ yaitu kerja yang dibutuhkan pada langkah hisap dan buang akan selalu berharga negatif pada mesin standar, dimana udara masuk ke silinder pada langkah hisap, karena di ruang silinder tekanannya lebih rendah. Jadi diusahakan $W_{\text{pemompaan}}$ serendah mungkin untuk menghasilkan $W_{\text{net indikator}}$ yang besar.

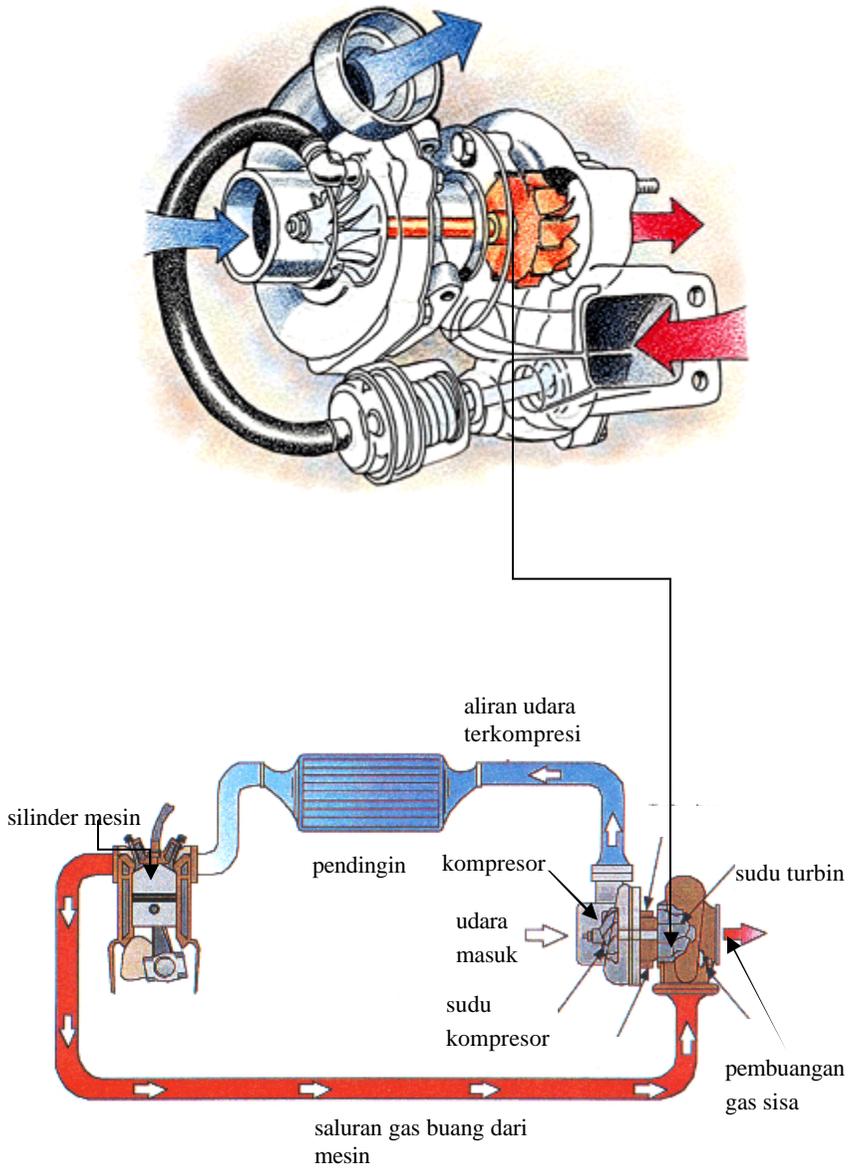
Pada mesin mesin yang dipasang *supercharger* [Gambar 12.15] atau *turbocharger* [Gambar 12.16] $W_{\text{pemompaan}}$ berharga positif karena udara dipaksa masuk pompa sehingga garis langkah hisap di atas langkah buang. Jadi kerja indikator total adalah $W_{\text{net indikator}} = W_{\text{indikator}} + W_{\text{pemompaan}}$. Jadi dapat dikatakan mesin yang dipasang supercharger atau turbocharger mempunyai $W_{\text{net indikator}}$ yang lebih besar dibandingkan dengan mesin yang standar ($W_{\text{net indikator supercharger}} > W_{\text{net indikator}}$). Diagram indikator untuk mesin yang dipasang supercharger atau turbocharger dapat dilihat pada Gambar 12.18



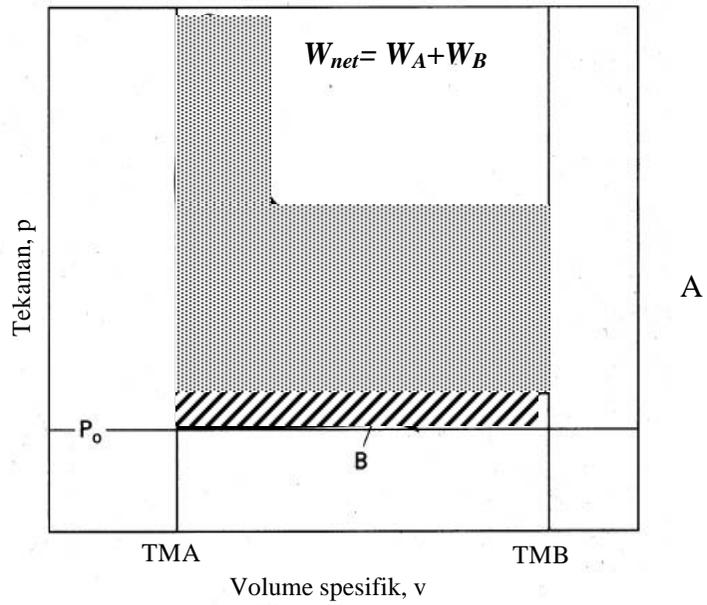
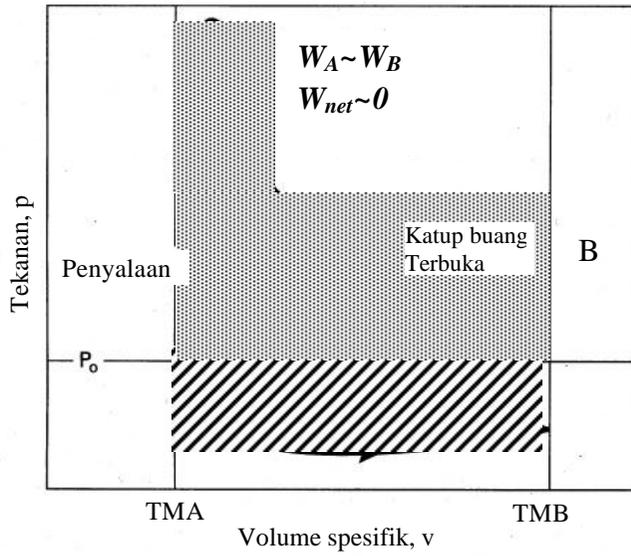
Gambar 12.15 Supercharger pada motor bakar



Gambar 12.16 Prinsip turbocharger pada motor bakar



Gambar 12.17 Instalasi turbocharger pada motor-bakar



Gambar 12.18 Perubahan diagram indikator dengan supercharging

C.1.3. Tekanan indikator rata-rata

Tekanan rata-rata atau *Mean Effective Pressure (MEP)* adalah suatu konsep untuk mencari harga tekanan tertentu konstan yang apabila mendorong piston sepanjang langkahnya dapat menghasilkan kerja persiklus $W_{net,2}$ yang sama dengan siklus yang dianalisis $W_{net,1}$. Pada gambar adalah grafik kerja indikator netto dengan MEP nya.

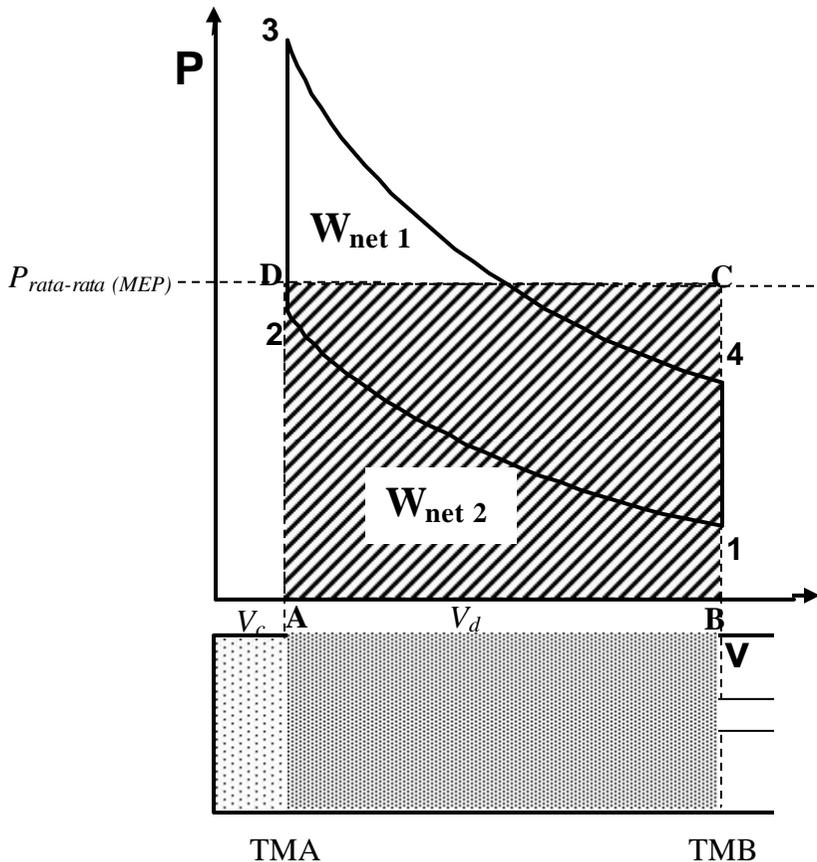
Tekanan rata-rata dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{rata-rata} = \frac{\text{kerja persiklus}}{\text{volume langkah to rak}}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{W_{net,2}}{V_d} \text{ jadi } W_{net,2} = P_{rata-rata} \times V_d$$

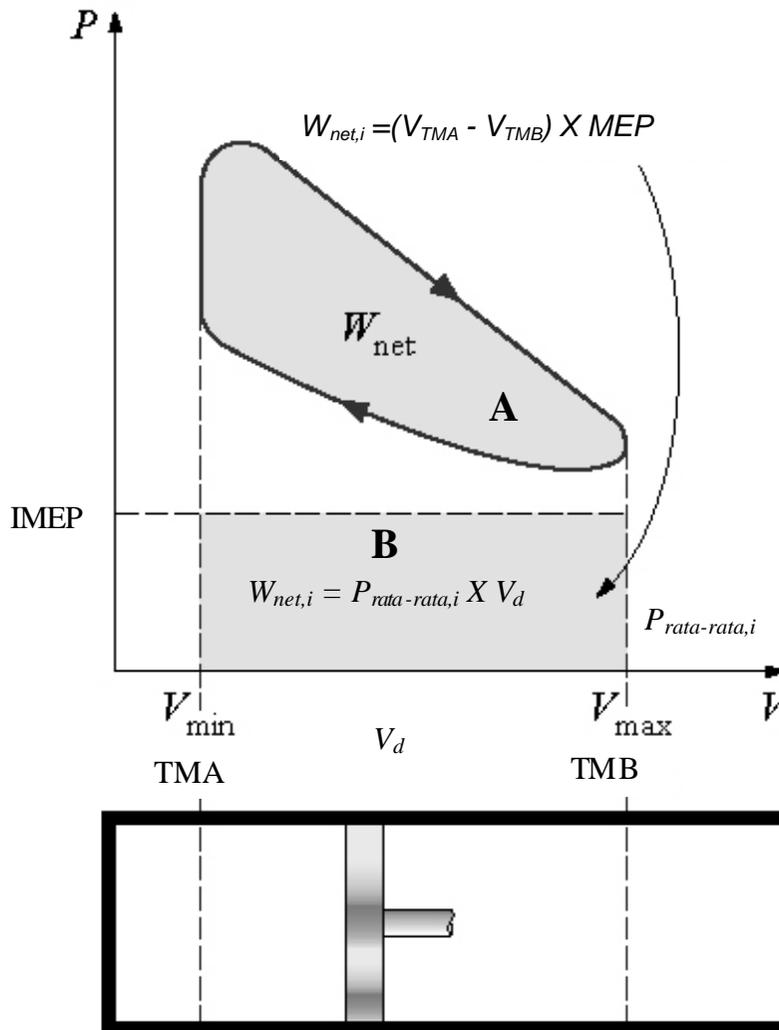
Luasan W_{net} adalah segi empat dengan lebar tekanan rata-rata (*MEP*) dan panjang V_d ($V_{TMA} - V_{TMB}$), maka untuk mencari luasannya:

$$W_{net} = \text{panjang} \times \text{lebar} = V_d \times MEP = (V_{TMA} - V_{TMB}) \times MEP$$



Gambar 12.19 Diagram tekanan rata-rata

Jadi $P_{rata-rata}$ adalah suatu garis tekanan konstan, dimana pada posisi tersebut luas diagram $p-v$ yang dibatasi oleh A-B-C-D sama dengan luas bidang 1-2-3-4. $W_{net\ 1}$ adalah identik dengan $W_{net\ 2}$



Gambar 12.20 Diagram indikator rata-rata

Gambar 12.20 di atas adalah diagram indikator hubungan tekanan dan volume. Dari diagram tersebut dapat diketahui kerja indikator netto $W_{net,i}$ dari siklus. Untuk mengetahui kerja indikator netto, dihitung terlebih dahulu tekanan efektif indikator rata-rata atau *Indicated Mean Effective Pressure (IMEP)* dari siklus, adapun caranya adalah sebagai berikut. Dari diagram indikator yang dihasilkan dari mesin uji, baca skala tekanan dan skala langkah toraknya.

- Skala langkah torak adalah 1 mm = X m
- Skala volume langkah adalah 1 mm = AX m³
- Skala tekanan adalah 1 mm = Y N/m²
- Skala kerja adalah 1 mm² = $Y.AX$ N.m

Apabila diketahui luasan kerja indikator adalah C mm², maka **kerja indikator persiklus = $C.Y.AX$ N.m**, sehingga tekanan indikatornya dapat dihitung dengan rumus:

$$P_{rata-rata,i} = \frac{\text{kerja indikator persiklus}}{\text{volume langkah to rak}}$$

$$P_{rata-rata,i} = \frac{CxYxAX^2}{V_d} \text{ N/m}^2$$

$$P_{rata-rata,i} = \frac{CxYxAX^2}{AxL} \text{ N/m}^2 \text{ jadi}$$

$$P_{rata-rata,i} = \frac{CxYxX^2}{L} \text{ N/m}^2$$

dengan L = panjang langkah torak cm

Tekanan indikator rata-rata yang diperoleh dari perhitungan di atas dapat digunakan untuk menghitung daya indikator. Dari rumus **a** dapat diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kerja indikator persiklus} = P_{rata-rata,i} \times \text{volume langkah to rak}$$

$$W_{net,i} = P_{rata-rata,i} \times V_d$$

dengan $P_{rata-rata,i}$ = tekanan indikator rata-rata

Daya adalah kerja perwaktunya $N = W/t$ ($1/t$ adalah rotasi per waktu atau n), maka daya indikator dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_i = W_{net,i} \times n \text{ Nm/s}$$

dengan n = putaran mesin (rpm)

Untuk mesin multisiylinder untuk 4 langkah atau 2 langkah, rumus umum untuk menghitung daya indikator adalah:

$$N_i = P_{rata-rata,i} \times V_d \times n \times a \times z \text{ Nm/s}$$

dengan n = putaran mesin (rpm)
 a = jumlah siklus perputaran
 = 1 untuk 2 langkah dan 1/2 untuk 4 langkah
 z = jumlah silinder

C.2. Daya poros atau daya efektif

Daya poros adalah daya efektif pada poros yang akan digunakan untuk mengatasi beban kendaraan. Daya poros diperoleh dari pengukuran torsi pada poros yang dikalikan dengan kecepatan sudut putarnya atau dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_e &= T \times \omega \text{ Nm/s} \\ &= T \times 2\pi n \\ &= 2\pi (T \times n) \end{aligned}$$

dengan N_e = Daya poros Nm/s (Watt)
 T = Torsi Nm
 ω = Kecepatan sudut putar

Dari perumusan di atas, untuk menghitung daya poros (*brake power*) N_e harus diketahui terlebih dahulu torsi T dan putaran n mesinnya. Torsi diukur langsung dengan alat dinamometer dan putaran mesin diukur dengan tachometer.

C.3. Kerugian daya gesek

Daya gesek adalah energi persatuan waktu dari mesin yang harus diberikan untuk mengatasi tahanan dari komponen-komponen mesin yang bersinggungan. Besarnya daya gesek dapat dihitung dengan mengurangi daya indikator dengan daya poros, perhitungan ini dengan asumsi daya asesoris diabaikan. Perumusannya adalah:

$$N_e = N_i - (N_g + N_a)$$

apabila diasumsikan $N_a = 0$ maka,

$$N_g = N_i - N_e$$

Perhitungan daya gesek dengan cara ini cukup bagus untuk skala laboratorium.

D. Efisiensi Mesin

Efisiensi mesin menggambarkan tingkat efektifitas mesin bekerja. Secara alamiah setiap proses memerlukan energi, menghasilkan kerja untuk melakukan proses, kemudian ada energi yang harus dibuang. Seperti manusia yang harus makan untuk melakukan aktivitas kerja,

selanjutnya secara alamiah harus ada yang dibuang. Apabila proses ini tidak berjalan semestinya, manusia dinyatakan dalam keadaan sakit dan tidak dapat melakukan kerja. Dalam kondisi ini seandainya manusia adalah mesin maka manusia dalam keadaan rusak.

Konsep efisiensi menjelaskan bahwa perbandingan antar energi berguna dengan energi yang masuk secara alamiah tidak pernah mencapai 100%. Pada motor bakar ada beberapa definisi dari efisiensi yang menggambarkan kondisi efektivitas mesin bekerja, yaitu:

1. Efisiensi termal
2. Efisiensi termal indikator
3. Efisiensi termal efektif
4. Efisiensi mekanik
5. Efisiensi volumetrik

D.1 Efisiensi termal

Efisiensi termal adalah konsep dasar dari efisiensi siklus ideal yang didefinisikan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang masuk. Energi berguna adalah pengurangan antara energi masuk dengan energi terbuang. Jadi efisiensi termal dirumuskan dengan persamaan :

$$h = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}}$$

D.2. Efisiensi termal indikator

Efisiensi termal indikator adalah efisiensi termal dari siklus aktual diagram indikator. Energi berguna dari diagram indikator adalah kerja indikator dan energi masuknya adalah energi dari proses pembakaran perkilogramnya. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$h_i = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}} = \frac{\text{daya indikator}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}}$$

$$h_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m}$$

Karena efisiensi termal indikator adalah pada siklus aktual maka fluidanya adalah bahan bakar dengan udara, sehingga perhitungan energi adalah sebagai berikut:

$$\dot{Q}_m = \dot{G}_f \times Q_c$$

$$h_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m}$$

$$h_i = \frac{N_i}{\dot{G}_f \times Q_c}$$

$$h_i = \frac{P_{rata-rata,i} \times V_d \times n \times a \times z}{\dot{G}_f \times Q_c}$$

dengan N_i = Daya indikator (watt)

\dot{Q}_m = laju kalor masuk per kg bahan bakar (kcal/kg.jam)

\dot{G}_f = laju bahan bakar yang digunakan (kg/jam)

Q_c = Nilai kalor bahan bakar per kcal/kg

D.3. Efisiensi termal efektif

Efisiensi termal efektif adalah perbandingan daya poros atau daya efektif dengan laju kalor masuknya. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$h_e = \frac{\text{daya poros}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}} = \frac{N_e}{\dot{Q}_m}$$

$$h_e = \frac{N_e}{\dot{G}_f \times Q_c}$$

$$h_e = \frac{P_{rata-rata,e} \times V_d \times n \times a \times z}{\dot{G}_f \times Q_c}$$

D.4. Efisiensi mekanik

Semua beban mesin diatasi dengan sumber energi dari proses pembakaran yang menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik yang terukur pada diagram indikator adalah kerja indikator. Kerja indikator persatuan waktu inilah yang akan ditransfer mejadi kerja poros per satuan waktu. Adapun besarnya nilai efektivitas dari transfer daya indikator menjadi daya poros adalah efisiensi mekanis. Jadi efisiensi mekanis adalah perbandingan antara daya poros dengan daya indikator dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Apabila $h_e = \frac{N_e}{\dot{Q}_m}$ dan $h_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m}$

apabila dua persamaan tersebut disubstitusikan pada $h_m = \frac{N_e}{N_i}$

menjadi $h_m = \frac{h_e}{h_i}$, jadi jelas bahwa daya poros yang dihasilkan dari daya

indikator harus dikalikan dengan efisiensi mekaniknya. $h_e = h_m \times h_i$

D.5. Efisiensi volumetrik

Udara yang dihisap masuk silinder selalu banyak mengalami hambatan aliran sehingga aliran udara banyak kehilangan energi, disamping itu udara hisap juga menyerap panas dari saluran hisap terutama pada ujung saluran hisap yang ada katup masuknya. Karena menyerap panas temperatur udara menjadi naik dan menyebabkan massa jenis turun tetapi menaikkan nilai viskositasnya. Dengan kondisi tersebut udara lebih sulit mengalir dengan massa per satuan volumenya juga berkurang. Untuk mendefinisikan jumlah udara yang masuk ke ruang silinder dirumuskan ukuran keefektifan aliran udaran masuk yaitu efisiensi volumetri. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$h_v = \frac{\dot{G}_a}{\dot{G}_{ai}} = \frac{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder aktual (kg/jam)}}{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder ideal (kg/jam)}}$$

$$h_v = \frac{\dot{G}_a}{\dot{G}_{ai}} = \frac{\dot{g}_a}{\dot{g}_{ai}} \text{ dengan } g = \text{massa jenis udara (kg/m}^3\text{)}$$

Hubungan efisiensi volumetrik dengan tekanan rata-rata efektif adalah:

$$P_{\text{rata-rata}} = h_e h_v \cdot f \cdot Q_c \cdot g_{ai} \cdot 0,0427 \text{ kg/cm}^2$$

dengan f = perbandingan bahan bakar udara

$$f = \frac{\dot{G}_f}{\dot{G}_a} = \frac{\text{jumlah bahan bakar yang digunakan kg/jam}}{\text{jumlah udara yang digunakan kg/jam}}$$

dari perumusan di atas terlihat bahwa tekanan efektif rata-rata bergantung dari nilai dari h_v .

E. Laju Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

Laju pemakaian bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SFC) adalah jumlah bahan bakar (kg) per waktunya untuk menghasilkan daya sebesar 1 Hp. Jadi SFC adalah ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar. Perhitungan untuk mengetahui SFC adalah:

$$SFC_e = \frac{\dot{G}_f}{N_e}$$

$$h_e = \frac{N_e}{\dot{G}_f \times Q_c}$$

$$h_e \times Q_c = \frac{N_e}{\dot{G}_f}$$

$$\frac{1}{h_e \times Q_c} = \frac{\dot{G}_f}{N_e} = SFC$$

F. Perhitungan Performasi Motor Bakar Torak

Soal

1. Sebuah mesin bensin 4 tak 6 silinder diujikan untuk mengetahui daya indikatornya, volume langkah 1000 cm³, putaran mesin diuji pada 2000 rpm, dari hasil pengujian didapatkan tekanan rata-rata indikator 10 kg/cm² berapakah daya indikatornya ?

Jawab.

Diketahui

$$n = 2500 \text{ (rpm)} = 2500/60 \text{ rps}$$

$$a = 1/2 \text{ untuk 4 langkah}$$

$$z = 6 \text{ silinder}$$

$$V_d = 1000 \text{ cm}^3$$

$$P_i = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_i = \frac{P_{rata-rata,i} \times V_d \times n \times a \times z}{60 \times 100} \text{ mkg/s}$$

$$N_i = \frac{P_{rata-rata,i} \times V_d \times n \times a \times z}{60 \times 100 \times 75} \text{ Hp [1 Hp } \approx 75 \text{ kgm/s]}$$

$$N_i = \frac{10 \times 1000 \times 2500 \times 0,5 \times 6}{450000} = 166,67 \text{ Hp}$$

2. Mesin kendaraan motor satu silinder jenis 2 tak dengan volume langkah 250 cm^3 disiapkan untuk perlombaan, untuk keperluan tersebut, ahli mekanik melakukan pengujian untuk mengetahui daya indikator dari mesin yang sudah dimodifikasi pada putaran 2300 rpm. Apabila diketahui tekanan indikator rata-rata adalah 5 kg/cm^2 , berapa daya indikatornya ?.

Jawab :

Diketahui :

$$n = 2300 \text{ (rpm)} = 2300/60 \text{ rps}$$

$$a = 1 \text{ untuk } 2 \text{ langkah}$$

$$z = 1 \text{ silinder}$$

$$V_d = 250 \text{ cm}^3$$

$$P_i = 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_i = \frac{P_{\text{rata-rata},i} \times V_d \times n \times a \times z}{60 \times 100} \text{ mkg/s}$$

$$N_i = \frac{5 \times 250 \times 2300 \times 1 \times 1}{60 \times 100 \times 75} = 63,9 \text{ Hp}$$

3. Apabila soal pada nomor 2 diaplikasikan pada motor 4 tak, berapakah daya indikatornya ? . Jika dibandingkan aplikasi pada motor 2 tak, besar manakah daya indikator ?

Jawab :

$$N_i = \frac{P_{\text{rata-rata},i} \times V_d \times n \times a \times z}{60 \times 100} \text{ mkg/s}$$

$$N_i = \frac{5 \times 250 \times 2300 \times 0,5 \times 1}{60 \times 100 \times 75} = 31,95 \text{ Hp [a = 0,5 4 tak]}$$

Jawaban no 2 dan 3, terlihat daya indikator untuk kondisi mesin yang sama, mesin 2 tak mempunyai nilai yang lebih besar yaitu sebesar dua kalinya.

4. Dari soal no.1, sebagai tambahan pengujian, mesin tersebut kemudian dimasukkan ke dinamometer untuk diketahui nilai torsinya. Dari pengujian dihasilkan data yaitu pada putaran 2500 rpm, torsi yang terbaca 35 kg.m, hitunglah berapa besar daya efektif, efisiensi mekanik dan hitung daya geseknya

Jawab. :

Diketahui:

Dari data soal no1 diketahui $N_i = 166,67 \text{ Hp}$

Torsi pada $n = 2500 \text{ rpm}$ sebesar 35 kg.m

Daya efektifnya adalah $N_e = 2p(T \times n)$

Untuk 2500 rpm = 2500/60 rps

T = 35 kgm

$$N_e = 2p(Txn)$$

$$N_e = 2p \frac{(35 \times 2500)}{60 \times 75} = 122,1 \text{ Hp}$$

Daya gesek dapat dihitung dengan menggunakan perumusan :

$$N_g = N_i - N_e$$

$$N_g = 166,67 \text{ Hp} - 122,1 \text{ Hp}$$

$$N_g = 44,6 \text{ Hp}$$

Efisiensi mekanik sebesar :

$$h_m = \frac{N_e}{N_i}$$

$$h_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{122,1}{166,67} \times 100\% = 73,25\%$$

5. Apabila pada soal no.4 jumlah bahan bakar dan nilai kalornya tercatat sebesar $\dot{G}_f = 30 \text{ kg/jam}$ dan $Q_c = 10000 \text{ kcal/kg}$, hitunglah efisiensi indikatornya dan efektifnya. Buktikan bahwa $h_e = h_m \times h_i$! dan hitung juga SFC efektifnya!

Jawab

Diketahui:

$$\dot{G}_f = 30 \text{ kg/jam} = 30/3600 \text{ kg/s}$$

$$Q_c = 10000 \text{ kcal/kg}, 1 \text{ kcal} = 427 \text{ kg.m}$$

$$1 \text{ Hp} \approx 75 \text{ kg.m/s}$$

Dari data soal no.1 dan no.4 diperoleh

$$N_i = \frac{10 \times 1000 \times 2500 \times 0,5 \times 6}{450000} = 166,67 \text{ Hp}$$

$$N_e = 2p \frac{(35 \times 2500)}{60 \times 75} = 122,1 \text{ Hp}$$

Besar efisiensi indikatornya adalah:

$$h_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m} ;$$

$$h_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_m} = \frac{166,67 \times 75}{30 / 3600 \times 10000 \times 427} \times 100\% = 35,1\%$$

Besar efisiensi efektifnya adalah:

$$h_e = \frac{N_e}{\dot{Q}_m} ;$$

$$h_e = \frac{N_e}{\dot{Q}_m} = \frac{122,1 \times 75}{30 / 3600 \times 10000 \times 427} \times 100\% = 25,7\%$$

Efisiensi efektif dapat dihitung dengan perumusan:

$$h_e = h_m \times h_i ;$$

$$h_e = h_m \times h_i = 0,7325 \times 0,351 \times 100\% = 25,7\%$$

SFC adalah

$$SFC_e = \frac{\dot{G}_f}{N_e}$$

$$SFC_e = \frac{3600 \times 75}{10000 \times 0,257 \times 427} = 0,246 \frac{kg / jam}{hp}$$

Apabila SG (*Spesific Grafity*) bensin adalah 0,75 pemakaian dalam volume bahan-bakar per jam setiap Hp nya adalah:

$$SG = 0,75 \text{ jadi } r_{bensin} = 750 kg / m^3$$

$$r = \frac{m}{V} ; V = \frac{m}{r} = \frac{0,246}{750} = 0,000328 m^3$$

$$V = 0,000328 m^3 = 0,328 dm^3 = 0,328 liter ; \text{ jadi}$$

$$SFC = 0,328 \text{ liter/jam.Hp}$$

Rangkuman :

1. Proses perubahan energi dari mulai proses pembakaran sampai menghasilkan daya pada poros motor bakar melewati beberapa tahapan dan tidak mungkin perubahan energinya 100%. Selalu ada kerugian yang dihasilkan dari selama proses perubahan, hal ini sesuai dengan hukum termodinamika kedua yaitu "tidak

mungkin membuat sebuah mesin yang mengubah semua panas atau energi yang masuk menjadi kerja".

2. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar b , dengan data tersebut torsi adalah
3. Daya indikator adalah merupakan sumber tenaga persatuan waktu operasi mesin untuk mengatasi semua beban mesin. Untuk lebih mudah pemahaman di bawah ini adalah perumusan dari masing-masing daya. Satuan daya menggunakan HP (horse power)

$$N_e = N_i - (N_g + N_a) \text{ (HP)}$$

4. Daya poros diperoleh dari pengukuran torsi pada poros yang dikalikan dengan kecepatan sudut putarnya atau dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut ;

$$N_e = T \times \omega \text{ Nm/s}$$

5. Daya gesek adalah merupakan energi persatuan waktu dari mesin yang harus diberikan untuk mengatasi tahanan dari komponen-komponen mesin yang bersinggungan

$$N_e = N_i - (N_g + N_a)$$

6. Efisiensi termal dirumuskan dengan persamaan :

$$h = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}}$$

7. Efisiensi termal indikator adalah efisiensi termal dari siklus aktual diagram

$$\text{indikator } h_i = \frac{\text{Energi berguna}}{\text{Energi masuk}} = \frac{\text{daya indikator}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}}$$

8. Efisiensi termal efektif adalah perbandingan daya poros atau daya efektif dengan laju kalor masuknya

$$h_e = \frac{\text{daya poros}}{\text{laju energi kalor masuk per kg}} = \frac{N_e}{\dot{Q}_m}$$

9. Jadi efisiensi mekanis adalah perbandingan antara daya poros dengan daya indikator dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$h_m = \frac{N_e}{N_i}$$

10. Untuk mendefinisikan jumlah udara yang masuk ke ruang silinder dirumuskan ukuran keefektifan aliran udara masuk yaitu efisiensi volumteri.

$$h_v = \frac{\dot{G}_a}{\dot{G}_{ai}} = \frac{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder aktual (kg/jam)}}{\text{jumlah udara masuk kedalam silinder ideal (kg/jam)}}$$

11. Laju pemakaian bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SFC) adalah jumlah bahan bakar (kg) per waktunya

untuk menghasikan daya sebesar 1 Hp. $SFC_e = \frac{\dot{G}_f}{N_e}$

Soal :

1. Untuk menaikkan kemampuan mesin kendaraan bermotor, seorang ahli mekanik kendaraan bermotor melakukan modifikasi mesin sehingga diharapkan unjuk kerja mesin naik terutama dayanya. Ahli mekanik tersebut membawa sepeda motornya ke laboratorium uji. Dari pengujian diperoleh data-data sebagai berikut. Tekanan indikator rata-rata 8 kg/cm², pada putaran 2400 rpm besar torsi nya 40 kg.m. Konsumsi bahan bakarnya 25 kg/jam dengan nilai kalor 1500 kcal/kg. Adapun data kendaraan bermotornya adalah mesin 4 tak, satu silinder, dengan volume langkah 100 cm². Hitunglah efisiseni efektifnya ! dan berapa SFC ?.

2. Seorang pemilik kendaraan bermotor berniat untuk memasang AC (80 Hp) pada mobil sedannya, sebelum melakukan pemasangan, si pemilik sedan membawa mobilnya ke sebuah bengkel untuk diuji dayanya. Dari hasil uji diperoleh data sebagai berikut. Torsi maksimum 150 kg.m tercapai pada putaran 3000 rpm. Data-data sedannya adalah : Mesin 4 tak 8 silinder, volume langkah 1500 cm³, tekanan indikator rata-rata 15 kg/cm². Batas minimum efisiensi efektif adalah 10% mobil sedan masih bekerja normal. Periksa apakah dengan pemasangan AC mobil sedan masih dapat bekerja normal. !!

BAB 13 KOMPONEN MESIN

A. Mesin Motor Bakar

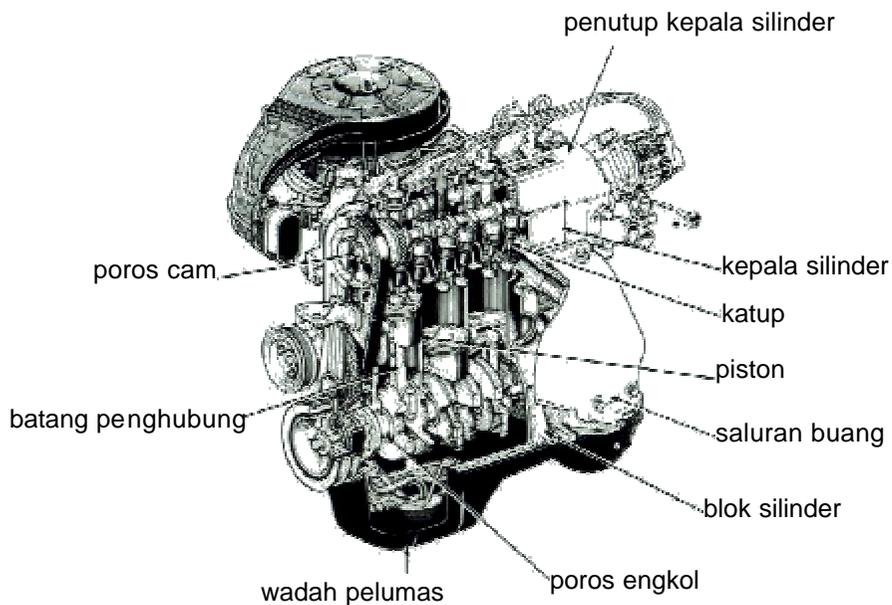
Mesin merupakan suatu jenis pesawat kerja yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik. Untuk melakukan proses perubahan, mesin mempunyai komponen-komponen yang bekerja kompak menjadi satu kesatuan. Komponen mesin dibagi menjadi dua yaitu mesin dan kelengkapan mesin. Komponen pertama mesin merupakan pembangkit tenaga, sedangkan yang kedua merupakan komponen yang menjamin mesin bekerja dengan baik untuk pembangkitan tenaga.

Rincian komponen mesin adalah:

1. Blok silinder
2. Kepala silinder
3. Piston atau torak
4. Batang torak
5. Poros engkol
6. Bearing atau bantalan
7. Roda penerus
8. Mekanik Katup

B. Bagian Mesin

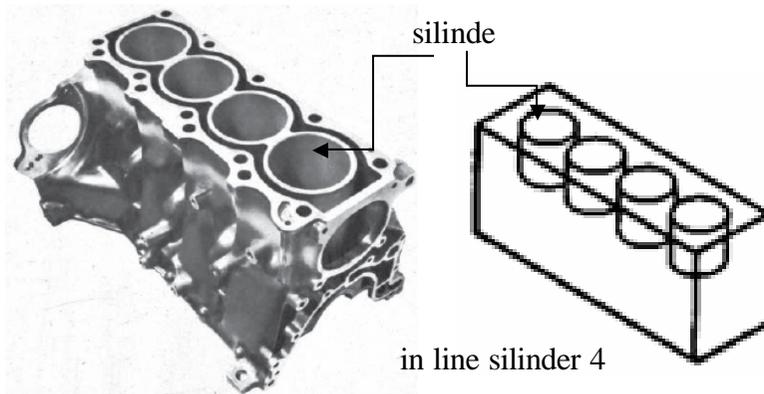
Seperti telah disebutkan di atas bagian, komponen mesin yang pertama berfungsi sebagai pembangkit tenaga. Proses ini berlangsung di dalam **silinder**. Sumber energi berasal dari energi kimia bahan bakar yang masuk melalui melalui **mekanisme katup** di **kepala silinder**. Bahan bakar setelah masuk ke silinder kemudian dibakar terjadilah proses pembakaran. Proses pembakaran menghasilkan tekanan dan temperatur tinggi, kemudian terjadi ekspansi dan kompresi volume sehingga **torak** terdorong menghasilkan gerakan bolak-balik yang diteruskan ke **batang torak**. Oleh batang torak gerakbolak-balik diubah menjadi gerakan rotasi pada **poros engkol**. Poros engkol ditumpu dengan **bantalan** pada bak engkol (*crankcase*) dan pada ujungnya dipasang **roda penerus**.



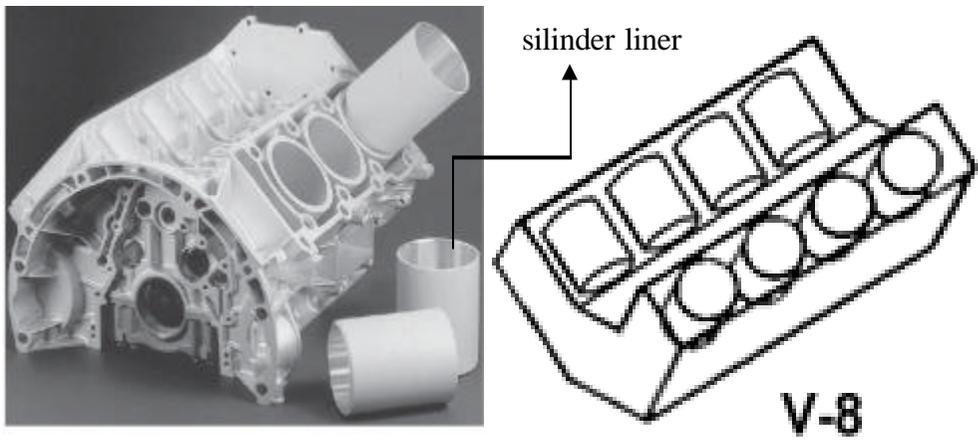
Gambar 13.1 Mesin dan komponen-komponennya

B.1. Blok Silinder

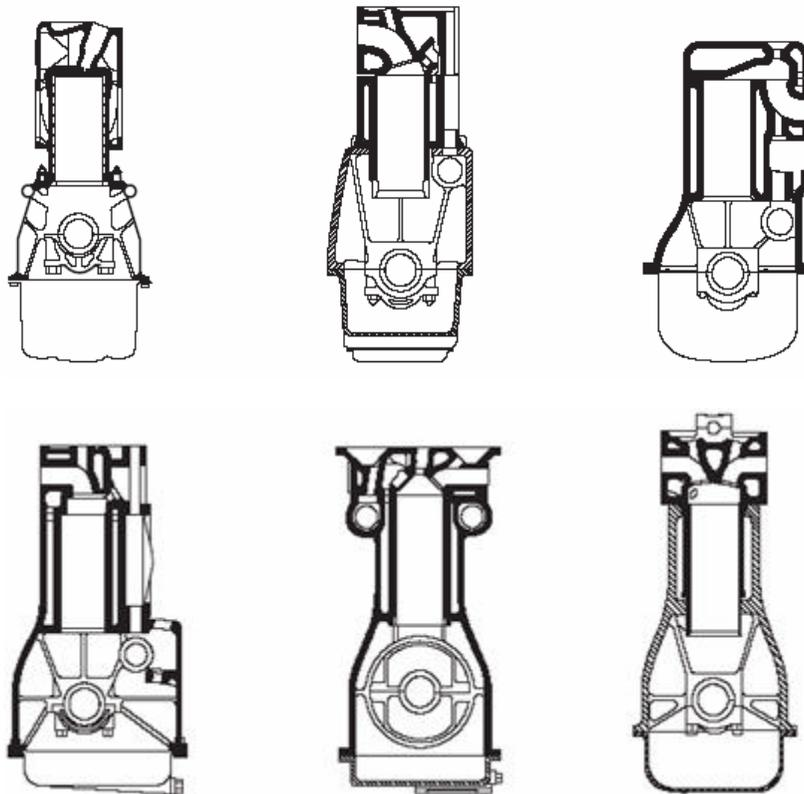
Blok silinder adalah bentuk dasar dari mesin, terbuat dari material besi cor, tetapi dapat juga dengan paduan aluminium dengan tujuan mengurangi berat mesin [Gambar 13.2]. Susunan silinder dipasang pada blok silinder, kepala silinder menutup bagian atas, bagian bawah terdapat bak engkol tempat tumpuan poros engkol sumbu nok dan mekanik katup. Untuk mobil berpendingin air, pada blok silinder terdapat lubang-lubang yang merupakan mantel air tempat sirkulasi air pendingin yang mengelilingi susunan silinder. Pada sisi blok dipasang kelengkapan-kelengkapan mesin seperti starter, alternator, pompa bensin dan distributor



Gambar 13.2 Blok silinder model in line



Gambar 13.3 Blok silinder model V-8



Gambar 13.4 Model susunan blok silinder

B.1.1. Silinder

Silinder adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat perpindahan tenaga panas menjadi tenaga mekanik dengan gerakan torak bolak-balik karena ekspansi dan kompresi. Karena proses pembakaran menghasilkan tekanan yang tinggi dimungkinkan terjadi kebocoran gas ke luar ruang silinder menuju bagian bawah mesin. Kebocoran dapat melalui celah antara dinding silinder dengan ring pada torak. Kebocoran akan menurunkan tekanan sehingga mesin kehilangan sebagian energinya. Kebocoran terjadi karena terjadi keausan karena gesekan gerakan piston dengan dinding silinder. Untuk mengatasi kondisi ini dinding silinder harus diperkeras atau dengan dilapisi chrome.

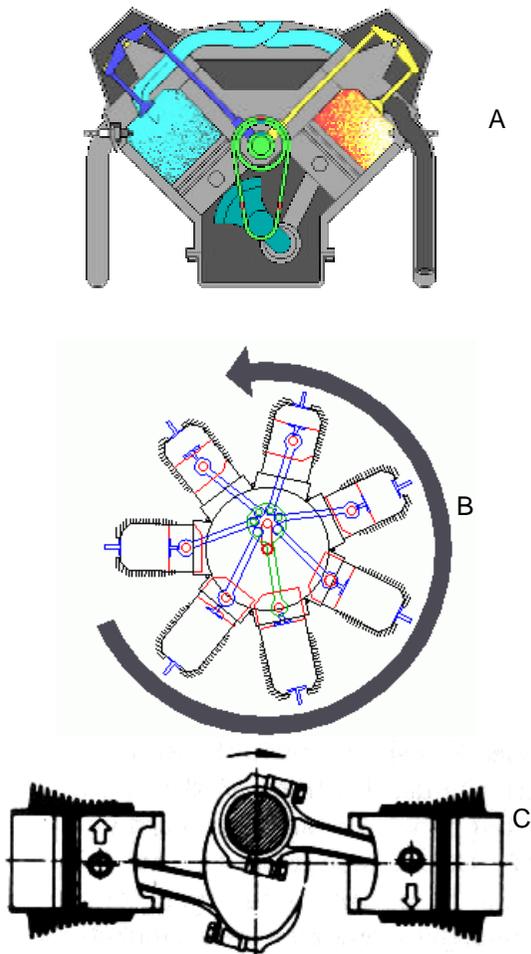
Apabila dinding silinder sudah mengalami keausan sehingga diameter silinder bertambah, kebocoran akan membesar, tenaga mesin drop dan oli dapat masuk ke dalam silinder. Untuk memperbaiki kondisi ini dinding silinder dibor kembali. Karena dinding dibor sehingga diameternya bertambah diperlukan torak yang sesuai dan lebih besar (*oversize*).

Metode untuk menghindari keausan yang sering digunakan adalah dengan pemasangan pelapis silinder atau silinder liner [Gambar 13.3]. Keuntungan dari silinder liner ini adalah lebih tahan dari keausan dan apabila terjadi kerusakan dapat diganti, sehingga tidak ada metode pengeboran dengan torak *oversize*. Model dari pelapis ini ada dua yaitu pelapis silinder basah dan pelapis silinder kering. Pelapis silinder basah dikelilingi langsung dengan mantel air untuk pendinginan, sedangkan pelapis silinder kering tidak berhubungan langsung dengan mantel air.

B.1.2 Jumlah silinder

Untuk menaikkan daya mesin dibutuhkan volume silinder yang besar, tetapi tidak praktis hanya dengan menggunakan satu silinder. Untuk itu, mesin berdaya besar pada umumnya digunakan multisilinder [Gambar 13.2, 13.3]. Jumlah silinder biasanya genap antara 2 sampai 13. Untuk mesin di bawah 1000 cc biasanya bersilinder 2 atau 4, sedangkan dari 1000 cc sampai 2000 cc bersilinder 4 atau 6 dan di atas 2000 cc bersilinder 6 atau 8 silinder.

Pada mesin 4 tak, setiap dua kali putaran poros engkol hanya menghasilkan satu kali tenaga pada 360° , tetapi dengan multi silinder, misalkan mesin 4 tak 4 silinder setiap kali berputar 720° maka pada setiap sudut engkol 180° terjadi langkah tenaga, sehingga sangat menguntungkan.



Gambar 13.5 Bentuk susunan silinder

Model susunan silinder bermacam-macam dan selalu mengalami perkembangan. Bentuk susunan dimaksudkan untuk beberapa hal seperti mengurangi getaran, memperkecil ukuran mesin sehingga beratnya turun, dan tujuan lainnya. Model susunannya menggunakan model satu garis memanjang [Gambar 13.2], model V [Gambar 13.3, 15.5], model beralawanan horizontal [gambar 13.5], dan ada juga yang model melingkar [Gambar 13.5] untuk penggerak baling-baling pesawat terbang konvensional.

Blok silinder dengan susunan model V, silinder-silinder tersusun lurus pada kedua bagian blok silinder, silinder-silinder yang ada pada dua bagian blok menghadap poros engkol. Untuk mesin 8 silinder bentuk V, mempunyai 4 silinder pada masing masing sisinya. Keuntungan dari model ini adalah getaran mesin yang rendah karena mesin sangat

balance dan ukuran mesin mejadi lebih kecil dengan alasan jumlah silinder terbagi mejadi dua sisi.

Perbandingan antara diameter silinder dengan panjang langkah sangat penting untuk perancangan. Ada tiga macam model:

[1]Mesin dengan D/L kecil atau $L > D$, dinamakan **mesin langkah panjang**. Model mesin ini sangat menguntungkan bagi proses pembakaran, karena langkahnya yang panjang, waktu bagi langkap hisap lebih lama sehingga pencampuran bahan-bakar dan udara lebih baik. Kerugiannya adalah untuk memperoleh putaran mesin yang sama, kecepatan piston mesin langkah panjang lebih tinggi. Dapat dilihat dari rumus menghitung kecepatan rata-rata yaitu $U = 2xLxn$. Untuk n yang sama terlihat mesin langkah panjang kecepatan pistonnya lebih tinggi. Pada kecepatan piston yang tinggi gesekan semakin besar sehingga memperlambat keausan.

[2] Mesin dengan D/L = 1 dinamakan **square engine** dan mesin dengan **D/L > 1** dinamakan **over square engine**, mempunyai kelebihan karena kecepatan piston rata-rata rendah sehingga keausan silinder dapat dihindari. Dengan memperbesar diameter silinder, katup-katup menjadi lebih besar, efeknya pada kecepatan piston yang tinggi efisiensi pengisian dipertahankan baik. Kerugian dari model mesin ini adalah dengan semakin besar diameter silinder, ruang bakarnya pun menjadi lebih luas, sehingga untuk kecepatan rendah, efisiensi pembakarannya rendah, mesin mejadi dingin dan ada kemungkinan mesin mati.

B.1.3 Bak engkol

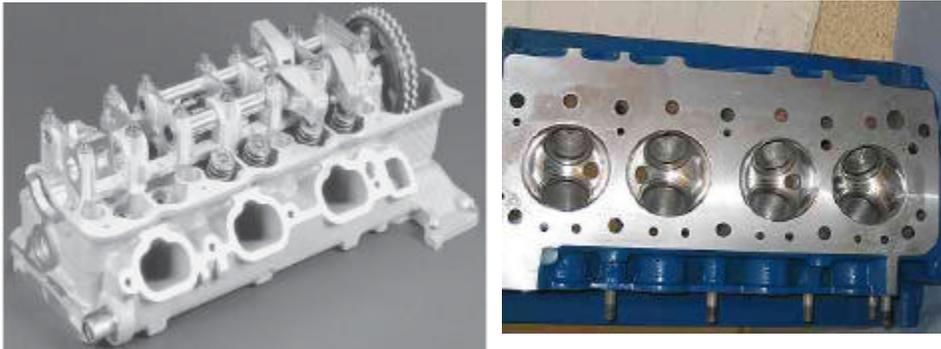
Bak engkol terdapat pada bagian bawah blok silinder mesin [Gambar 13.6]. Pada bak engkol terdapat bantalan untuk tumpuan poros engkol. Sumbu nok juga ada yang dipasang paralel dengan poros engkol. Pada bagian bawah bak engkol terdapat pan oil atau karter. Kartir berguna untuk menampung minyak pelumas mesin dan terbuat dari baja press.



Gambar 13.6 Bak engkol

B.2 Kepala silinder

Kepala silinder terletak di bagian atas kepala silinder [Gambar 13.7]. Terdapat ruang bakar berbentuk cekungan, di kepala silinder juga terdapat lubang-lubang untuk pemasangan busi dan mekanisme katup. Antara kepala silinder dengan silinder diselipkan gasket. Fungsi gasket adalah untuk mencegah kebocoran-kebocoran gas dari dalam silinder. Meterial gasket harus tahan temperatur tinggi, biasanya terbuat dari plat tembaga yang dilapisi asbes.



Gambar 13.7 Kepala silinder

Ruang bakar yang terdapat pada kepala silinder adalah tempat proses pembakaran, sehingga kepala silinder harus terbuat dari material yang tahan pada temperatur dan tekanan tinggi. Material yang digunakan adalah besi cor atau paduan aluminium yang dapat membatasi pemuaian. Sama halnya dengan blok silinder, kepala silinder juga ada yang dilengkapi dengan mantel air yang terhubung dengan mantel air yang ada pada blok silinder. Mesin yang berpendingin udara pada kepala silindernya dipasang sirip-sirip untuk pendinginan.

B.2.1. Bentuk ruang bakar

Ruang bakar seperti yang sudah disebutkan adalah ruangan dimana dimulai proses pembakaran. Terdapat mekanisme katup dengan model bentuk katup akan mempengaruhi ruang bakar. Pada umumnya ada tiga macam bentuk yaitu:

[1]Bentuk setengah lingkaran [gambar 13.8a]

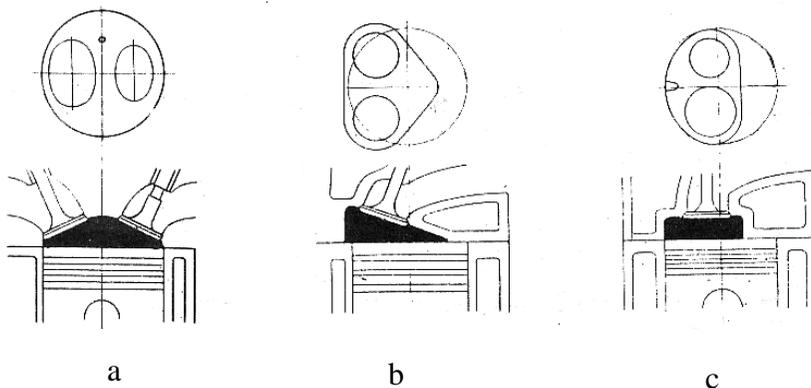
Katup pada model ini mempunyai posisi katup di atas memusat pada sumbu tengah silinder. Penempatannya tidak memakai banyak tempat, karena mempunyai permukaan yang terkecil per unit volume, pengaruh panas yang hilang juga minimal. Katup dapat dibuat lebih besar, sehingga pengisiannya lebih efisien. Kerugian katup model ini adalah penyusunan mekanik katupnya rumit dan pembuatannya tidak mudah. Ruang bakarnya membentuk kerucut dan biasanya busi dipasangkan di bagian tengah.

[2] Model baji [gambar 13.8a]

Aliran udara model ini lebih ringan tanpa banyak halangan karena kelengkungan saluran intake dan outlet tidak banyak. Dengan kata lain tidak banyak kerugian aliran sehingga dapat menaikkan efisiensi volumetrik dan pengisian. Gas sisa lebih mudah dibuang ke luar silinder sehingga campuran udara bahan bakar lebih banyak masuk silinder. Konstruksi katupnya lebih sederhana. Ruang bakarnya membentuk limas.

[3] Model bath tub [gambar 13.8a]

Dengan katup model ini bentuk ruang bakar menjadi terpusat, pada kondisi piston melakukan dorongan pada langkah kompresi, campuran bahan bakar udara akan menuju ruangan ini sehingga proses pembakaran lebih cepat. Ruang bakar membentuk balok.



Gambar 13.8 Model ruang bakar

B.3. Piston atau torak

Torak adalah komponen mesin yang paling pertama menerima energi dari pembakaran. Energi tersebut kemudian diteruskan dengan batang torak. Sambungan antara torak dengan batang torak digunakan pen torak. Posisi sambungan antara torak dengan batang torak dengan pen torak diusahakan tidak pada satu garis dengan posisi poros engkol (*offset engine*), kalau kondisi ini tidak dicermati mengakibatkan gaya dorong dari pergerakan torak akan besar di dinding dan dapat menyebabkan dinding aus sebagian.

Untuk mencegah kebocoran ruang silinder yang bertekanan tinggi, pada torak dipasang ring torak. Ring torak berfungsi sebagai perapat dan tempat saluran pelumas, untuk melumasi dinding silinder.

Piston bekerja pada beban tinggi yaitu temperatur dan tekanan tinggi, dengan alasan tersebut piston akan mengalami pemuaian sehingga dapat bersinggungan dengan dinding silinder. Kondisi tersebut

sangat merugikan karena dinding silinder akan cepat aus. Untuk mengatasi kondisi tersebut, antara dinding dengan piston diberi jarak atau celah sehingga pada waktu piston mengalami pemuaian masih ada tempat, kontak langsung dengan dinding silinder dapat dihindari.

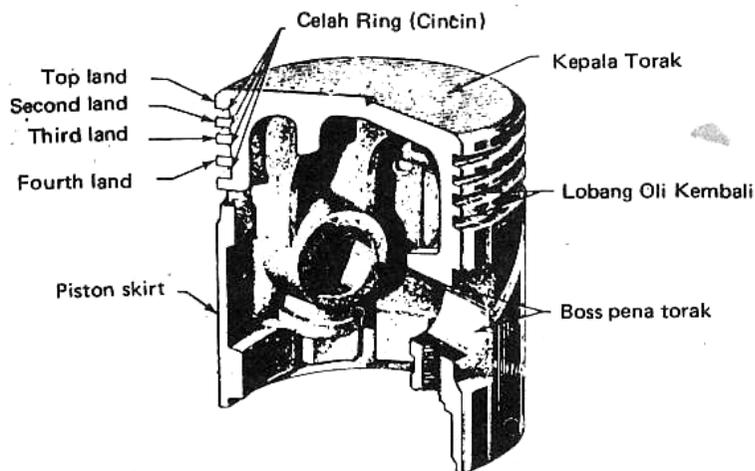
B.3.1. Konstruksi torak

Bagian paling atas adalah kepala torak, biasanya permukaannya datar, tetapi ada pula yang berbentuk cekungan atau cembungan. Bentuk-bentuk permukaan dari kepala torak difungsikan untuk membantu turbulensi pada waktu kompresi, sehingga campuran udara bahan bakar lebih homogen

Pada bagian atas torak juga terdapat celah-celah untuk pemasangan ring torak dan bentuk bos di bagian tengah torak yang fungsinya untuk kedudukan pen torak.

Dengan alasan torak bekerja pada daerah bertemperatur, bertekanan, dan kecepatan tinggi, material torak harus mempunyai kekuatan yang tinggi. Besi cor banyak digunakan tetapi berat, untuk menggantinya digunakan paduan aluminium yang lebih ringan dan konduktivitas panasnya lebih baik.

Kelemahan dari paduan aluminium adalah mudah memuai, sehingga pada suhu tinggi ukuran piston menjadi lebih besar, hal ini sangat tidak menguntungkan. Untuk mengatasinya bentuk piston dibuat tidak sama, pada bagian bawah dibuat lebih kecil, sehingga pada waktu memuai bentuknya sama.



Gambar 13.9 Konstruksi torak

B.3.2. Model torak

Berbagai model torak dikembangkan untuk menaikkan unjuk kerja dari torak. Material torak yang digunakan harus ringan, mampu beroperasi pada beban tinggi dan konduktivitasnya harus baik. Adapun contoh model-model torak yang banyak digunakan sebagai berikut.

[1] Model split piston [gambar 13.10a]

Torak model ini dilengkapi dengan parit-parit bentuk T dan U untuk menampung ekspansi panas dan membentuk celah sisi.

[2] Torak model selop [gambar 13.10b]

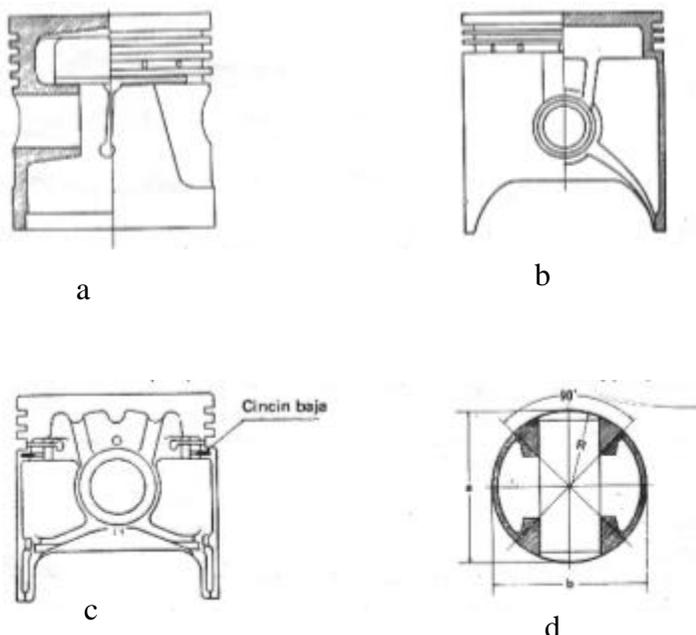
Torak model ini dipotong bagian bawahnya untuk mengurangi berat dan mengurangi gesekan.

[3] Torak model autotermis [gambar 13.10c]

Pada bagian atas dibagian dalam piston terdapat plat baja yang mempunyai pemuaian yang rendah, hal ini untuk mengatasi perubahan bentuk yang disebabkan panas.

[4] Torak lonjong (oval piston) [gambar 13.10d]

Diameter torak pada bagian bos pena torak dibuat lebih kecil sehingga piston kelihatan berbentuk oval. Dengan bentuk oval, apabila torak kena panas diameternya akan sama pada setiap sisinya.



Gambar 13.10 Model torak atau piston

B.3.3. Ring torak

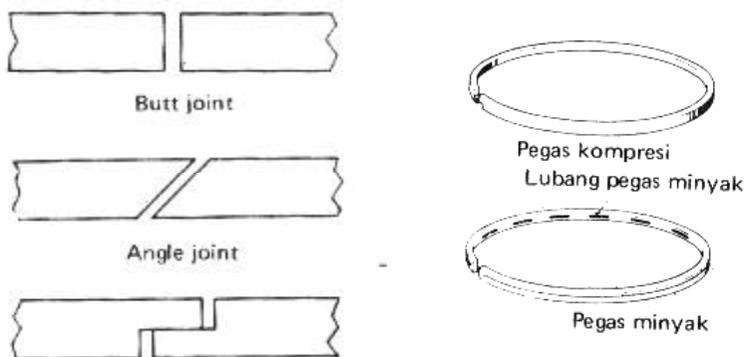
Pada penjelasan terdahulu telah disinggung bahwa antara piston dan dinding piston terdapat celah (*clearance*) yang berfungsi sebagai ruang muai piston. Celah ini dapat menimbulkan masalah yaitu kebocoran gas pada waktu langkah kompresi dan tenaga. Untuk mengatasi hal tersebut pada piston diberi seal atau perapat sehingga kebocoran dapat dihindari. Perapat tersebut berbentuk ring. Adapun fungsi ring piston secara umum adalah sebagai berikut.

[1] Menjaga agar gas tidak ke luar silinder selama langkah kompresi atau langkah tenaga. Pada langkah ini perbedaan antara tekanan dalam silinder dengan luar silinder sangat besar sehingga ada kemungkinan gas dapat ke luar melalui celah-celah antara piston dengan silinder.

[2] Sebagai komponen pelumasan yaitu ring piston akan mengikis minyak pelumas di dinding silinder dan sekaligus mencegah minyak pelumas masuk ke ruang bakar.

[3] Karena ring piston bersinggungan langsung dengan dinding silinder, maka ring piston dapat sebagai media untuk menyalurkan panas dari piston ke dinding silinder.

Material ring piston terbuat dari besi cor khusus, berbentuk lingkaran berdiameter lebih besar dari diameter piston. Untuk memudahkan pemasangan pada piston, ring piston dipotong. Ada beberapa model potongan yaitu ; [1] *butt joint*, [2] *angle joint*, dan [3] *gap joint* [gambar 13.11]. Celah sambungan (*gap joint*) harus disesuaikan dengan spesifikasi mesin. Bila celah sambungan terlalu besar akan mengakibatkan kebocoran gas, bila terlalu kecil ujung-ujungnya akan bersentuhan, dan apabila memuai akan merusak ring piston.



Gambar 13.11 Ring piston

Model ring pegas ada dua yaitu:

[1] Ring kompresi, fungsi ring ini adalah mencegah gas keluar pada waktu langkah kompresi dan ekspansi. Ring kompresi dipasang berurutan pada posisi atas piston. Potongan ring diposisikan antara satu dengan yang lainnya pada posisi 120° , atau 180° , dengan maksud untuk mencegah kebocoran.

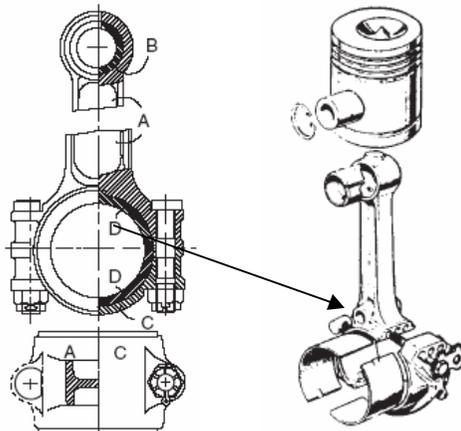
[2] Ring oli, fungsi ring ini adalah untuk mengikis kelebihan oli pada dinding silinder dan untuk mencegah agar minyak pelumas tidak memasuki ruang bakar.

B.4. Batang torak

Batang torak atau batang penerus (*connecting rod*) adalah komponen yang meneruskan tenaga dari torak ke poros engkol. Dengan batang torak ini gerakan torak yaitu translasi bolak-balik diubah menjadi gerakan rotasi pada poros engkol. Bentuk dari batang torak dapat dilihat pada Gambar 13.12. Bagian ujung yang disambung dengan pin pada torak berbentuk lebih kecil dan ujung satunya yang terhubung langsung dengan poros engkol berbentuk lebih besar. Pada bagian ujung yang besar dibuat dalam bentuk split dan dipasang pada pin engkol dengan baut-baut yang dibuat dari logam khusus.

Sama dengan torak, batang torak juga bekerja pada beban tinggi secara berulang-ulang. Temperatur pada batang torak juga masih tinggi karena bersinggungan langsung dengan torak. Dengan alasan tersebut batang torak dibuat dengan baja khusus.

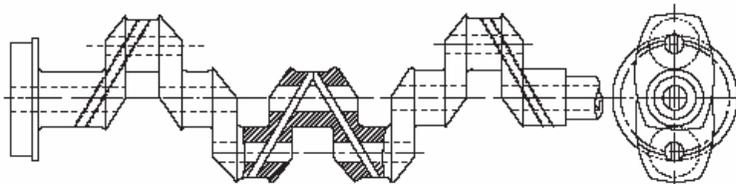
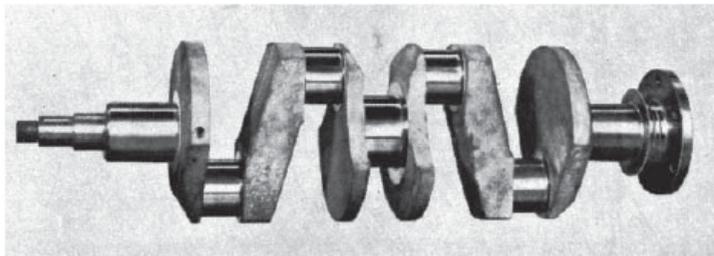
Pada ujung kecil sampai ujung besar dari batang torak diberi lubang pelumas untuk melumasi bagian batang torak mulai dari pin torak sampai pada pin engkol. Pada ujung kecil sistem pelumasnya dengan percikan. Pada bagian ujung besar dipasang bantalan untuk mencegah keausan.



Gambar 13.12 Konstruksi dari batang penghubung

B.5. Poros engkol

Fungsinya sama dengan batang torak yaitu meneruskan tenaga dari torak. Bedanya batang torak melakukan gerakan gabungan translasi dan rotasi, poros engkol hanya bergerak rotasi saja. Adapun konstruksi dari poros engkol dapat dilihat pada gambar. Salah satu bagian dari poros engkol adalah *crank journal* yang ditumpu pada *crankcase* dengan bantalan dan merupakan pusat tumpuan dan putaran. *Crank pin* adalah komponen dari poros engkol dimana batang torak dipasang. Antara *crank journal* dengan *crank pin* dihubungkan dengan *crank arm*.



Gambar 13.13 Poros engkol

Pada bagian ujung dari poros engkol dibuat alur untuk pemasangan roda gigi timing untuk menggerakkan sumbu nok (*chamsaft*) dan puli untuk menggerakkan pompa dan generator. Bagian ujung satunya dipasang roda gaya atau roda penerus. Pada mesin segaris jumlah crank pin sama dengan jumlah silinder dan untuk bentuk V jumlahnya adalah setengahnya. Jumlah *crank journal* bertambah banyak pada mesin putaran tinggi atau beban tinggi.

Putaran poros engkol bervariasi dari putaran rendah sampai putaran tinggi. Beban yang ditanggung oleh poros engkol tidak hanya dari putaran, tetapi juga dari dorong aksial batang penerus, akibatnya poros engkol akan bergetar dan cenderung tidak stabil, bantalan akan cepat aus. Pada mesin multi silinder kondisi ini diatasi dengan mengatur posisi *crank pin* tidak pada satu garis dengan crank journal, tetapi membentuk

sudut tertentu. Disamping itu, pada poros engkol juga dipasang massa penyeimbang (*balance weight*) untuk meyerap energi yang berlebih.

Untuk megurangi getaran dan pembebanan yang tidak merata, urutan pembakaran juga harus diatur sehingga mempunyai waktu yang sama setiap dua putaran poros engkol. Dengan pengaturan tersebut, langkah tenaga menjadi teratur dan dorongan batang torak ke poros engkol bergantian dengan teratur.

B.6. Roda gaya

Pada mesin 4 tak, dalam satu siklus kerja dengan dua putaran poros engkol hanya ada satu langkah tenaga. Ini berarti poros engkol mendapatkan tenaga putar dari langkah tenaga saja, untuk langkah lainnya memerlukan tenaga. Agar dapat bekerja untuk langkah lainnya, poros engkol harus dapat menyimpan energi dari langkah tenaga. Bagian komponen mesin yang berfungsi menyimpan energi atau tenaga putar ini disebut roda gaya atau roda penerus (*fly wheel*).

Roda penerus dipasang pada ujung poros engkol dan dilengkapi dengan *ring gear* yang akan dihubungkan dengan gigi pinion starter. Roda penerus berbentuk piringan dan terbuat dari material besi cor.

B.7. Bantalan

Untuk mecegah keausan karena gesekan-gesekan pada setiap tumpuan-tumpuan dipasang bantalan (*bearing*). Pada poros engkol bantalan dipasang pada *crank jurnal* dan *crank pin*. Untuk membantu mengurangi gesekan dan sekaligus mendinginkan bantalan-bantalan, minyak pelumas dialirkan melalui celah-celah minyak pelumas

Bantalan-bantalan yang digunakan pada jurnal poros engkol disebut dengan bearing utama dan yang digunakan pada bagian ujung besar batang torak disebut bantalan batang torak. Bentuk dari bantalan adalah split yang dipakai pada jurnal poros engkol dan bentuk split tunggal pada bantalan pena torak yaitu *bushing*.



Gambar 13.14 Bantalan

B.8 Mekanik Katup

Katup merupakan komponen mesin yang berfungsi sebagai laluan udara dan bahan bakar masuk silinder (katup masuk) atau sebagai laluan gas sisa pembakaran ke luar silinder (katup ke luar]. Untuk mengatur membuka dan menutupnya katup diperlukan mekanisme katup.

Ada beberapa mekanisme katup yaitu:

[1] Susunan katup sisi (*Side valve*)

Susunan katup sisi konstruksinya sangat sederhana, mekanik katupnya tidak rumit dan dipasang di sisi silinder. Komponennya terdiri dari katup sendiri, pegas katup, pengangkat katup (*valve lifter*), nok dan poros nok. Pergerakan katup membuka dan menutup dilakukan oleh nok pada poros nok yang diterukan oleh pengangkat katup. Poros nok ditempatkan paralel disamping poros engkol. Karena letaknya di bagian sisi silinder dan tidak dikepala silinder, menjadikan konstruksi silinder menjadi sangat sederhana.

[2] Susunan katup kepala (*Overhead valve*)

Mekanik katup terdiri dari katup, *push rod*, *valve lifter*, *rocker arm*. Posisi katup di kepala silinder baik katup hisap atau katup buang. Cara kerja mekanik katup adalah sebagai berikut. Apabila pengangkat katup didorong nok, *push rod* terdorong keatas, *push rod* akan mendorong salah satu ujung dari *rocker arm* dan ujung *rocker arm* yang lainnya akan menekan katup ke bawah dan katup mulai terbuka. Nok kemudian berputar, dorongan *push rod* menjadi hilang, *rocker arm* menjadi bebas, demikian juga katup menutup kembali karena gaya pegas. Seperti yang telah disebutkan bahwa katup terletak pada kepala silinder, posisi ini membentuk ruang bakar yang lebih longgar dengan katup yang dapat diperluas untuk memaksimalkan pengisian.

[3] Susunan katup kepala dengan poros nok di atas kepala silinder

Mekanik katup terdiri dari komponen yang sama dengan jenis yang kedua, perbedaannya terletak pada poros noknya terletak pada kepala silinder (*over head camshaft*). Pengembangan mekanik katup jenis ini adalah untuk menaikkan performasi katup dalam merespon kondisi mesin putaran tinggi. Pada mekanik katup jenis kedua dimana poros nok terletak pada sisi silinder bagian bawah, dalam merespon untuk pembukaan jalannya terlalu panjang, melewati beberapa komponen yaitu *lifter*, *push rod* kemudian *rocker arm* baru menekan katup. Apabila cara kerja disederhanakan yaitu menghilangkan *push rod* dan *lifter*, dengan memasang poros nok di atas kepala silinder, kemudian dilengkapi dengan penumbuk katup (*valve rocker arm*), katup akan lebih cepat merespon pergerakan nok untuk pembukaan dan penutupan.

BAB 14 KELENGKAPAN MESIN

Motor bakar adalah suatu mesin konversi energi yang kompleks. Sumber energi berasal dari energi kimia bahan bakar. Dengan proses pembakaran energi kimia pembakaran akan terlepas menjadi energi panas. Dengan berbagi jenis komponen mesin yang saling bekerja serentak akan mengubah energi panas menjadi energi mekanik poros, yaitu kerja berguna.

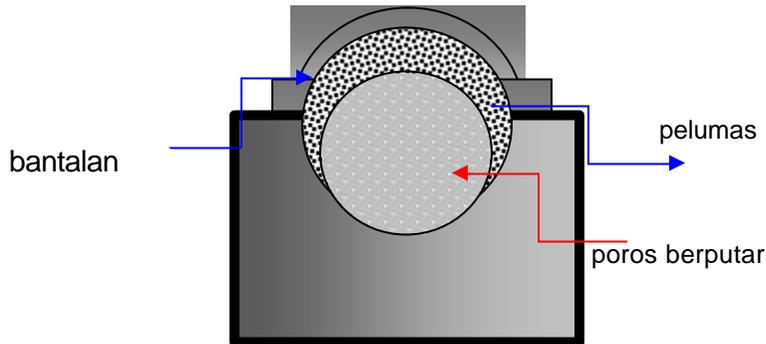
Pada proses peralihan energi diperlukan peralatan bantu yang akan menjamin berlangsungnya proses tersebut dengan lancar dan efisien. Bagian penting yang bergerak pada mesin telah dibicarakan pada pasal terdahulu. Dalam keadaan tersebut, mesin belum dapat bergerak dan hidup sebagaimana mestinya. Untuk itu masih diperlukan kelengkapan-kelengkapan lainnya. Kelengkapan-kelengkapan yang dibutuhkan oleh suatu motor bakar adalah sistem pelumasan, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, sistem pengapian, sistem starter dan sistem pembuangan gas bekas. Dengan kelengkapan mesin tersebut mesin akan bekerja sempurna.

A Sistem Pelumasan

Semua elemen mesin yang terbuat dari logam akan bergerak relatif antara satu dengan lainnya dapat mengalami hambatan yang besar karena gesekan permukaan. Karena hal tersebut, fungsi pelumas menjadi sangat penting. Dengan pelumasan dapat dihindari kontak langsung dari dua bagian logam mesin yang bergesekan. Pada gambar 14.1 diperlihatkan pelumasan poros dengan bantalannya. Komponen-komponen mesin akan terselimuti oleh lapisan pelumas sehingga antara bagian satu dan lainnya seperti tidak bersentuhan. Kondisi akan menimbulkan gaya gesek yang kecil antara komponen mesin. Secara garis besar fungsi pelumasan adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi gesekan yang timbul antar komponen mesin sehingga pergerakan komponen mesin menjadi lebih ringan.
2. Menyerap panas yang timbul karena pergesekan antara komponen-komponen mesin, hal ini menguntungkan karena komponen mesin terhindar dari *overheating* atau panas berlebih.
3. Khusus pada pelumasan di silinder akan memperbaiki kerapatan antara torak dan silinder.
4. Mencegah abrasi dan korosi komponen-komponen mesin.

Untuk menjamin keberlangsungan proses pelumasan pada waktu operasi mesin sehingga komponen-komponen mesin terlumasi semua, pelumas harus disirkulasikan. Sistem yang menjamin keberlangsungan proses pelumasan pada mesin disebut sistem pelumasan.



Gambar 14.1 Pelumasan pada bantalan

A.1. Minyak pelumas

Pelumas merupakan zat cair yang mempunyai kekentalan tinggi yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Untuk menambahkan kemampuannya, pelumas banyak dicampur dengan bahan aditif. Selain dari pengolahan minyak bumi, adapula yang diperoleh dari bahan-bahan organik lainnya, misalnya minyak jarak, minyak sawit dan kastrol. Agar pelumas mempunyai kemampuan pelumasan yang baik maka pelumas yang baik harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

1. Viskositas minyak mesin harus sesuai dengan jenis operasi mesin yang bersangkutan. Jika viskositasnya terlampau rendah akan mengakibatkan *overheating* pada mesin. Sebaliknya jika viskositas minyak tersebut terlampau tinggi, tahanan gesek akan bertambah sehingga mungkin mesin sukar dihidupkan.
2. Memiliki daya pelapisan atau kelekatan yang baik pada permukaan logam atau komponen-komponen mesin.
3. Tidak mudah bercampur dengan barang-barang lainnya (kotoran-kotoran)
4. Memiliki titik nyala yang tinggi dan sukar menguap sehingga pelumas tidak mudah terbakar pada suhu tinggi.
5. Mempunyai koefisien perpindahan panas konduksi yang baik sehingga mudah memindahkan panas.
6. Mempunyai titik beku yang rendah, hal ini dibutuhkan pada kondisi mesin yang bekerja pada daerah dingin.

Secara garis besar pelumas diklasifikasi menurut tiga hal yaitu bahan asal pelumas, viskositas, dan yang terakhir menurut penggunaannya. Uraian adalah seperti di bawah ini:

a. Penggolongan menurut bahan asal

Pelumas dibedakan menjadi dua yaitu pelumas mineral dan sintetis. Pelumas mineral dibuat dari bahan dasar (*base oil*) yang berasal dari minyak mentah (*crude oil*), dengan tambahan aditif sekitar 10-20%. Sedangkan pelumas sintetis dibuat dari unsur-unsur kimia sintetis, baik bahan dasarnya maupun aditifnya. Bahan kimia yang banyak diaplikasikan sebagai pengganti minyak mentah adalah *polyalphaolefins*, *ester berbasis dua*, *ester organofosfat*, *ester silikat*, *glikol polialkilena*, *silikon* atau *fluor hidrokarbon*. Karena mengandalkan bahan sintetis dan proses pembuatannya pun cukup rumit, maka harga pelumas sintetis menjadi jauh lebih mahal dari pelumas mineral.

Pelumas sintetis dipakai pada mesin-mesin yang dioperasikan dalam kondisi kerja yang berat, mobil balap yang terus menerus dipacu pada rpm tinggi, atau pada kondisi "stop and go", atau kalau memang itu direkomendasikan oleh pembuat mesin. Pelumas sintetis juga diperlukan di daerah yang beriklim sangat dingin seperti di Eropa atau sangat panas di daerah gurun. Dalam kondisi cuaca yang sangat dingin, oli mineral umumnya membeku. Pelumas sintetis memiliki kestabilan cair yang alami, yang memberikan aliran pelumas yang lebih baik di dalam mesin meski temperatur sangat rendah. Pelumas sintetis memang mempunyai kelebihan dibanding oli mineral. Pelumas sintetis umumnya memiliki rentang kekentalan yang sangat luas atau besar sehingga lebih fleksibel beradaptasi terhadap berbagai perubahan temperatur. Bahkan ada oli sintetis yang tingkat kekentalannya sangat ekstrim, misalnya SAE 10W-60 atau 5W-50. Pelumas dengan kekentalan seperti itu dapat disebut "dingin tidak beku, panas tidak encer".

b. Penggolongan menurut viskositas

Viskositas minyak pelumas sangat bergantung terhadap perubahan temperatur. Pada temperatur yang tinggi minyak pelumas cenderung encer dan pada temperatur yang rendah cenderung kental. *Society of Automobile Engineers* [SAE] yang berkedudukan di Amerika Serikat menggolongkan pelumas berdasarkan penomoran SAE. Dalam keadaan suhu yang sama, semakin besar nomor SAE nya menandakan semakin besar pula viskositasnya. Pada umumnya mobil menggunakan minyak pelumas SAE 5 sampai dengan SAE 70. Minyak pelumas SAE 40 biasanya dipakai untuk musim panas, sedangkan untuk musim dingin dipakai SAE 20. Untuk musim semi dan musim gugur dapat dipakai SAE 30 [Tabel 14.1]. Untuk pelumas-pelumas yang dipakai mesin yang beroperasi pada daerah bertemperatur rendah SAE menggunakan huruf "W" [winter], sebagai contoh 5W-20, 5W-30, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 14.2. Pada umumnya penomoran dengan simbol "W" dengan viskositas yang sama dengan penomoran tanpa "W" mempunyai keunggulan kemampuan pelumasan yang sangat baik pada daerah dingin, hal ini karena pelumas dapat lebih encer dan mudah bersirkulasi untuk

pelumasan, terutama pada waktu start awal dengan kondisi mesin dingin. Sebagai contoh "10W-30" mempunyai kemampuan yang sama dengan pelumas SAE 10W yang bagus pelumasannya pada daerah dingin tetapi mempunyai viskositas yang sama dengan SAE 30 pada $T = 100^{\circ}\text{C}$ jadi penomorannya digabung menjadi "10W-30".

Tabel 14.1 Penomoran SAE dan viskositasnya

SAE Viscosity Grade	Viskositas pelumas(CentiStokes @ 100°C
10	4.00 (2 - 5)
20	7.45 (6 - 8)
30	10.90 (9 - 12)
40	14.40 (13 - 16)
50	19.10 (17 - 21)

Tabel 14.2 penomoran SAE "W"

SAE Viscosity	Viskositas pelumas(CentiStokes @ 100°C
0W	3.8
5W	3.8
10W	4.1
15W	5.6
20W	5.6
25W	9.3

Tabel 14.3 penggunaan SAE 16.3 seri x"W-y

Temperatur lingkungan	Tipe SAE untuk mobil penumpang
0°C	5W-20, 5W-30, 10W-30, 10W-40, 20W-50
-18°C	5W-20, 5W-30, 10W-30, 10W-40
$< -18^{\circ}\text{C}$	5W-20, 5W-30

b. Penggolongan menurut penggunaannya

Untuk memperoleh hasil pelumasan yang baik maka minyak lumas dibagi dalam beberapa jenjang disesuaikan dengan penggunaannya.

Tabel 14.4 Pemakaian pelumas menurut penggunaan

Jenis Pelumas	Penggunaan
Jenis ML	Dipakai untuk motor-motor bensin yang beroperasi ringan. Jenis minyak ini tidak mengandung <i>additive</i> .
Jenis MM	Dipakai pada mesin-mesin bensin kerja sedang, mengandung bahan tambah <i>oxidation inhibitor</i> yang bersifat mencegah terjadinya karat (oksidasi).

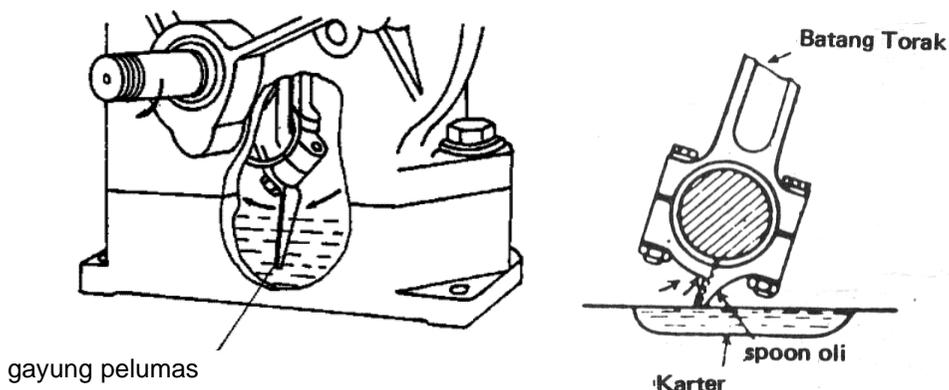
Jenis Pelumas	Penggunaan
Jenis MS	Dapat dipakai untuk motor bensin yang beroperasi berat.
Jenis DG	Digunakan untuk motor-motor diesel yang beroperasi normal, dapat juga digunakan untuk motor bensin. Minyak ini mengandung detergen untuk mencegah pembentukan karbon. Selain itu terdapat juga <i>oxidation inhibitor</i> . Umumnya jenis minyak inilah yang banyak digunakan.
Jenis DM	Digunakan untuk motor-motor diesel yang beroperasi berat, dapat juga digunakan untuk motor bensin. Selain mengadung bahan tambahan, juga mengandung <i>pour point depressant</i> , sehingga minyak ini masih dapat memenuhi syarat walaupun bekerja pada suhu operasi yang tinggi. Oleh karena itu jenis ini disebut juga minyak bermutu tinggi (<i>high grade oil</i>).
Jenis DS	Biasanya dipakai untuk motor-motor diesel yang menggunakan bahan bakar bermutu rendah. Jenis ini masih mengandung bermacam-macam bahan tambahan dan harganya pun mahal, sehingga jarang yang menggunakannya.

A.2. Model pelumasan

Bagian-bagian yang bergerak dalam mesin dilumasi dengan empat macam cara yaitu dengan cara percikan (*splash*), tekanan (*force feed*), gabungan dari percikan serta tekanan, yang terakhir adalah pelumasan campur bahan bakar dengan pelumas (*patrol lubrication*).

a. Sistem percikan

Minyak lumas akan terbawa oleh batang spoon atau dipper pada waktu piston bergerak ke bawah kemudian pelumas dipercikkan oleh ujung bagian bawah *connecting rod* kepada dinding silinder dan bearing. Konstruksi sistem percikan cukup sederhana, tetapi kendalanya ialah bahwa minyak lumas sangat sulit melalui celah-celah yang sempit. Oleh karenanya sistem ini sekarang jarang sekali digunakan. [gambar 14.2]

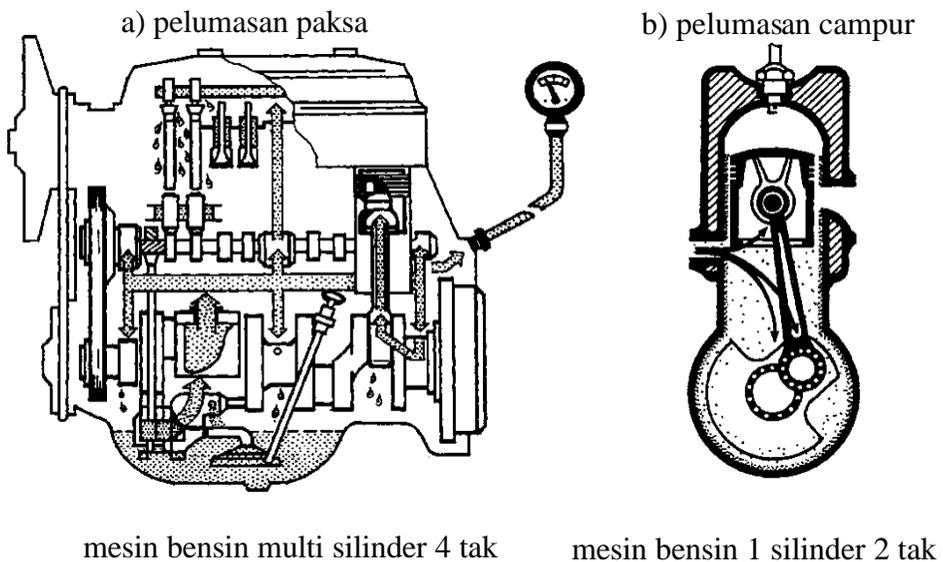


Gambar 14.2 Proses pelumasan percikan

b. Sistem penyaluran paksa

Mesin yang kompleks terutama pada multisilinder mempunyai banyak bagian-bagian yang sempit dan jauh dari jangkauan tangki pelumas. Padahal semua komponen tersebut harus dilumasi, untuk itu diperlukan sistem pelumasan yang mampu mensirkulasikan pelumas ke

seluruh komponen atau bagian mesin yang membutuhkan. Untuk mensirkulasikan minyak pelumas, pelumas dipompa sehingga mempunyai energi yang cukup untuk sampai ke bagian-bagian yang harus dilumasi dengan tekanan tertentu. Minyak pelumas terkumpul dalam karter dihisap oleh pompa minyak melalui saringan minyak. Dari sini minyak disalurkan ke bagian-bagian mesin melalui lubang-lubang minyak yang terdapat pada blok silinder, poros engkol dan sebagainya. Sesudah minyak melakukan pelumasan pada bagian-bagian mesin, minyak kembali lagi ke karter.[gambar 14.3]



a) pelumasan paksa

b) pelumasan campur

mesin bensin multi silinder 4 tak

mesin bensin 1 silinder 2 tak

Gambar 14.3 Proses pelumasan paksa dan campur

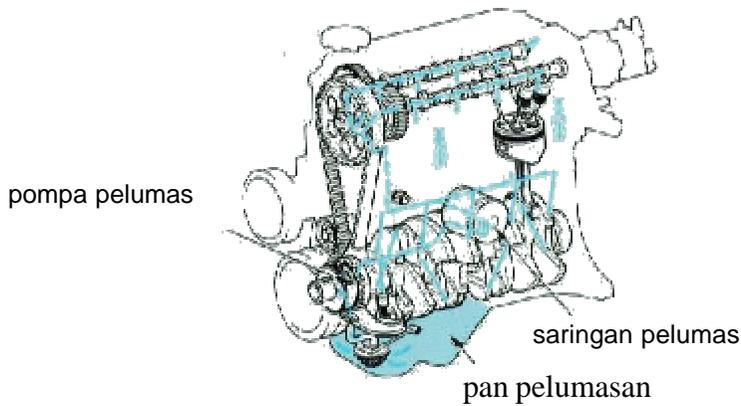
Keuntungan dengan sistem ini bahwa semua bagian-bagian pada mesin dapat dilumasi dengan baik. Kerugiannya jika pompa minyak rusak, maka sistem ini tidak dapat bekerja.

c. Sistem kombinasi percikan dan tekanan

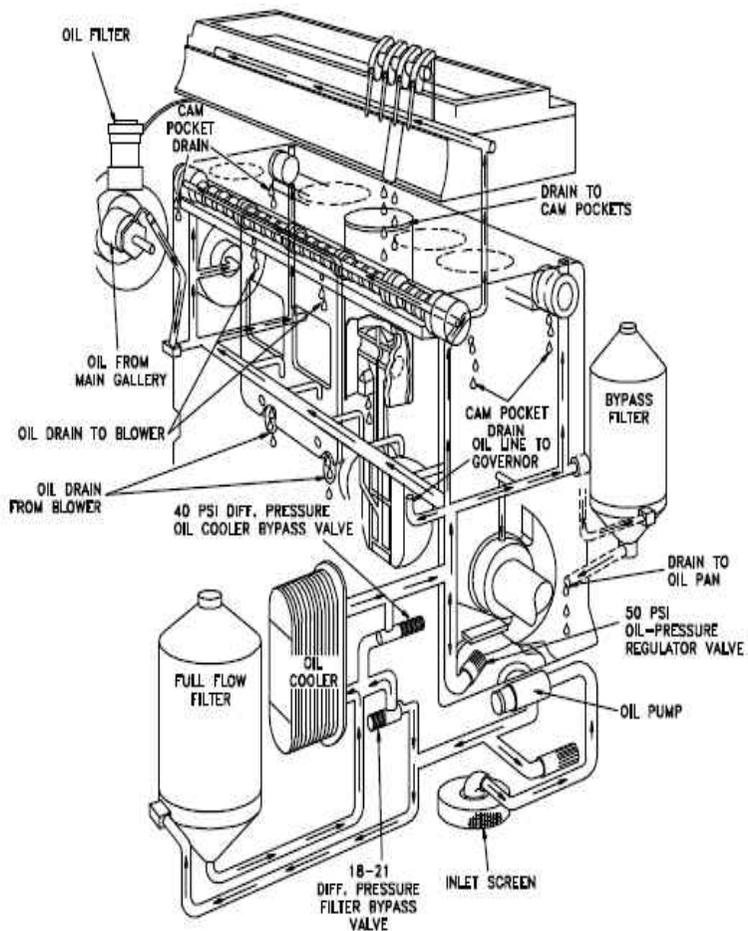
Dalarn sistem ini dipergunakan kedua sistem, sistem percikan dan tekanan.

d. Sistem campuran bahan bakar pelumas.

Sistem ini dipakai pada motor dua langkah (2 tak). Pelumas dan bahan bakar dengan komposisi campuran kurang lebih 1: 30 sampai 1 :50 akan berfungsi sebagai pelumas dan sekaligus perapatan antara silinder dan piston pada waktu mesin bekerja. Kerugiannya adalah pelumas ikut terbakar sehingga metode ini sangat boros pelumas [gambar 14.3b]



Gambar 14.4 Komponen pelumasan dan sirkulasi pelumas



Gambar 14.5 Komponen-komponen pelumasan pada mesin disel

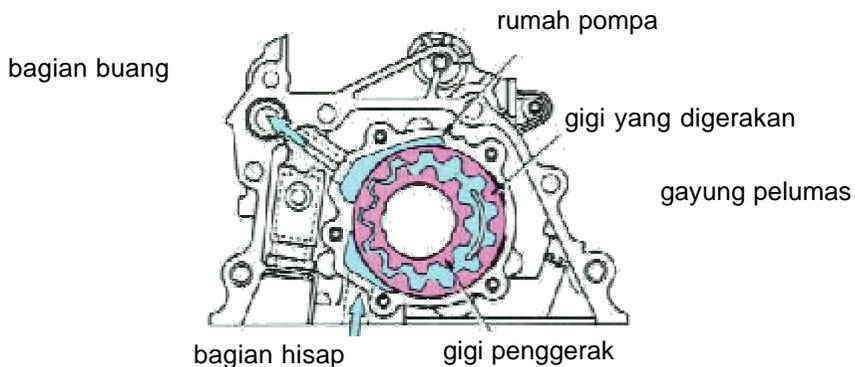
A.3. Bagian-bagian utama pada sistem pelumasan tekan

A.3.1 Pompa pelumas

Pompa adalah alat untuk menaikkan energi fluida yang pada sistem pelumasan ini fluidanya berupa minyak pelumas dengan kekentalan tinggi. Pompa pelumas menghisap pelumas dari karter dan menyalurkan ke seluruh bagian bagian mesin. Saringan minyak dipasangkan sebelum lubang masuk pompa untuk menyaring kotoran-kotoran. Pompa minyak digerakkan oleh batang distributor atau gigi sumbu nok. Pompa minyak yang banyak digunakan adalah model roda gigi dan model rotor.

a. Pompa pelumas model roda gigi

Sistem pelumasan pada mesin membutuhkan pompa yang mampu mesirkulasikan pelumas dengan debit yang rendah tetapi harus mempunyai tinggi tekan yang besar (head tinggi). Pompa yang cocok dengan kondisi ini adalah pompa perpindahan positif model roda gigi. Pompa model roda gigi ini terdiri dari body dan dua buah roda gigi yang berkaitan di dalam body. Bila salah-satu dari roda-roda gigi ini berputar, maka roda gigi lainnya akan berputar berlawanan arah. Karena itu, minyak yang terdapat di antara celah-celah roda gigi dan body didesak ke luar dari lubang masuk ke lubang buang. Pompa minyak ini mempunyai konstruksi yang sederhana dan dapat bekerja dengan baik.

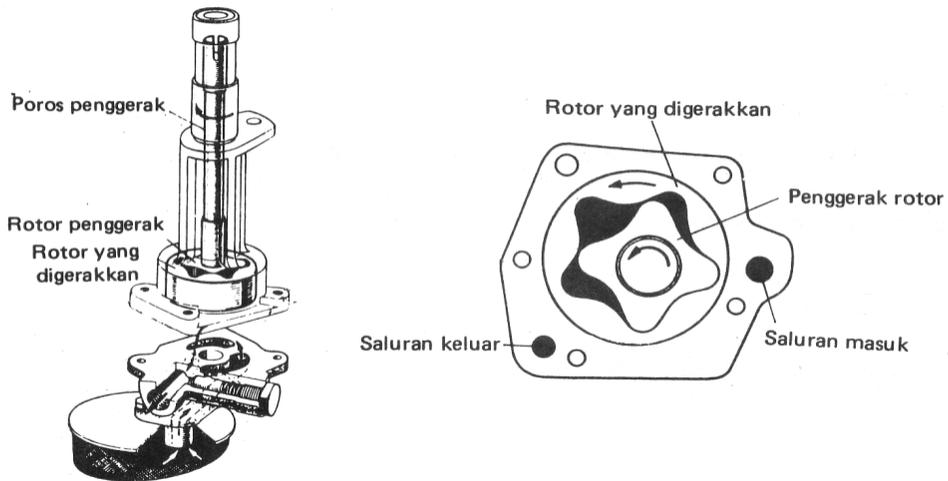


Gambar 14.6 Pompa minyak pelumas jenis roda gigi

b. Pompa model rotor

Model pompa roda gigi yang lain yang sering dipakai adalah model pompa rotor. Pada pompa model ini rotor penggerak (*drive rotor*) dan rotor yang digerakan (*driven rotor*) berkaitan bersama dalam pompa body seperti terlihat pada gambar. Poros drive rotor dibuat eksentrik terhadap bodinya, dengan demikian pada waktu drive rotor berputar, driven rotor juga berputar dan volume ruangan di antara rotor-rotor itu akan berubah-ubah. Minyak masuk melalui saluran masuk yang terdapat pada ruang di antara rotor-rotor dan diteruskan ke bagian lainnya dengan jalan memperkecil ruangan *drive* dan *driven rotor*. Pompa minyak ini mem-

punyai kemampuan kerja yang sama dengan pompa minyak model roda gigi. Keuntungan lainnya ialah, pompa minyak mempunyai bentuk yang lebih kecil sehingga banyak sekali digunakan.

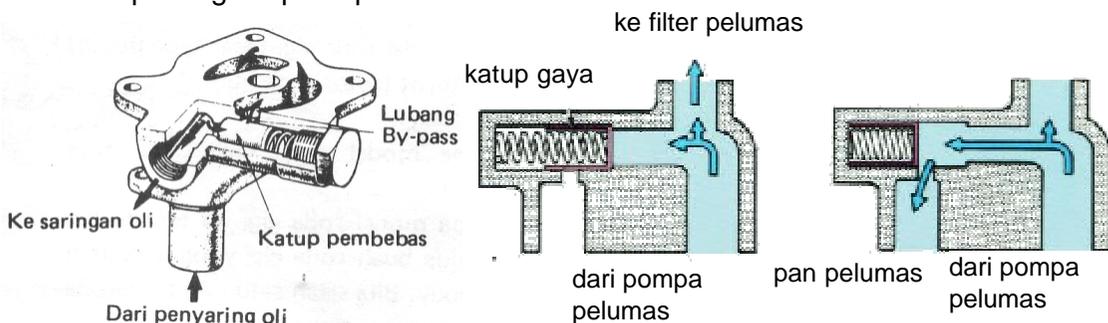


Gambar 14.7 Pompa roda gigi jenis rotor

A.3.2. Regulator minyak pelumas

Sirkulasi minyak pelumas harus diatur sehingga debitnya sesuai dengan yang dibutuhkan. Untuk kepentingan tersebut pada sistem pelumasan selalu dipasang regulator minyak. Hal ini untuk mengatasi kelebihan minyak pelumas apabila mesin bekerja dengan putaran tinggi. Regulator tekanan minyak akan mengatur tekanan minyak agar tidak terjadi penyaluran yang berlebihan.

Pengatur tekanan minyak ini terdiri dari katup yang biasanya berbentuk bola beserta pegasnya dan dipasang pada saluran minyak yang terdapat pada pompa minyak. Tekanan minyak harus mengalir pada kondisi tekanan tertentu. Jika kondisi tersebut tidak tercapai, maka akan timbul gangguan dan kesulitan. Kondisi tekanan minyak ini dapat terlihat pada penunjuk tekanan minyak atau pada lampu isyarat yang dipasang pada panel instrumen.



Gambar 14.8 Pengatur tekanan minyak

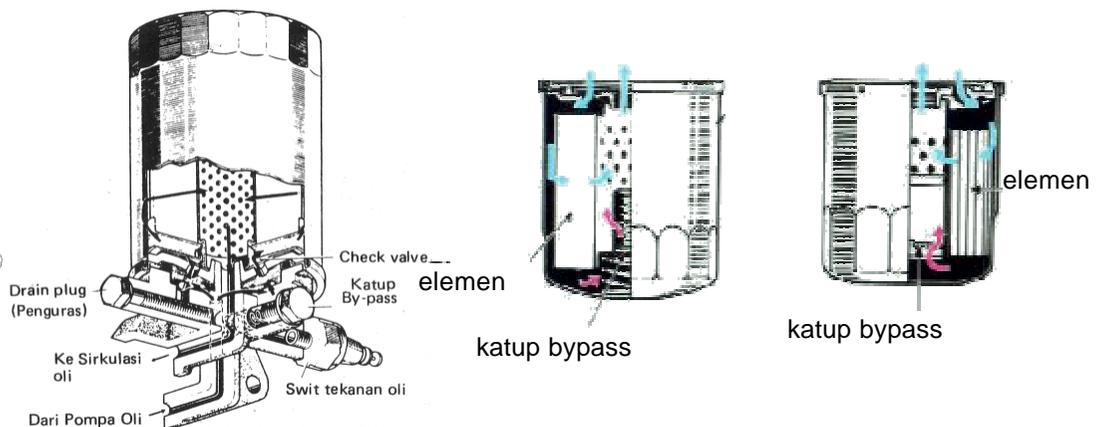
Bila minyak mengalir dalam keadaan normal, lubang bypass tertutup oleh katup. Tetapi bila jumlah minyak yang mengalir bertambah, tekanan minyak baik dan akan membuka katup sehingga kelebihan minyak akan mengalir kembali ke karter melalui lubang bypass.

A.4. Sistem ventilasi karter

Pelumas pada tangki pelumas (karter) harus dijaga jangan sampai terlalu banyak terkontaminasi dengan air, karena hal tersebut sangat merugikan yaitu menimbulkan korosi pada logam komponen mesin. Untuk keperluan tersebut pada bak karter dipasang ventilasi. Sistem ventilasi ini berfungsi menjaga kekentalan dan kemurnian minyak lumas dari kontaminasi uap air. Penjelasan nya adalah sebagai berikut, suhu di dalam bak engkol akan naik pada saat mesin bekerja. Pada keadaan ini bahan-bahan yang tidak terbakar beserta air akan berada dalam kondisi uap. Bahan-bahan tersebut harus segera dibuang. Untuk itu dipasangkan pipa ventilasi yang menghubungkan bak engkol dengan udara luar.

A.5. Saringan minyak pelumas

Fungsi utama pelumas adalah untuk mengurangi gesekan langsung antar komponen mesin sehingga permukaan terhindar dari keausan. Akan tetapi untuk dalam jangka waktu tertentu pelumasan akan menjadi kurang efektif karena beberapa alasan, seperti beban mesin yang berlebih, pelumas yang usang tidak diganti. Kondisi ini menyebabkan keausan pada permukaan karena abrasi, korosi dan lainnya, minyak pelumas menjadi kotor mengandung partikel-partikel logam, kotoran dari udara (abu dan debu), karbon dan bahan-bahan lainnya yang masuk ke dalam minyak lumas tersebut. Bagian-bagian yang berat akan mengendap, sedangkan bagian-bagian yang ringan akan ikut terbawa melumasi mesin. Akibatnya akan memperbesar keausan dan kemungkinan terjadinya panas yang berlebihan (*overheating*).



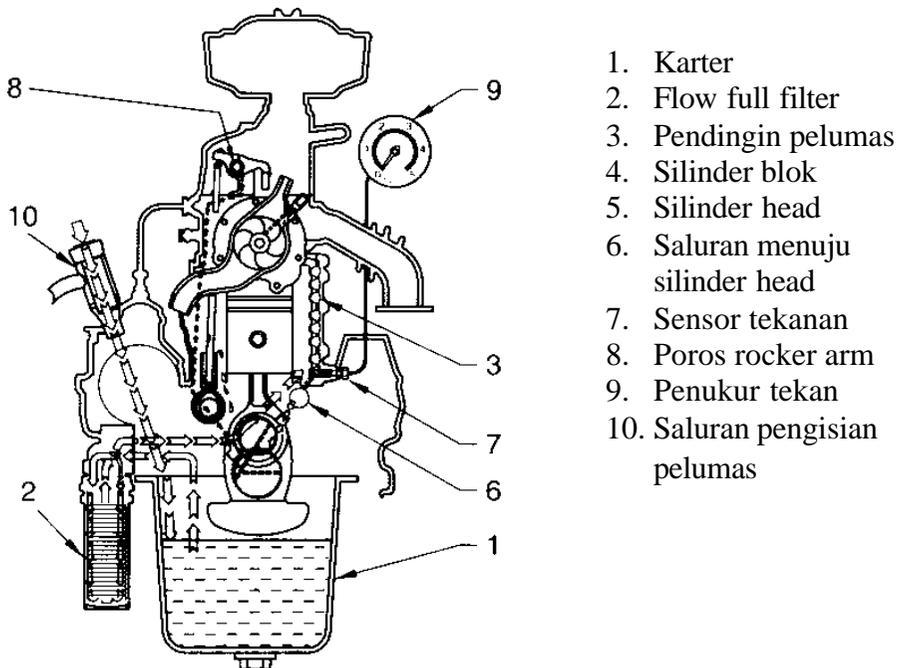
Gambar 14.9 Peredaran minyak pelumas dan penyaring minyak

Untuk mengatasi hal tersebut pada sistem pelumasan termasuk komponen pelumasan dipasang saringan pelumas. Saringan pelumas akan menyaring kotoran-kotoran. Ada kalanya minyak lumas dibersihkan melalui saringan hanya sebagian saja, tetapi adapula seluruhnya. Cara penyaringan sebagian disebut *partial flow type*, sedangkan penyaringan seluruhnya disebut *full flow type* [gambar 14.9]

Saringan minyak biasanya dipasangkan di bagian luar mesin untuk memudahkan penggantian elemen saringan [gambar 14.10]. Gambar 14.10 memperlihatkan cara kerja saringan minyak. Minyak lumas mengalir dari pompa melalui elemen saringan dan dibersihkan dari semua kotoran.

A. 6. Tangkai pengukur minyak

Pelumas yang dipakai akan berkurang volumenya karena beberapa sebab, misalnya kebocoran, terbakar, dan sebab lainnya. Hal ini dapat menyebabkan proses pelumasan mejadi tidak efektif. Untuk mendeteksi jumlah minyak yang bersirkulasi di dalam mesin digunakan tangkai pengukur volume minyak pelumas. Pemeriksaan dilakukan dengan menempatkan kendaraan pada tempat yang datar, kemudian dengan mencabut batang pengukur akan terlihat banyaknya minyak dalam bak engkol serta terlihat pula kualitasnya. Pada tangkai pengukur tersebut terdapat huruf-huruf F dan L. Bila minyak terlihat berada di antara F dan berarti volumenya cukup. Di atas F berarti berlebihan sedangkan di bawah L berarti harus ditambah.



1. Karter
2. Flow full filter
3. Pendingin pelumas
4. Silinder blok
5. Silinder head
6. Saluran menuju silinder head
7. Sensor tekanan
8. Poros rocker arm
9. Penukur tekan
10. Saluran pengisian pelumas

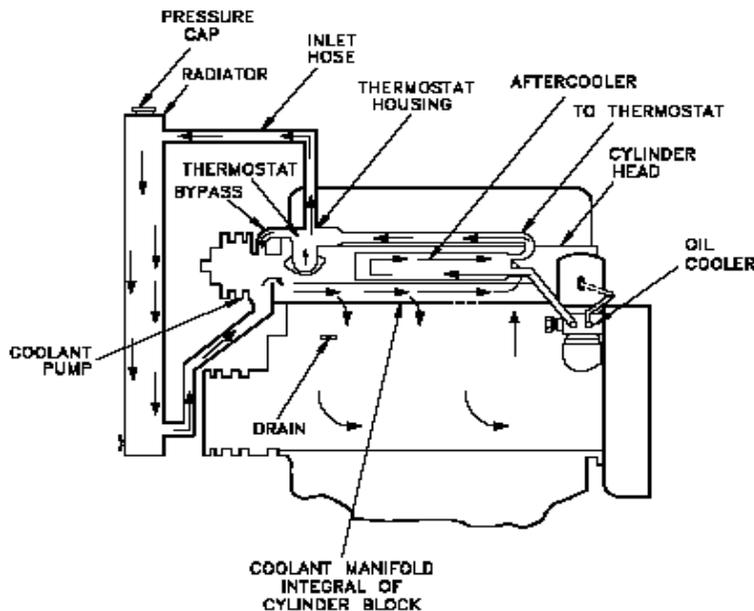
Gambar 14.10 Sirkulasi pelumas pada mesin multisilinder

B. Sistem Pendinginan

Mesin bensin merupakan mesin panas yang mengubah energi kimia bahan bakar melalui proses pembakaran. Dari proses pembakaran tersebut dihasilkan energi yang akan digunakan untuk menjalankan kendaraan. Tidak semua energi dapat diubah menjadi energi berguna, tetapi hanya kira-kira 25% digunakan sebagai tenaga penggerak, sebagian lainnya sekitar 45% hilang terbawa gas buang dan hilang akibat gesekan-gesekan, sedangkan sisanya kira-kira 30% diserap oleh bagian-bagian mesin itu sendiri.

Panas yang diserap ini harus segera dibuang untuk menghindari panas yang berlebihan yang dapat pula mengakibatkan mesin menjadi retak dan terjadi kegagalan operasi mesin. Untuk itu sistem pendinginan dimaksudkan untuk mengatasi keadaan tersebut. Selain itu juga untuk memelihara suhu yang tetap dalam mesin, sebab mesin yang terlampaui dingin akan mengakibatkan pemakaian bensin menjadi boros.

Secara garis besar pendinginan mesin dibagi menjadi dua, yaitu dengan pendinginan air dan pendinginan udara. Pemilihan sistem pendinginan menggunakan udara atau pendinginan air bergantung dari jenis mesinnya. Kebanyakan untuk mesin multisiylinder menggunakan pendinginan air.

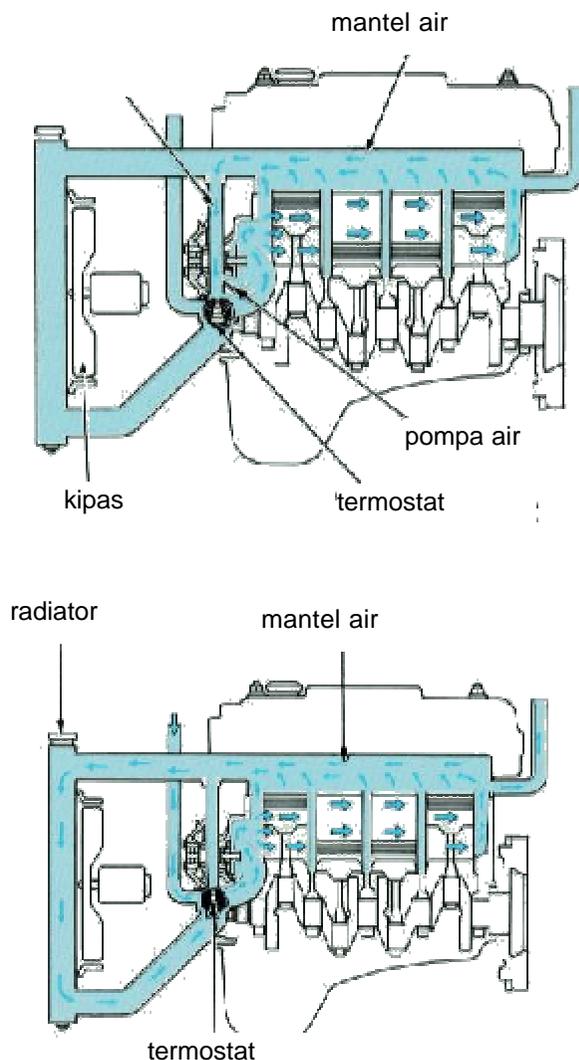


Gambar 14.11 Proses pendinginan pada mesin

B.1. Pendinginan air

Air mempunyai keunggulan dibanding dengan fluida zat cair lainnya yaitu mempunyai kemampuan untuk menyerap panas yang baik. Dengan

alasan tersebut air banyak dimanfaatkan untuk pendinginan. Di dalam sistem pendinginan air [gambar 14.12], pada blok silinder terdapat mantel pendingin yang menyelubungi silinder-silinder motor, kepala silinder. Mantel pendingin berhubungan dengan radiator yang dipasang di bagian depan mesin. Air yang telah panas dalam mantel dialirkan ke radiator untuk didinginkan. Pendinginan air ini dilakukan oleh udara yang mengalir melalui kisi-kisi radiator, sedangkan tarikan udara dilakukan oleh kipas yang digerakkan oleh mesin. Dibandingkan dengan pendinginan udara, pengontrolan suhu pendinginan dalam sistem ini ternyata lebih mudah. Selain itu dapat pula diperoleh hasil pendinginan yang merata.



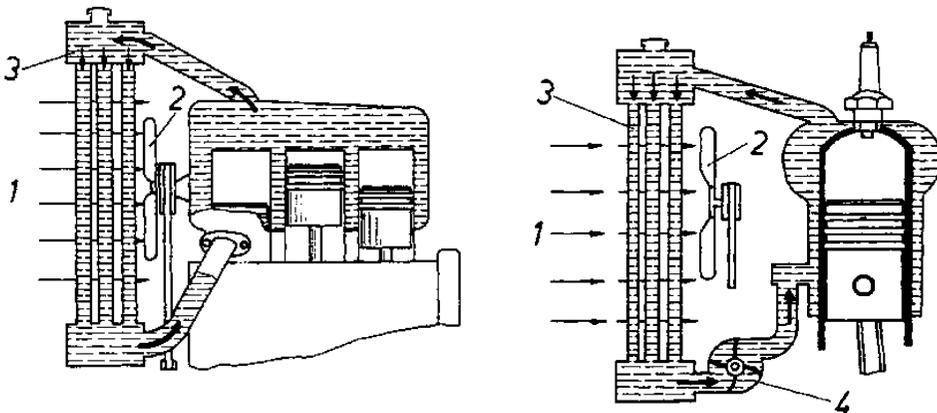
Gambar 14.12 Sirkulasi pendingin air pada kondisi mesin dingin dan mesin panas

Untuk mengatur temperatur kerja air pendingin agar tetap stabil, pada sistem pendinginan dipasang termostat atau katup pengatur sirkulasi yang merespon temperatur. Pada gambar 14.13 terlihat dua model sirkulasi air pendingin. Model A, temperatur mesin masih dingin, sirkulasi air masih di dalam mesin termostat masih menutup sehingga air pendingin belum mengalir ke radiator. Model B, temperatur mesin sudah di atas temperatur kerja, termostat membuka sehingga air pendingin mengalir ke radiator untuk didinginkan.

Sirkulasi air pendingin melalui dua cara yaitu a. Sirkulasi alam (*natural circulation*) b. Sirkulasi tekanan (*forced circulation*)

a. Sirkulasi alam.

Karakteristik air sangat bergantung dari perubahan suhu, seperti berat jenis air akan berubah apabila suhu berubah. Sifat seperti ini dimanfaatkan untuk proses sirkulasi pada sistem tertutup pada saluran. Pada sistem pendinginan dengan sistem seperti ini disebut dengan sistem sirkulasi alam [gambar 14.13]. Penjelasan adalah sebagai berikut, berat jenis air akan turun bila suhunya bertambah, dengan kata lain air lebih ringan dan apabila suhunya turun berat jenis akan naik atau air lebih berat. Sirkulasi alam bekerja atas dasar adanya perbedaan berat jenis air tersebut. Air yang telah panas (lebih ringan) di dalam mesin akan naik ke bagian atas radiator [3] kemudian didinginkan dengan udara [1] dari kipas [2] akibatnya suhunya turun dan mengalir ke bagian bawah radiator untuk seterusnya masuk kembali ke dalam mesin.



sirkulasi alam

sirkulasi paksa

Gambar 14.13. Model sirkulasi air pendingin

Sistem pendinginan sirkulasi alam hanya cocok dipakai pada mesin-mesin beban ringan. Hal ini karena jumlah panas per satuan waktu yang dapat diambil oleh sistem pendinginan ini relatif kecil. Untuk volume air yang bersirkulasi besar pada mesin-mesin beban lebih berat, sirkulasi

alam sangat tidak efektif, karena waktu yang diperlukan untuk pendinginan tidak cukup.

b Sirkulasi paksa

Untuk memperbesar jumlah panas yang dapat diambil tiap satuan waktu, sirkulasi air harus dibantu dengan menggunakan pompa sehingga laju aliran air sirkulasi akan bertambah. Pompa air dipasang dibagian atas mesin, diputarakan melalui tali kipas (fanbelt). Air mengalir dari mesin melalui pompa untuk diteruskan menuju radiator. Dan setelah didinginkan selama melalui radiator, air ini kembali lagi masuk ke mesin. Kondisi pendinginan menurut sistem ini lebih baik daripada sistem sirkulasi alam.

B.1.1 Komponen komponen sistem pendinginan

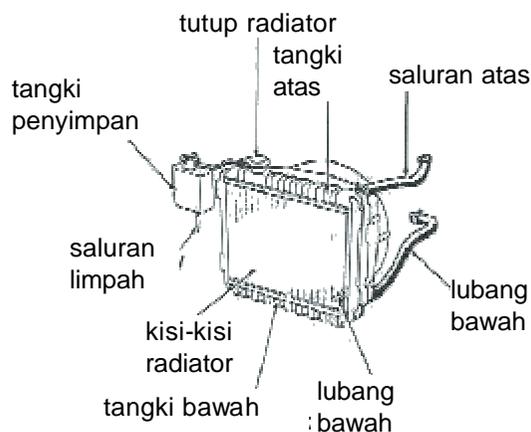
Komponen-komponen yang penting antara lain meliputi mantel pendingin, radiator, pompa air, termostat, kipas, dan selang sirkulasi.

a. Mantel pendingin

Pada blok mesin yang menggunakan sistem pendinginan air selalu terdapat mantel pendingin yang mengelilingi silinder-silinder dan kepala silinder. Mantel pendingin tersebut berfungsi untuk mendinginkan bagian-bagian silinder dan ruang bakar secara efektif karena bagian-bagian ini cepat sekali menjadi panas.

Pada gambar 14.12 terlihat mantel pendingin pada kepala silinder dan blok silinder dibuat sedemikian rupa sehingga dapat berhubungan satu dengan lainnya. Mantel pendingin kepala silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian atas dan mantel pendingin blok silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian bawah. Di bagian bawah blok silinder dilengkapi dengan kran pembuang air untuk membuang air pendingin.

b. Radiator



Gambar 14.14 Radiator

Proses pendinginan air terjadi pada radiator. Radiator dipasangkan di bagian depan kendaraan. Radiator terdiri dari dua buah tabung air yang terletak di bagian atas dan bawah. Kedua tabung ini dihubungkan oleh kisi-kisi pendingin. Pada tabung air yang terletak di bagian atas radiator terdapat lubang pengisian air, pipa pemasukkan air dari mantel dan pipa pembuangan. Sedangkan pada tabung lainnya yang terletak di bagian bawah terdapat keran pembuang air dan pipa air yang menghubungkan bagian ini dengan mantel air pada mesin.

Kisi-kisi pada radiator terdiri dari beberapa saluran air yang biasanya berbentuk pipa yang pipih. Air dari tabung atas mengalir melalui saluran ini menuju tabung bawah. Agar jumlah panas yang terserap lebih banyak, pada kisi-kisi ini dipasangkan sirip-sirip pendingin, sehingga luas permukaan yang didinginkan menjadi lebih besar.

Udara yang dihisap kipas mengalir melalui sirip-sirip tadi dan mengambil panas sebanding dengan jumlah udara yang mengalir per satuan waktu serta perbedaan suhu antara sirip-sirip itu sendiri. Pada saat kendaraan berjalan, jumlah aliran udara yang melalui sirip-sirip tadi bertambah.

c. Pompa air

Pompa air berfungsi memberikan tenaga kepada air untuk dapat melakukan peredarannya. Untuk itu biasanya digunakan pompa sentrifugal yang dipasangkan di bagian depan blok silinder. Gerak putar pompa diperoleh dari putaran poros engkol melalui tali kipas (*fan belt*).

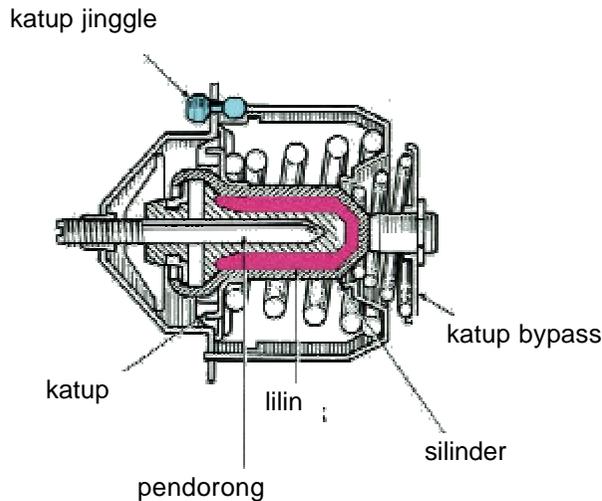
d. Termostat.

Suhu kerja mesin yang terbaik terjadi manakala air pendingin mencapai suhu 800-900°C. Suhu tersebut harus dapat dicapai dengan cepat segera setelah mesin hidup. Selain itu dalam keadaan cuaca dingin, mesin harus tetap dalam kondisi suhu kerjanya. Untuk maksud tersebut mesin dilengkapi dengan thermostat

Thermostat adalah semacam katup otomatis yang bekerja atas dasar pengaruh suhu air pendingin dan biasanya dipasang di dalam saluran air yang ke luar dari kepala silinder. Termostat akan menutup bila suhu air pendingin masih rendah dan baru akan membuka setelah suhu air cukup tinggi.

Dewasa ini dikenal dua macam termostat, yaitu model *bellow* dan model *wax*. Pada model yang pertama, *bellow* tembaga diisi dengan cairan yang mudah menguap (*volatile liquid*) seperti ethyl atau methyl alkohol. Apabila suhunya rendah, maka *bellow* akan mengerut dan menutup katup sehingga air yang mengalir menuju radiator terhenti. Dengan demikian sirkulasi air hanya terjadi pada mantel air sampai suhunya segera naik. Jika telah panas, *volatile liquid* akan memuai dan membuka katup.

Pada umumnya sekarang ini banyak dipakai model wax. Cara kerjanya sama dengan model bellow, hanya pada jenis ini digunakan sifat suhu ekspansi parafin untuk membuka dan menutup katupnya.



Gambar 14.15 Termostat

e. Kipas

Kipas berfungsi menyempurnakan sistem pendingin pada radiator dengan jalan mempercepat aliran udara pada saat mesin hidup. Gerak putar kipas diperoleh dari poros engkol melalui tali kipas bersamaan dengan berputarnya pompa.

f. Pipa-pipa pada sistem pendingin.

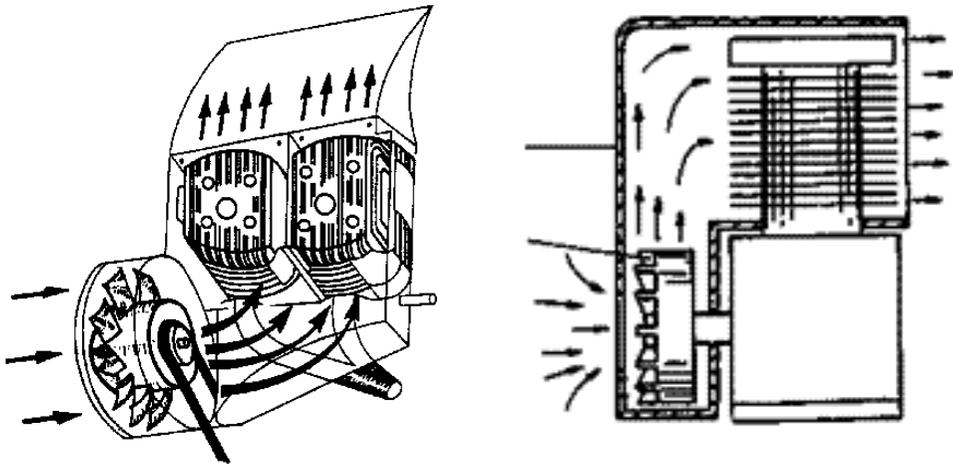
Pipa-pipa yang menghubungkan komponen-komponen pada sistem pendingin terbuat dari karet agar dapat menyerap getaran dan mudah memasang atau melepaskannya. Pipa di bagian atas disebut pipa outlet dan dibagian bawah disebut pipa inlet .

B.2 Pendingin udara.

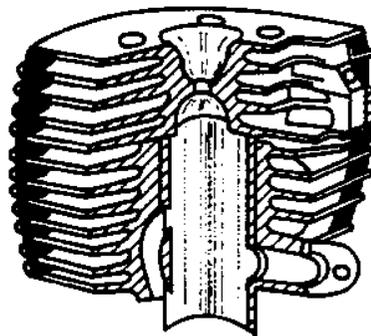
Sistem pendinginan dengan menggunakan air sangat efektif kalau diterapkan pada mesin-mesin bersilinder banyak atau lebih dari satu. Untuk mesin-mesin satu silinder penggunaan air sebagai pendingin sangat tidak efektif, hal ini karena jumlah panas yang dilepas mesin satu silinder (*small engine*) tidak besar dibandingkan dengan multsilinder. Untuk mesin-mesin satu silinder media pendinginnya biasanya adalah udara. Pada mesin yang menggunakan sistem pendinginan udara, panas diambil langsung oleh udara melalui sirip-sirip pendingin. Sirip-sirip ini dipasang di sekeliling silinder dan kepala silinder. Hembusan udara dilakukan oleh kipas [gambar 14.16] atau dapat juga terjadi pada saat kendaraan berjalan [gambar 14.17]

Pada motor 4 langkah biasanya digunakan udara tekan yang berarti harus menggunakan kipas. Untuk menyempurnakan arus udara yang terjadi, maka di sekeliling sirip-sirip dipasang pula sejenis selubung agar udara dapat mengalir lebih cepat.

Konstruksi mesin dengan pendinginan udara lebih sederhana daripada konstruksi mesin yang menggunakan pendinginan air dan pemanasan mesin dapat berlangsung lebih cepat. Dengan digunakannya udara maka tidak diperlukan zat pendingin, serta bebas dari kemungkinan kebocoran zat pendingin.



Gambar 14.16 Pendingin udara



Gambar 14.17 Pendingin udara paksa

BAB 14 KELENGKAPAN MESIN

Motor bakar adalah suatu mesin konversi energi yang kompleks. Sumber energi berasal dari energi kimia bahan bakar. Dengan proses pembakaran energi kimia pembakaran akan terlepas menjadi energi panas. Dengan berbagi jenis komponen mesin yang saling bekerja serentak akan mengubah energi panas menjadi energi mekanik poros, yaitu kerja berguna.

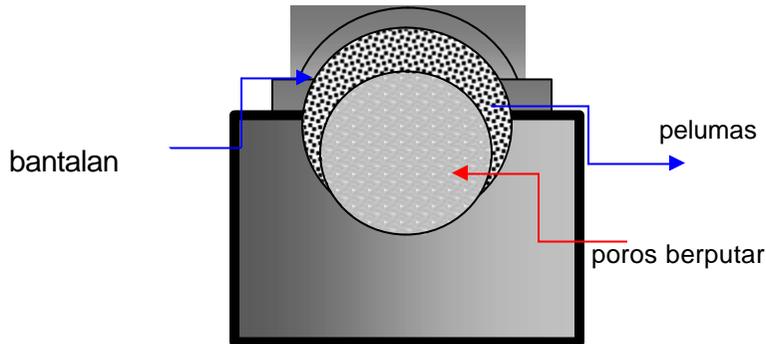
Pada proses peralihan energi diperlukan peralatan bantu yang akan menjamin berlangsungnya proses tersebut dengan lancar dan efisien. Bagian penting yang bergerak pada mesin telah dibicarakan pada pasal terdahulu. Dalam keadaan tersebut, mesin belum dapat bergerak dan hidup sebagaimana mestinya. Untuk itu masih diperlukan kelengkapan-kelengkapan lainnya. Kelengkapan-kelengkapan yang dibutuhkan oleh suatu motor bakar adalah sistem pelumasan, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, sistem pengapian, sistem starter dan sistem pembuangan gas bekas. Dengan kelengkapan mesin tersebut mesin akan bekerja sempurna.

A Sistem Pelumasan

Semua elemen mesin yang terbuat dari logam akan bergerak relatif antara satu dengan lainnya dapat mengalami hambatan yang besar karena gesekan permukaan. Karena hal tersebut, fungsi pelumas menjadi sangat penting. Dengan pelumasan dapat dihindari kontak langsung dari dua bagian logam mesin yang bergesekan. Pada gambar 14.1 diperlihatkan pelumasan poros dengan bantalannya. Komponen-komponen mesin akan terselimuti oleh lapisan pelumas sehingga antara bagian satu dan lainnya seperti tidak bersentuan. Kondisi akan menimbulkan gaya gesek yang kecil antara komponen mesin. Secara garis besar fungsi pelumasan adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi gesekan yang timbul antar komponen mesin sehingga pergerakan komponen mesin menjadi lebih ringan.
2. Menyerap panas yang timbul karena pergesekan antara komponen-komponen mesin, hal ini menguntungkan karena komponen mesin terhindar dari *overheating* atau panas berlebih.
3. Khusus pada pelumasan di silinder akan memperbaiki kerapatan antara torak dan silinder.
4. Mencegah abrasi dan korosi komponen-komponen mesin.

Untuk menjamin keberlangsungan proses pelumasan pada waktu operasi mesin sehingga komponen-komponen mesin terlumasi semua, pelumas harus disirkulasikan. Sistem yang menjamin keberlangsungan proses pelumasan pada mesin disebut sistem pelumasan.



Gambar 14.1 Pelumasan pada bantalan

A.1. Minyak pelumas

Pelumas merupakan zat cair yang mempunyai kekentalan tinggi yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Untuk menambahkan kemampuannya, pelumas banyak dicampur dengan bahan aditif. Selain dari pengolahan minyak bumi, adapula yang diperoleh dari bahan-bahan organik lainnya, misalnya minyak jarak, minyak sawit dan kastrol. Agar pelumas mempunyai kemampuan pelumasan yang baik maka pelumas yang baik harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

1. Viskositas minyak mesin harus sesuai dengan jenis operasi mesin yang bersangkutan. Jika viskositasnya terlampau rendah akan mengakibatkan *overheating* pada mesin. Sebaliknya jika viskositas minyak tersebut terlampau tinggi, tahanan gesek akan bertambah sehingga mungkin mesin sukar dihidupkan.
2. Memiliki daya pelapisan atau kelekatan yang baik pada permukaan logam atau komponen-komponen mesin.
3. Tidak mudah bercampur dengan barang-barang lainnya (kotoran-kotoran)
4. Memiliki titik nyala yang tinggi dan sukar menguap sehingga pelumas tidak mudah terbakar pada suhu tinggi.
5. Mempunyai koefisien perpindahan panas konduksi yang baik sehingga mudah memindahkan panas.
6. Mempunyai titik beku yang rendah, hal ini dibutuhkan pada kondisi mesin yang bekerja pada daerah dingin.

Secara garis besar pelumas diklasifikasi menurut tiga hal yaitu bahan asal pelumas, viskositas, dan yang terakhir menurut penggunaannya. Uraian adalah seperti di bawah ini:

a. Penggolongan menurut bahan asal

Pelumas dibedakan menjadi dua yaitu pelumas mineral dan sintetis. Pelumas mineral dibuat dari bahan dasar (*base oil*) yang berasal dari minyak mentah (*crude oil*), dengan tambahan aditif sekitar 10-20%. Sedangkan pelumas sintetis dibuat dari unsur-unsur kimia sintetis, baik bahan dasarnya maupun aditifnya. Bahan kimia yang banyak diaplikasikan sebagai pengganti minyak mentah adalah *polyalphaolefins*, *ester berbasis dua*, *ester organofosfat*, *ester silikat*, *glikol polialkilena*, *silikon* atau *fluor hidrokarbon*. Karena mengandalkan bahan sintetis dan proses pembuatannya pun cukup rumit, maka harga pelumas sintetis menjadi jauh lebih mahal dari pelumas mineral.

Pelumas sintetis dipakai pada mesin-mesin yang dioperasikan dalam kondisi kerja yang berat, mobil balap yang terus menerus dipacu pada rpm tinggi, atau pada kondisi "stop and go", atau kalau memang itu direkomendasikan oleh pembuat mesin. Pelumas sintetis juga diperlukan di daerah yang beriklim sangat dingin seperti di Eropa atau sangat panas di daerah gurun. Dalam kondisi cuaca yang sangat dingin, oli mineral umumnya membeku. Pelumas sintetis memiliki kestabilan cair yang alami, yang memberikan aliran pelumas yang lebih baik di dalam mesin meski temperatur sangat rendah. Pelumas sintetis memang mempunyai kelebihan dibanding oli mineral. Pelumas sintetis umumnya memiliki rentang kekentalan yang sangat luas atau besar sehingga lebih fleksibel beradaptasi terhadap berbagai perubahan temperatur. Bahkan ada oli sintetis yang tingkat kekentalannya sangat ekstrim, misalnya SAE 10W-60 atau 5W-50. Pelumas dengan kekentalan seperti itu dapat disebut "dingin tidak beku, panas tidak encer".

b. Penggolongan menurut viskositas

Viskositas minyak pelumas sangat bergantung terhadap perubahan temperatur. Pada temperatur yang tinggi minyak pelumas cenderung encer dan pada temperatur yang rendah cenderung kental. *Society of Automobile Engineers* [SAE] yang berkedudukan di Amerika Serikat menggolongkan pelumas berdasarkan penomoran SAE. Dalam keadaan suhu yang sama, semakin besar nomor SAE nya menandakan semakin besar pula viskositasnya. Pada umumnya mobil menggunakan minyak pelumas SAE 5 sampai dengan SAE 70. Minyak pelumas SAE 40 biasanya dipakai untuk musim panas, sedangkan untuk musim dingin dipakai SAE 20. Untuk musim semi dan musim gugur dapat dipakai SAE 30 [Tabel 14.1]. Untuk pelumas-pelumas yang dipakai mesin yang beroperasi pada daerah bertemperatur rendah SAE menggunakan huruf "W" [winter], sebagai contoh 5W-20, 5W-30, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 14.2. Pada umumnya penomoran dengan simbol "W" dengan viskositas yang sama dengan penomoran tanpa "W" mempunyai keunggulan kemampuan pelumasan yang sangat baik pada daerah dingin, hal ini karena pelumas dapat lebih encer dan mudah bersirkulasi untuk

pelumasan, terutama pada waktu start awal dengan kondisi mesin dingin. Sebagai contoh "10W-30" mempunyai kemampuan yang sama dengan pelumas SAE 10W yang bagus pelumasannya pada daerah dingin tetapi mempunyai viskositas yang sama dengan SAE 30 pada $T = 100^{\circ}\text{C}$ jadi penomorannya digabung menjadi "10W-30".

Tabel 14.1 Penomoran SAE dan viskositasnya

SAE Viscosity Grade	Viskositas pelumas(CentiStokes @ 100°C
10	4.00 (2 - 5)
20	7.45 (6 - 8)
30	10.90 (9 - 12)
40	14.40 (13 - 16)
50	19.10 (17 - 21)

Tabel 14.2 penomoran SAE "W"

SAE Viscosity	Viskositas pelumas(CentiStokes @ 100°C
0W	3.8
5W	3.8
10W	4.1
15W	5.6
20W	5.6
25W	9.3

Tabel 14.3 penggunaan SAE 16.3 seri x"W-y

Temperatur lingkungan	Tipe SAE untuk mobil penumpang
0°C	5W-20, 5W-30, 10W-30, 10W-40, 20W-50
-18°C	5W-20, 5W-30, 10W-30, 10W-40
$< -18^{\circ}\text{C}$	5W-20, 5W-30

b. Penggolongan menurut penggunaannya

Untuk memperoleh hasil pelumasan yang baik maka minyak lumas dibagi dalam beberapa jenjang disesuaikan dengan penggunaannya.

Tabel 14.4 Pemakaian pelumas menurut penggunaan

Jenis Pelumas	Penggunaan
Jenis ML	Dipakai untuk motor-motor bensin yang beroperasi ringan. Jenis minyak ini tidak mengandung <i>additive</i> .
Jenis MM	Dipakai pada mesin-mesin bensin kerja sedang, mengandung bahan tambah <i>oxidation inhibitor</i> yang bersifat mencegah terjadinya karat (oksidasi).

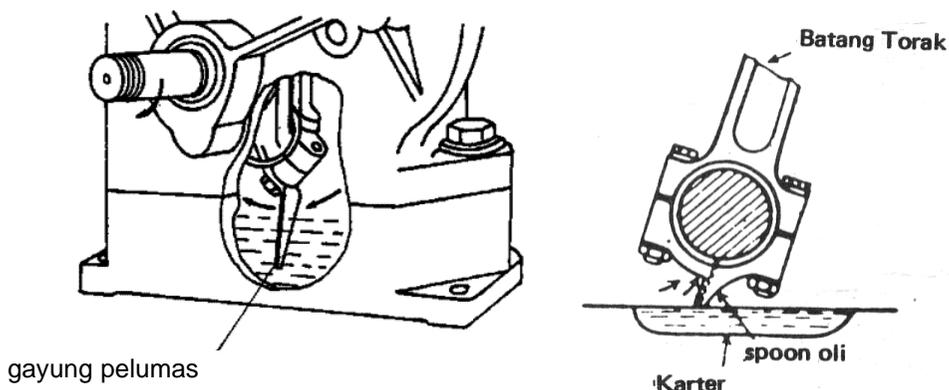
Jenis Pelumas	Penggunaan
Jenis MS	Dapat dipakai untuk motor bensin yang beroperasi berat.
Jenis DG	Digunakan untuk motor-motor diesel yang beroperasi normal, dapat juga digunakan untuk motor bensin. Minyak ini mengandung detergen untuk mencegah pembentukan karbon. Selain itu terdapat juga <i>oxidation inhibitor</i> . Umumnya jenis minyak inilah yang banyak digunakan.
Jenis DM	Digunakan untuk motor-motor diesel yang beroperasi berat, dapat juga digunakan untuk motor bensin. Selain mengadung bahan tambahan, juga mengandung <i>pour point depressant</i> , sehingga minyak ini masih dapat memenuhi syarat walaupun bekerja pada suhu operasi yang tinggi. Oleh karena itu jenis ini disebut juga minyak bermutu tinggi (<i>high grade oil</i>).
Jenis DS	Biasanya dipakai untuk motor-motor diesel yang menggunakan bahan bakar bermutu rendah. Jenis ini masih mengandung bermacam-macam bahan tambahan dan harganya pun mahal, sehingga jarang yang menggunakannya.

A.2. Model pelumasan

Bagian-bagian yang bergerak dalam mesin dilumasi dengan empat macam cara yaitu dengan cara percikan (*splash*), tekanan (*force feed*), gabungan dari percikan serta tekanan, yang terakhir adalah pelumasan campur bahan bakar dengan pelumas (*patrol lubrication*).

a. Sistem percikan

Minyak lumas akan terbawa oleh batang spoon atau dipper pada waktu piston bergerak ke bawah kemudian pelumas dipercikkan oleh ujung bagian bawah *connecting rod* kepada dinding silinder dan bearing. Konstruksi sistem percikan cukup sederhana, tetapi kendalanya ialah bahwa minyak lumas sangat sulit melalui celah-celah yang sempit. Oleh karenanya sistem ini sekarang jarang sekali digunakan. [gambar 14.2]

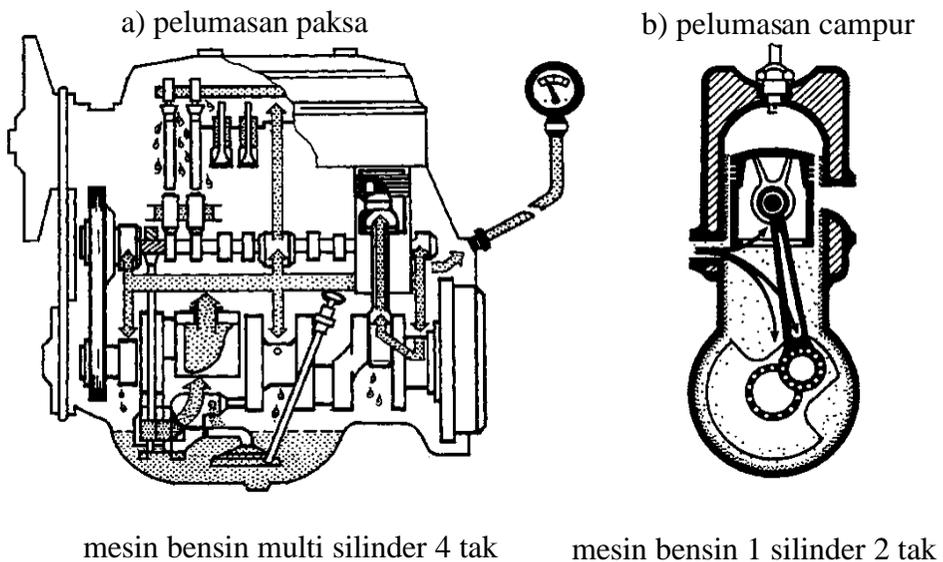


Gambar 14.2 Proses pelumasan percikan

b. Sistem penyaluran paksa

Mesin yang kompleks terutama pada multisilinder mempunyai banyak bagian-bagian yang sempit dan jauh dari jangkauan tangki pelumas. Padahal semua komponen tersebut harus dilumasi, untuk itu diperlukan sistem pelumasan yang mampu mensirkulasikan pelumas ke

seluruh komponen atau bagian mesin yang membutuhkan. Untuk mensirkulasikan minyak pelumas, pelumas dipompa sehingga mempunyai energi yang cukup untuk sampai ke bagian-bagian yang harus dilumasi dengan tekanan tertentu. Minyak pelumas terkumpul dalam karter dihisap oleh pompa minyak melalui saringan minyak. Dari sini minyak disalurkan ke bagian-bagian mesin melalui lubang-lubang minyak yang terdapat pada blok silinder, poros engkol dan sebagainya. Sesudah minyak melakukan pelumasan pada bagian-bagian mesin, minyak kembali lagi ke karter.[gambar 14.3]



a) pelumasan paksa

b) pelumasan campur

mesin bensin multi silinder 4 tak

mesin bensin 1 silinder 2 tak

Gambar 14.3 Proses pelumasan paksa dan campur

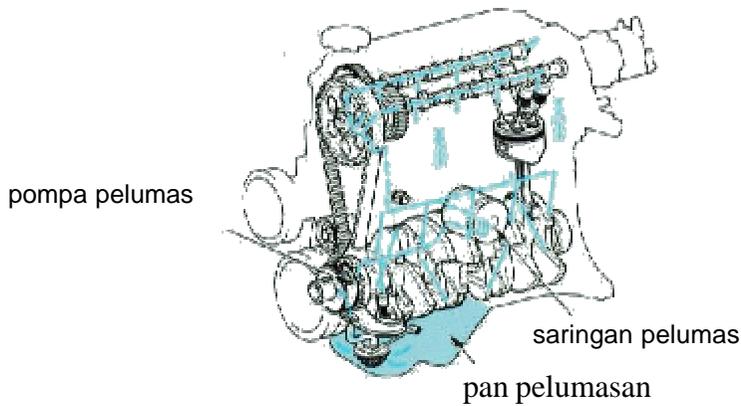
Keuntungan dengan sistem ini bahwa semua bagian-bagian pada mesin dapat dilumasi dengan baik. Kerugiannya jika pompa minyak rusak, maka sistem ini tidak dapat bekerja.

c. Sistem kombinasi percikan dan tekanan

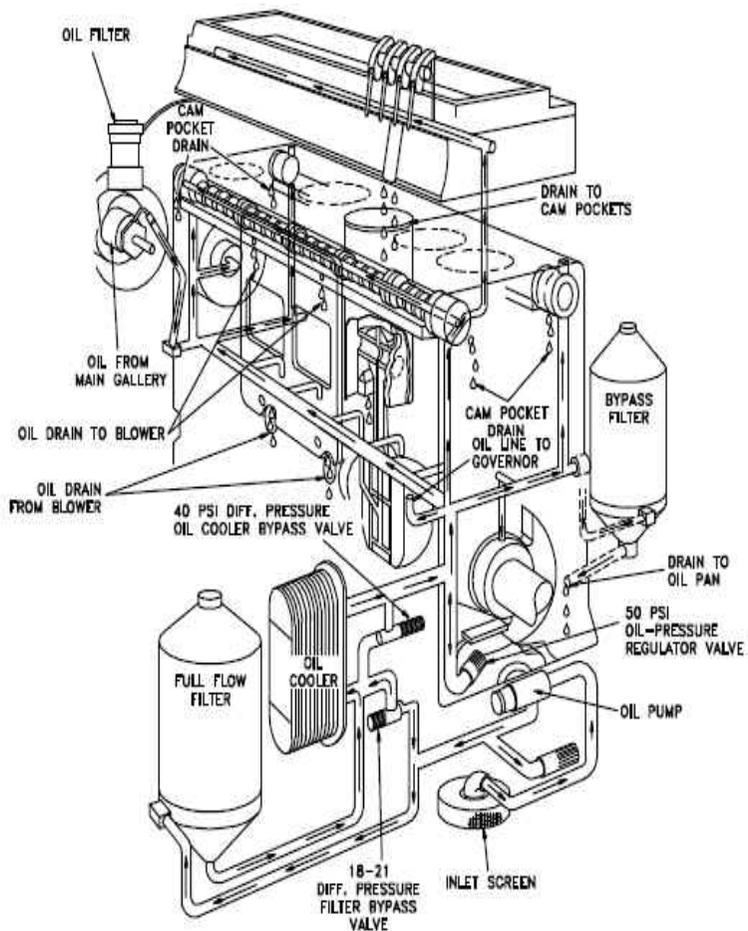
Dalarn sistem ini dipergunakan kedua sistem, sistem percikan dan tekanan.

d. Sistem campuran bahan bakar pelumas.

Sistem ini dipakai pada motor dua langkah (2 tak). Pelumas dan bahan bakar dengan komposisi campuran kurang lebih 1: 30 sampai 1 :50 akan berfungsi sebagai pelumas dan sekaligus perapatan antara silinder dan piston pada waktu mesin bekerja. Kerugiannya adalah pelumas ikut terbakar sehingga metode ini sangat boros pelumas [gambar 14.3b]



Gambar 14.4 Komponen pelumasan dan sirkulasi pelumas



Gambar 14.5 Komponen-komponen pelumasan pada mesin disel

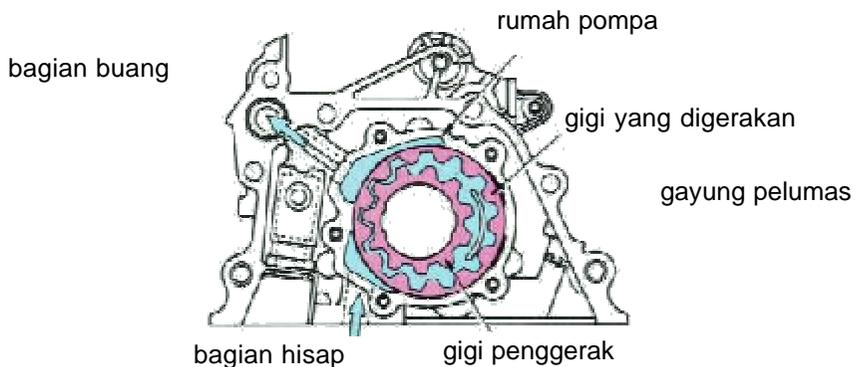
A.3. Bagian-bagian utama pada sistem pelumasan tekan

A.3.1 Pompa pelumas

Pompa adalah alat untuk menaikkan energi fluida yang pada sistem pelumasan ini fluidanya berupa minyak pelumas dengan kekentalan tinggi. Pompa pelumas menghisap pelumas dari karter dan menyalurkan ke seluruh bagian bagian mesin. Saringan minyak dipasangkan sebelum lubang masuk pompa untuk menyaring kotoran-kotoran. Pompa minyak digerakkan oleh batang distributor atau gigi sumbu nok. Pompa minyak yang banyak digunakan adalah model roda gigi dan model rotor.

a. Pompa pelumas model roda gigi

Sistem pelumasan pada mesin membutuhkan pompa yang mampu mesirkulasikan pelumas dengan debit yang rendah tetapi harus mempunyai tinggi tekan yang besar (head tinggi). Pompa yang cocok dengan kondisi ini adalah pompa perpindahan positif model roda gigi. Pompa model roda gigi ini terdiri dari body dan dua buah roda gigi yang berkaitan di dalam body. Bila salah-satu dari roda-roda gigi ini berputar, maka roda gigi lainnya akan berputar berlawanan arah. Karena itu, minyak yang terdapat di antara celah-celah roda gigi dan body didesak ke luar dari lubang masuk ke lubang buang. Pompa minyak ini mempunyai konstruksi yang sederhana dan dapat bekerja dengan baik.

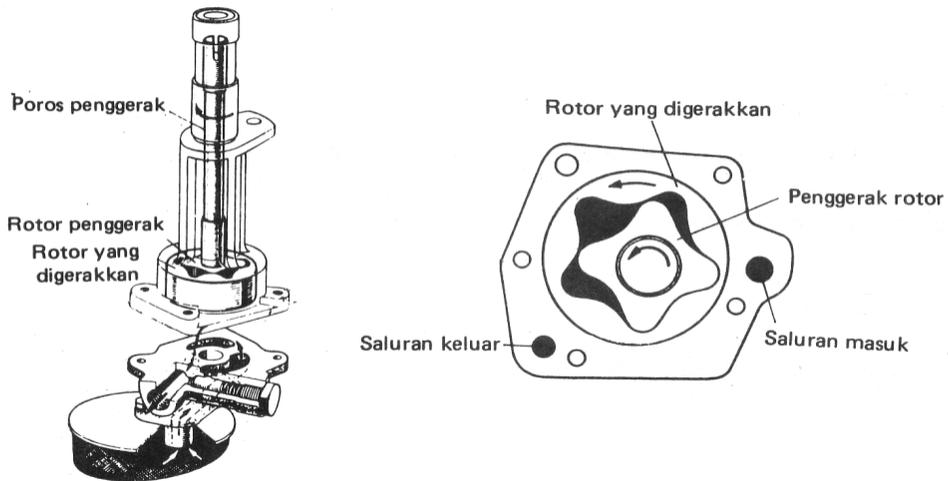


Gambar 14.6 Pompa minyak pelumas jenis roda gigi

b. Pompa model rotor

Model pompa roda gigi yang lain yang sering dipakai adalah model pompa rotor. Pada pompa model ini rotor penggerak (*drive rotor*) dan rotor yang digerakan (*driven rotor*) berkaitan bersama dalam pompa body seperti terlihat pada gambar. Poros drive rotor dibuat eksentrik terhadap bodinya, dengan demikian pada waktu drive rotor berputar, driven rotor juga berputar dan volume ruangan di antara rotor-rotor itu akan berubah-ubah. Minyak masuk melalui saluran masuk yang terdapat pada ruang di antara rotor-rotor dan diteruskan ke bagian lainnya dengan jalan memperkecil ruangan *drive* dan *driven rotor*. Pompa minyak ini mem-

punyai kemampuan kerja yang sama dengan pompa minyak model roda gigi. Keuntungan lainnya ialah, pompa minyak mempunyai bentuk yang lebih kecil sehingga banyak sekali digunakan.

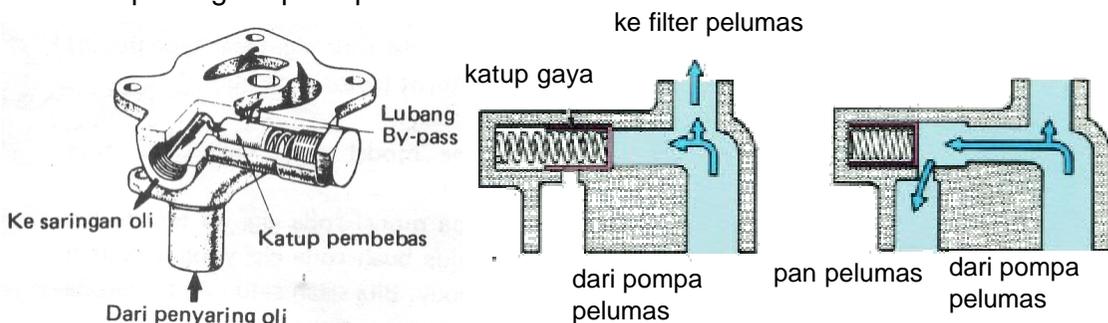


Gambar 14.7 Pompa roda gigi jenis rotor

A.3.2. Regulator minyak pelumas

Sirkulasi minyak pelumas harus diatur sehingga debitnya sesuai dengan yang dibutuhkan. Untuk kepentingan tersebut pada sistem pelumasan selalu dipasang regulator minyak. Hal ini untuk mengatasi kelebihan minyak pelumas apabila mesin bekerja dengan putaran tinggi. Regulator tekanan minyak akan mengatur tekanan minyak agar tidak terjadi penyaluran yang berlebihan.

Pengatur tekanan minyak ini terdiri dari katup yang biasanya berbentuk bola beserta pegasnya dan dipasang pada saluran minyak yang terdapat pada pompa minyak. Tekanan minyak harus mengalir pada kondisi tekanan tertentu. Jika kondisi tersebut tidak tercapai, maka akan timbul gangguan dan kesulitan. Kondisi tekanan minyak ini dapat terlihat pada penunjuk tekanan minyak atau pada lampu isyarat yang dipasang pada panel instrumen.



Gambar 14.8 Pengatur tekanan minyak

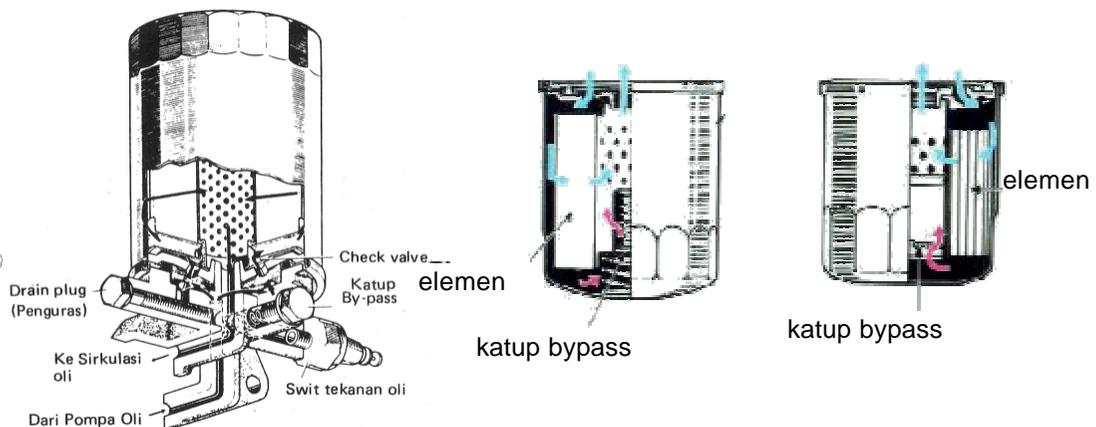
Bila minyak mengalir dalam keadaan normal, lubang bypass tertutup oleh katup. Tetapi bila jumlah minyak yang mengalir bertambah, tekanan minyak baik dan akan membuka katup sehingga kelebihan minyak akan mengalir kembali ke karter melalui lubang bypass.

A.4. Sistem ventilasi karter

Pelumas pada tangki pelumas (karter) harus dijaga jangan sampai terlalu banyak terkontaminasi dengan air, karena hal tersebut sangat merugikan yaitu menimbulkan korosi pada logam komponen mesin. Untuk keperluan tersebut pada bak karter dipasang ventilasi. Sistem ventilasi ini berfungsi menjaga kekentalan dan kemurnian minyak lumas dari kontaminasi uap air. Penjelasananya adalah sebagai berikut, suhu di dalam bak engkol akan naik pada saat mesin bekerja. Pada keadaan ini bahan-bahan yang tidak terbakar beserta air akan berada dalam kondisi uap. Bahan-bahan tersebut harus segera dibuang. Untuk itu dipasangkan pipa ventilasi yang menghubungkan bak engkol dengan udara luar.

A.5. Saringan minyak pelumas

Fungsi utama pelumas adalah untuk mengurangi gesekan langsung antar komponen mesin sehingga permukaan terhindar dari keausan. Akan tetapi untuk dalam jangka waktu tertentu pelumasan akan menjadi kurang efektif karena beberapa alasan, seperti beban mesin yang berlebih, pelumas yang usang tidak diganti. Kondisi ini menyebabkan keausan pada permukaan karena abrasi, korosi dan lainnya, minyak pelumas menjadi kotor mengandung partikel-partikel logam, kotoran dari udara (abu dan debu), karbon dan bahan-bahan lainnya yang masuk ke dalam minyak lumas tersebut. Bagian-bagian yang berat akan mengendap, sedangkan bagian-bagian yang ringan akan ikut terbawa melumasi mesin. Akibatnya akan memperbesar keausan dan kemungkinan terjadinya panas yang berlebihan (*overheating*).



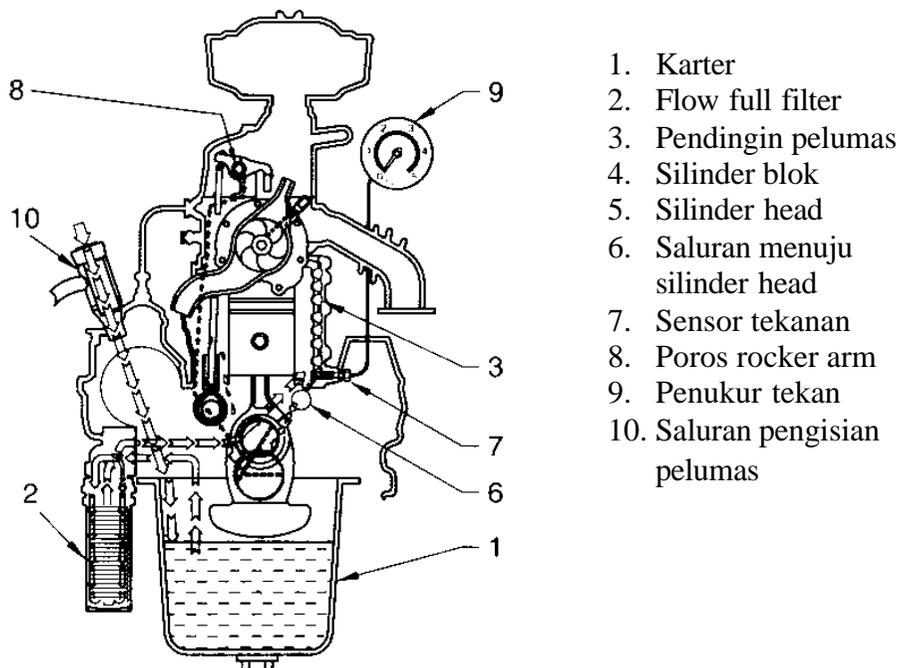
Gambar 14.9 Peredaran minyak pelumas dan penyaring minyak

Untuk mengatasi hal tersebut pada sistem pelumasan termasuk komponen pelumasan dipasang saringan pelumas. Saringan pelumas akan menyaring kotoran-kotoran. Ada kalanya minyak lumas dibersihkan melalui saringan hanya sebagian saja, tetapi adapula seluruhnya. Cara penyaringan sebagian disebut *partial flow type*, sedangkan penyaringan seluruhnya disebut *full flow type* [gambar 14.9]

Saringan minyak biasanya dipasangkan di bagian luar mesin untuk memudahkan penggantian elemen saringan [gambar 14.10]. Gambar 14.10 memperlihatkan cara kerja saringan minyak. Minyak lumas mengalir dari pompa melalui elemen saringan dan dibersihkan dari semua kotoran.

A. 6. Tangkai pengukur minyak

Pelumas yang dipakai akan berkurang volumenya karena beberapa sebab, misalnya kebocoran, terbakar, dan sebab lainnya. Hal ini dapat menyebabkan proses pelumasan mejadi tidak efektif. Untuk mendeteksi jumlah minyak yang bersirkulasi di dalam mesin digunakan tangkai pengukur volume minyak pelumas. Pemeriksaan dilakukan dengan menempatkan kendaraan pada tempat yang datar, kemudian dengan mencabut batang pengukur akan terlihat banyaknya minyak dalam bak engkol serta terlihat pula kualitasnya. Pada tangkai pengukur tersebut terdapat huruf-huruf F dan L. Bila minyak terlihat berada di antara F dan berarti volumenya cukup. Di atas F berarti berlebihan sedangkan di bawah L berarti harus ditambah.



1. Karter
2. Flow full filter
3. Pendingin pelumas
4. Silinder blok
5. Silinder head
6. Saluran menuju silinder head
7. Sensor tekanan
8. Poros rocker arm
9. Penukur tekan
10. Saluran pengisian pelumas

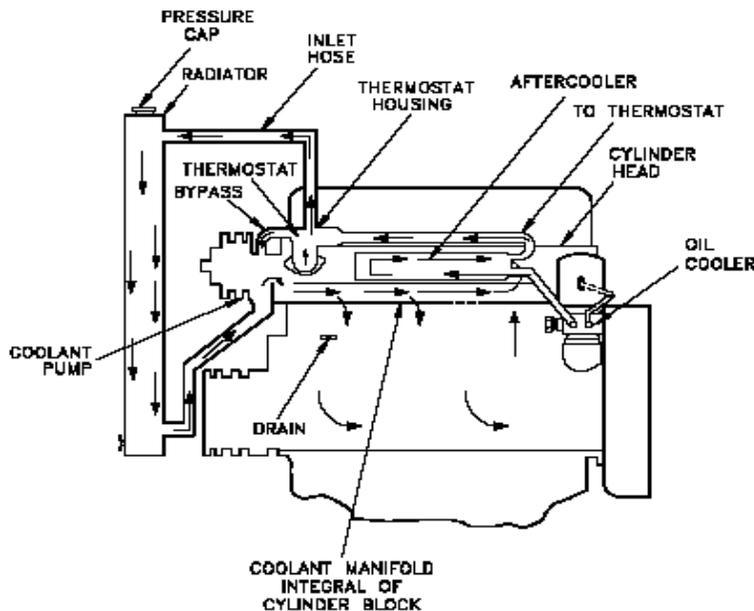
Gambar 14.10 Sirkulasi pelumas pada mesin multisiinder

B. Sistem Pendinginan

Mesin bensin merupakan mesin panas yang mengubah energi kimia bahan bakar melalui proses pembakaran. Dari proses pembakaran tersebut dihasilkan energi yang akan digunakan untuk menjalankan kendaraan. Tidak semua energi dapat diubah menjadi energi berguna, tetapi hanya kira-kira 25% digunakan sebagai tenaga penggerak, sebagian lainnya sekitar 45% hilang terbawa gas buang dan hilang akibat gesekan-gesekan, sedangkan sisanya kira-kira 30% diserap oleh bagian-bagian mesin itu sendiri.

Panas yang diserap ini harus segera dibuang untuk menghindari panas yang berlebihan yang dapat pula mengakibatkan mesin menjadi retak dan terjadi kegagalan operasi mesin. Untuk itu sistem pendinginan dimaksudkan untuk mengatasi keadaan tersebut. Selain itu juga untuk memelihara suhu yang tetap dalam mesin, sebab mesin yang terlampau dingin akan mengakibatkan pemakaian bensin menjadi boros.

Secara garis besar pendinginan mesin dibagi menjadi dua, yaitu dengan pendinginan air dan pendinginan udara. Pemilihan sistem pendinginan menggunakan udara atau pendinginan air bergantung dari jenis mesinnya. Kebanyakan untuk mesin multisiylinder menggunakan pendinginan air.

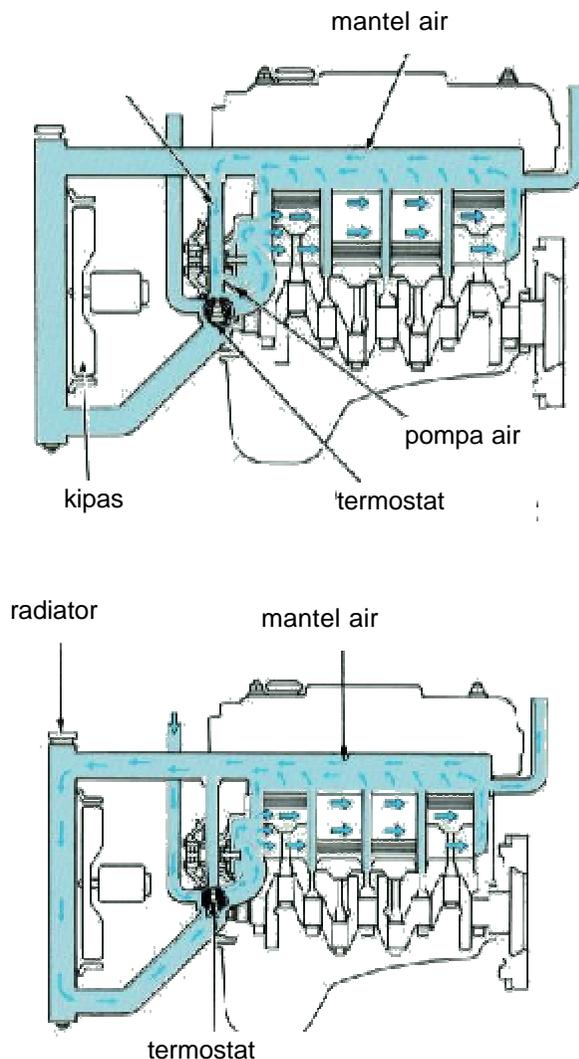


Gambar 14.11 Proses pendinginan pada mesin

B.1. Pendinginan air

Air mempunyai keunggulan dibanding dengan fluida zat cair lainnya yaitu mempunyai kemampuan untuk menyerap panas yang baik. Dengan

alasan tersebut air banyak dimanfaatkan untuk pendinginan. Di dalam sistem pendinginan air [gambar 14.12], pada blok silinder terdapat mantel pendingin yang menyelubungi silinder-silinder motor, kepala silinder. Mantel pendingin berhubungan dengan radiator yang dipasang di bagian depan mesin. Air yang telah panas dalam mantel dialirkan ke radiator untuk didinginkan. Pendinginan air ini dilakukan oleh udara yang mengalir melalui kisi-kisi radiator, sedangkan tarikan udara dilakukan oleh kipas yang digerakkan oleh mesin. Dibandingkan dengan pendinginan udara, pengontrolan suhu pendinginan dalam sistem ini ternyata lebih mudah. Selain itu dapat pula diperoleh hasil pendinginan yang merata.



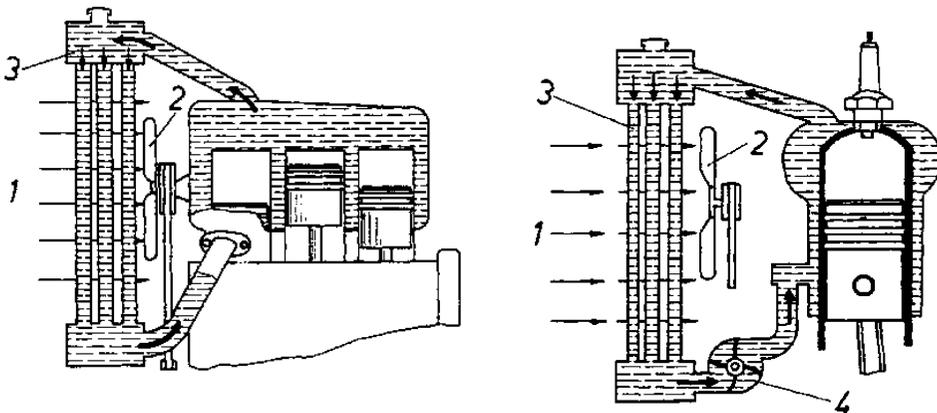
Gambar 14.12 Sirkulasi pendingin air pada kondisi mesin dingin dan mesin panas

Untuk mengatur temperatur kerja air pendingin agar tetap stabil, pada sistem pendinginan dipasang termostat atau katup pengatur sirkulasi yang merespon temperatur. Pada gambar 14.13 terlihat dua model sirkulasi air pendingin. Model A, temperatur mesin masih dingin, sirkulasi air masih di dalam mesin termostat masih menutup sehingga air pendingin belum mengalir ke radiator. Model B, temperatur mesin sudah di atas temperatur kerja, termostat membuka sehingga air pendingin mengalir ke radiator untuk didinginkan.

Sirkulasi air pendingin melalui dua cara yaitu a. Sirkulasi alam (*natural circulation*) b. Sirkulasi tekanan (*forced circulation*)

a. Sirkulasi alam.

Karakteristik air sangat bergantung dari perubahan suhu, seperti berat jenis air akan berubah apabila suhu berubah. Sifat seperti ini dimanfaatkan untuk proses sirkulasi pada sistem tertutup pada saluran. Pada sistem pendinginan dengan sistem seperti ini disebut dengan sistem sirkulasi alam [gambar 14.13]. Penjelasananya adalah sebagai berikut, berat jenis air akan turun bila suhunya bertambah, dengan kata lain air lebih ringan dan apabila suhunya turun berat jenis akan naik atau air lebih berat. Sirkulasi alam bekerja atas dasar adanya perbedaan berat jenis air tersebut. Air yang telah panas (lebih ringan) di dalam mesin akan naik ke bagian atas radiator [3] kemudian didinginkan dengan udara [1] dari kipas [2] akibatnya suhunya turun dan mengalir ke bagian bawah radiator untuk seterusnya masuk kembali ke dalam mesin.



sirkulasi alam

sirkulasi paksa

Gambar 14.13. Model sirkulasi air pendingin

Sistem pendinginan sirkulasi alam hanya cocok dipakai pada mesin-mesin beban ringan. Hal ini karena jumlah panas per satuan waktu yang dapat diambil oleh sistem pendinginan ini relatif kecil. Untuk volume air yang bersirkulasi besar pada mesin-mesin beban lebih berat, sirkulasi

alam sangat tidak efektif, karena waktu yang diperlukan untuk pendinginan tidak cukup.

b Sirkulasi paksa

Untuk memperbesar jumlah panas yang dapat diambil tiap satuan waktu, sirkulasi air harus dibantu dengan menggunakan pompa sehingga laju aliran air sirkulasi akan bertambah. Pompa air dipasang dibagian atas mesin, diputarakan melalui tali kipas (fanbelt). Air mengalir dari mesin melalui pompa untuk diteruskan menuju radiator. Dan setelah didinginkan selama melalui radiator, air ini kembali lagi masuk ke mesin. Kondisi pendinginan menurut sistem ini lebih baik daripada sistem sirkulasi alam.

B.1.1 Komponen komponen sistem pendinginan

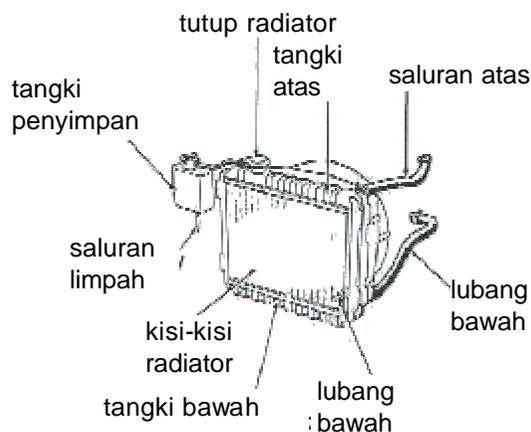
Komponen-komponen yang penting antara lain meliputi mantel pendingin, radiator, pompa air, termostat, kipas, dan selang sirkulasi.

a. Mantel pendingin

Pada blok mesin yang menggunakan sistem pendinginan air selalu terdapat mantel pendingin yang mengelilingi silinder-silinder dan kepala silinder. Mantel pendingin tersebut berfungsi untuk mendinginkan bagian-bagian silinder dan ruang bakar secara efektif karena bagian-bagian ini cepat sekali menjadi panas.

Pada gambar 14.12 terlihat mantel pendingin pada kepala silinder dan blok silinder dibuat sedemikian rupa sehingga dapat berhubungan satu dengan lainnya. Mantel pendingin kepala silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian atas dan mantel pendingin blok silinder berhubungan dengan tangki radiator bagian bawah. Di bagian bawah blok silinder dilengkapi dengan kran pembuang air untuk membuang air pendingin.

b. Radiator



Gambar 14.14 Radiator

Proses pendinginan air terjadi pada radiator. Radiator dipasangkan di bagian depan kendaraan. Radiator terdiri dari dua buah tabung air yang terletak di bagian atas dan bawah. Kedua tabung ini dihubungkan oleh kisi-kisi pendingin. Pada tabung air yang terletak di bagian atas radiator terdapat lubang pengisian air, pipa pemasukkan air dari mantel dan pipa pembuangan. Sedangkan pada tabung lainnya yang terletak di bagian bawah terdapat keran pembuang air dan pipa air yang menghubungkan bagian ini dengan mantel air pada mesin.

Kisi-kisi pada radiator terdiri dari beberapa saluran air yang biasanya berbentuk pipa yang pipih. Air dari tabung atas mengalir melalui saluran ini menuju tabung bawah. Agar jumlah panas yang terserap lebih banyak, pada kisi-kisi ini dipasangkan sirip-sirip pendingin, sehingga luas permukaan yang didinginkan menjadi lebih besar.

Udara yang dihisap kipas mengalir melalui sirip-sirip tadi dan mengangkut panas sebanding dengan jumlah udara yang mengalir per satuan waktu serta perbedaan suhu antara sirip-sirip itu sendiri. Pada saat kendaraan berjalan, jumlah aliran udara yang melalui sirip-sirip tadi bertambah.

c. Pompa air

Pompa air berfungsi memberikan tenaga kepada air untuk dapat melakukan peredarannya. Untuk itu biasanya digunakan pompa sentrifugal yang dipasangkan di bagian depan blok silinder. Gerak putar pompa diperoleh dari putaran poros engkol melalui tali kipas (*fan belt*).

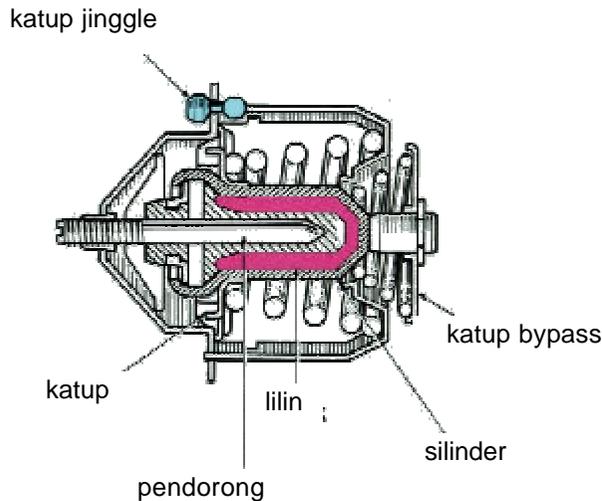
d. Termostat.

Suhu kerja mesin yang terbaik terjadi manakala air pendingin mencapai suhu 800-900°C. Suhu tersebut harus dapat dicapai dengan cepat segera setelah mesin hidup. Selain itu dalam keadaan cuaca dingin, mesin harus tetap dalam kondisi suhu kerjanya. Untuk maksud tersebut mesin dilengkapi dengan thermostat

Thermostat adalah semacam katup otomatis yang bekerja atas dasar pengaruh suhu air pendingin dan biasanya dipasang di dalam saluran air yang ke luar dari kepala silinder. Termostat akan menutup bila suhu air pendingin masih rendah dan baru akan membuka setelah suhu air cukup tinggi.

Dewasa ini dikenal dua macam termostat, yaitu model *bellow* dan model *wax*. Pada model yang pertama, *bellow* tembaga diisi dengan cairan yang mudah menguap (*volatile liquid*) seperti ethyl atau methyl alkohol. Apabila suhunya rendah, maka *bellow* akan mengerut dan menutup katup sehingga air yang mengalir menuju radiator terhenti. Dengan demikian sirkulasi air hanya terjadi pada mantel air sampai suhunya segera naik. Jika telah panas, *volatile liquid* akan memuai dan membuka katup.

Pada umumnya sekarang ini banyak dipakai model wax. Cara kerjanya sama dengan model bellow, hanya pada jenis ini digunakan sifat suhu ekspansi parafin untuk membuka dan menutup katupnya.



Gambar 14.15 Termostat

e. Kipas

Kipas berfungsi menyempurnakan sistem pendingin pada radiator dengan jalan mempercepat aliran udara pada saat mesin hidup. Gerak putar kipas diperoleh dari poros engkol melalui tali kipas bersamaan dengan berputarnya pompa.

f. Pipa-pipa pada sistem pendingin.

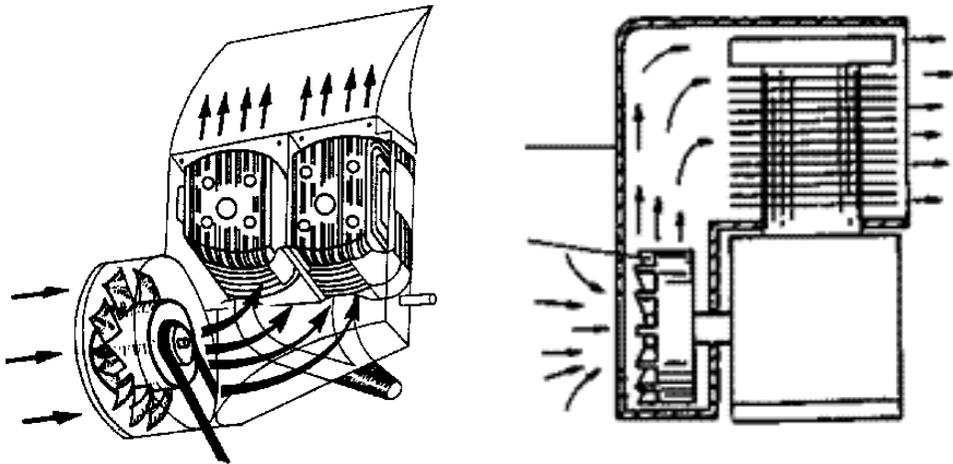
Pipa-pipa yang menghubungkan komponen-komponen pada sistem pendingin terbuat dari karet agar dapat menyerap getaran dan mudah memasang atau melepaskannya. Pipa di bagian atas disebut pipa outlet dan dibagian bawah disebut pipa inlet .

B.2 Pendingin udara.

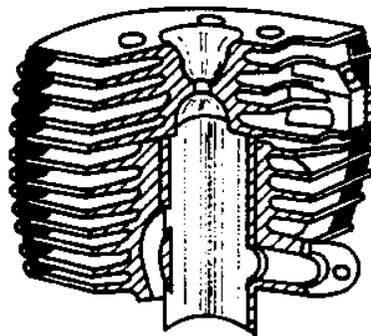
Sistem pendinginan dengan menggunakan air sangat efektif kalau diterapkan pada mesin-mesin bersilinder banyak atau lebih dari satu. Untuk mesin-mesin satu silinder penggunaan air sebagai pendingin sangat tidak efektif, hal ini karena jumlah panas yang dilepas mesin satu silinder (*small engine*) tidak besar dibandingkan dengan multsilinder. Untuk mesin-mesin satu silinder media pendinginnya biasanya adalah udara. Pada mesin yang menggunakan sistem pendinginan udara, panas diambil langsung oleh udara melalui sirip-sirip pendingin. Sirip-sirip ini dipasang di sekeliling silinder dan kepala silinder. Hembusan udara dilakukan oleh kipas [gambar 14.16] atau dapat juga terjadi pada saat kendaraan berjalan [gambar 14.17]

Pada motor 4 langkah biasanya digunakan udara tekan yang berarti harus menggunakan kipas. Untuk menyempurnakan arus udara yang terjadi, maka di sekeliling sirip-sirip dipasang pula sejenis selubung agar udara dapat mengalir lebih cepat.

Konstruksi mesin dengan pendinginan udara lebih sederhana daripada konstruksi mesin yang menggunakan pendinginan air dan pemanasan mesin dapat berlangsung lebih cepat. Dengan digunakannya udara maka tidak diperlukan zat pendingin, serta bebas dari kemungkinan kebocoran zat pendingin.



Gambar 14.16 Pendingin udara



Gambar 14.17 Pendingin udara paksa

DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann, T., 2005, *Wind Power in Power Sistem*, England, John Wiley and Sons Ltd.
- Anonamius, 1992. *Doe Fundamental Handbook of Thermodynamic*.
- Cengel, Y.A., 2005. *Thermodynamics An Engineering Approach*. Edisi 5 .McGraw Hill. New York.
- Dietzel, F., 1993. *Turbin, Pompa dan Kompresor* , Jakarta Erlangga.
- Doland, J.J., 1984. *Hydro Power Engineering*. New York. The Ronald Press Company.
- El-Mallahawy, F., 2000, *Fundamentals and Technology of Combustion*, McGraw Hill.
- Heat Transfer and Fluid Flow*, U.S. Departement of Energy, Washington D.C
- Mathur, M.L. dan Sharma, R.P., 1980, *A course in Internal Combustion Engine*, Edisi 3, Delhi India, Hanpat Rai and Sons, Nai Sarak
- Sayig, A.A.M, 1997, "Renewable Energi", *Journal of the World Renewable Energi*, UK
- Shlyakin, P., 1999. *Teori dan Perancangan Steam Turbines*. Jakarta Erlangga.
- Silalahi, Bernnet NB. 1995. *Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT Pustaka Binaman Pressindo
- Sularso dan Tahara, H., 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta Pradnya Paramita.
- Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Provinsi Jawa Tengah. 2007. *Bimbingan Teknis Calon Ahli K3*
- Sumakmur PK. 1996. *Keselamatan Kerja & Pencegahan Kecelakaan*. Jakarta: PT. Gunung Agung
- . 1996. *Higene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT. Gunung Agung

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Profil tegangan dan regangan	1
Gambar 1.2 Profil tegangan dan regangan	2
Gambar 1.3 Radius kurva.....	3
Gambar 1.4 Torsi pada batang pejal	4
Gambar 1.5 Torsi pada batang berlubang.....	4
Gambar 1.6 Rem Cakram.....	5
Gambar 1.7 Rem Tromol.....	5
Gambar 1.8 Roda gigi metrik.....	5
Gambar 1.9 Roda gigi spurs.....	6
Gambar 1.10 Roda gigi helik	6
Gambar 1.11 Roda gigi dobel helik	6
Gambar 1. 12 Roda gigi Bevel.....	7
Gambar 1.13 Roda gigi cacing	7
Gambar 1.14 Klasifikasi Bantalan.....	8
Gambar 1.15 Klasifikasi Pegas.....	9
Gambar 1.16 Macam-macam Poros.....	0
Gambar 1.17 Poros dengan penggunaannya	11
Gambar 1.18 Kontruksi dasar dari pemasangan transmisi.....	12
Gambar 1.19 Instalasi kompresor dengan dan tanpa transmisi	12
Gambar 1.20 Model transmisi roda gigi.....	13
Gambar1.21 Tramisi rantai	13
Gambar 1.22 Macam-macam sabuk	14
Gambar 1.23 Furnace dengan pemanas listrik.....	14
Gambar 1.24 Blok mesin dari besi cor.....	15
Gambar 1.25 Amplitudo getaran besi cor dan baja	15
Gambar 2.1 Tanur tinggi	19
Gambar 2.3 Penuangan besi cor.....	20
Gambar 2.4 Cetakan pasir dan hasil dari pengecoran	20

Gambar 2.5 Hasil proses pembentukan.....	21
Gambar 2.6 Alat yang dipakai dalam kerja bangku.....	21
Gambar 2. 7 Mesin bor duduk.....	22
Gambar 2.8 Mesin gergaji.....	23
Gambar 2.9 Mesin potong.....	23
Gambar 2.10 Mesin bubut dengan pirantinya	24
Gambar 2.11 Proses pembubutan	25
Gambar 2.12 Macam-macam Pahat	25
Gambar 2. 13 mesin CNC fris vertikal.....	26
Gambar 2.14 Pahat untuk mesin fris.....	26
Gambar 2.15 Mesin bubut CNC	27
Gambar 2.16 Grafik proses keadaan termodinamik.....	28
Gambar 2.19 Energi atau kerja pada piston.....	31
Gambar 2.20 Energi mekanik poros turbin gas.....	32
Gambar 2.21 Perubahan energi pada motor bakar.....	33
Gambar 2.22 Konversi energi pada turbin (uap, gas,air)	34
Gambar 2.23 Konversi energi pada pompa atau kompresor	34
Gambar 2.24 Pompa sebagai mesin Konversi energi	35
Gambar 2.25 Tranfer energi panas dari tungku ke air di panci.....	35
Gambar 2.26 Energi mekanik pergeseran translasi (linier).....	36
Gambar 2.27 Energi mekanik pergeseran rotasi (angular)	36
Gambar 2.28 Mesin-mesin konversi energi dengan kerja poros.....	37
Gambar 2.29 Dinamika perubahan energi pada suatu benda kerja.....	38
Gambar 2.30 Proses perubahan energi pada sistem terbuka.....	39
Gambar 2.31 Proses perubahan energi pada sistem tertutup	39
Gambar 2.32 Konversi energi pada turbin	40
Gambar 2.33 Konversi pada pompa	41
Gambar 2.34 Skema sederhana dari hukum termodinamika II.....	42
Gambar 2.35 Diagram p - V proses volume konstan	43

Gambar 2.36 Diagram p - v proses tekanan konstan.....	44
Gambar 2.37 Diagram p - v proses temperatur konstan	44
Gambar 2.38 Diagram p - v proses adiabatik	45
Gambar 2.39 Diagram p - v proses politropik	45
Gambar 2.40 Hubungan tekanan pengukuran, tekanan absolute, dan tekanan atmosfer.....	47
Gambar 2.41 Hubungan ketinggian dengan tekanan	48
Gambar 2.42 Gerak fluida pada fluida yang diam	49
Gambar 2.43 Perubahan energi pada penampang pipa	50
Gambar 2.44 Profil aliran fluida	51
Gambar 2.45 Penambahan energi pompa ke aliran.....	53
Gambar 2.46 Profil saluran fluida E.6 Kondisi aliran fluida cair.....	53
Gambar 2.47 Pola aliran Laminar dan turbulen.....	54
Gambar 2.48 Perpindahan kalor konduksi pada sebuah plat.....	55
Gambar 2.49 Proses penguapan dan pelepasan panas	56
Gambar 2.50 Proses perpindahan kalor radiasi pada jendela rumah	56
Gambar 2.51 Proses pengolahan minyak bumi.....	60
Gambar 2.52 Proses destilasi bahan-bakar cair.....	61
Gambar 2.53 Mesin uji nilai oktan CFR	63
Gambar 3.1.Berbagai macam alat pelindung diri	69
Gambar 3.2 Segitiga Api (<i>Triangle of Fire</i>)	72
Gambar 4.1 Meja gambar.....	77
Gambar 4.2 Cara menempel kertas pada meja gambar	78
Gambar 4.3 Bentuk pensil	78
Gambar 4.4 Pena Rapido	79
Gambar 4.5 Satu set pengaris.....	80
Gambar 4.6 Jangka	80
Gambar 4.7 Pelindung penghapus	81

Gambar 4.8 Mal lengkung	81
Gambar 4.9 Hasil mal lengkung	81
Gambar 4.10 Gambar proyeksi amerika	82
Gambar 4.11 Gambar Isometris Komponen	82
Gambar 4.12 Kop Gambar dengan bingkainya	83
Gambar 4.13 Proyeksi.....	83
Gambar 4.14 Proyeksi aksonometri dan ortogonal	84
Gambar 4.15 Isometri.....	84
Gambar 4.16 Dimetri	85
Gambar 4.17 Trimetri	85
Gambar 4.18 sumbu isometri	86
Gambar 4.19 Proyeksi isometri	86
Gambar 4.20 Proyeksi miring	87
Gambar 4.21 Proyeksi Isometri dan Proyeksi miring	87
Gambar 4.22 cara pandang gambar prespektif.....	88
Gambar 4.23 titik hilang prespektif.....	88
Gambar 4.24 Pandangan Ortogonal	89
Gambar 4.25 penyajian gambar poros	90
Gambar 4.26 Ukuran beserta toleransinya	91
Gambar 4.27 penyajian ulir lengkap.....	92
Gambar 4. 28 Penyajian gambar ulir.....	92
Gambar 4.29 Keterangan Gambar Ulir	93
Gambar 4.30 lambang pengerjaan.....	93
Gambar 4.31 Gambar AutoCad	96
Gambar 5.1 Instalasi Pompa.....	97
Gambar 5.2 Instalasi pompa rumah tangga	98
Gambar 5.3 Proses pemompaan	98
Gambar 5.4 Perubahan energi zat cair pada pompa	99
Gambar 5.5 Klasifikasi pompa berdasar bentuk impeler.....	100
Gambar 5.6 Klasifikasi pompa berdasar rumah pompa	100
Gambar 5.7 Klasifikasi pompa berdasarkan jumlah aliran masuk .	101

Gambar 5.8 Pompa satu tingkat	101
Gambar 5.9 Pompa banyak tingkat (<i>multistage</i>)	102
Gambar 5.10 Pompa horizontal.....	102
Gambar 5.11 Pompa vertikal.....	103
Gambar 5.12 Pompa sumuran kering dan basah.....	103
Gambar 5.13 Konstruksi pompa	104
Gambar 5.14 Konstruksi pompa khusus.....	105
Gambar 5.15 Pompa sembur (<i>jet pump</i>)	106
Gambar 5.16 Pompa viscous	108
Gambar 5.17 <i>Cut Water</i>	109
Gambar 5.18 Volut tunggal dan ganda.....	109
Gambar 5.19 Pompa Chopper.....	110
Gambar 5.20 Pompa <i>recessed impeller</i>	110
Gambar 5.21 Pompa lumpur (<i>slurry</i>)	111
Gambar 5.22 Pompa volut LFH	112
Gambar 6.1 Ukuran-ukuran dasar pompa	113
Gambar 6.2 Harga n_s dengan bentuk impeler dan jenis pompa	114
Gambar 6.3 Grafik karakteristik pompa dengan n_s kecil.....	115
Gambar 6.4 Grafik karakteristik pompa dengan n_s sedang	116
Gambar 6.5 Grafik karakteristik pompa dengan n_s besar.....	116
Gambar.6.6 Head statis total	118
Gambar 6.7 Head statis total $p_1 = p_2 = 1$ atmosfer (tandon terbuka).....	118
Gambar 6.8 Head statis hisap [A] pompa di bawah tandon, [b] pompa di atas tandon	119
Gambar 6.9 Head statis buang [A] ujung terbenam, [b] ujung mengambang	119
Gambar 6.10 Head kecepatan.....	120
Gambar 6.11 Koefisien kavitasi.....	126
Gambar 6.12 Pompa dan penggerak mula motor listrik	131
Gambar 6.13 Grafik kerja berguna	133

Gambar 6.14 Proses kavitasi	136
Gambar 6.15 Proses kavitasi	136
Gambar 6.16 Abrasi pada impeler	136
Gambar 6.17 Kerusakan impeler karena kavitasi	137
Gambar 6.18 Pompa tegak dengan penggerak motor listrik.....	138
Gambar 6.19 Pompa dengan penggerak motor listrik.....	138
Gambar 6.20 Pompa <i>portable</i> dengan penggerak motor bakar	139
Gambar 6.21 Pompa <i>portable</i> dengan penggerak motor bakar	139
Gambar 6.22 Penggunaan transmisi <i>belt</i>	140
Gambar 6.23 Instalasi pompa dengan sumber energi angin	140
Gambar 6.24 Pompa dengan penggerak mula turbin angin	141
Gambar 6.25 Grafik kurva head kapasitas.....	143
Gambar 6.26 Kurva head pompa dengan variasi head statis	143
Gambar 6.27 Kurva head pompa dengan kenaikan tahanan.....	144
Gambar 6.28 Grafik head kapasitas dengan variasi operasi pompa	144
Gambar 6.29 Grafik head kapasitas pompa axial	145
Gambar 6.30 Berbagai macam katup	147
Gambar 6.31 Kurva head kapasitas dengan pengaturan katup.....	147
Gambar 6.32 Kurva head kapasitas dengan pengaturan putaran ..	148
Gambar 6.33 Kurva head kapasitas dengan pengaturan sudut impeler.....	149
Gambar 6.34 Kurva head kapasitas dengan pengaturan jumlah pompa	149
Gambar 6.35. Pengaturan kapasitas dengan reservoir atau tandon	150
Gambar 6.36 Pengaturan kapasitas dengan tangki tekan	151
Gambar 7.1 Fluktuasi tekanan pada pompa volut.....	157
Gambar 8.1 Pompa perpindahan positif gerak bolak-balik	160
Gambar 8.2 Pompa perpindahan positif gerak putar (<i>rotary</i>).....	161
Gambar 8.3 Pompa perpindahan positif gerak putar (<i>rotary</i>).....	161

Gambar 8.4 Pompa plunger tekanan tinggi	163
Gambar 8.5 Pompa plunger tekanan tinggi	164
Gambar 8.6 Kapasitas aliran pada pompa torak	164
Gambar 8.7 Macam-macam katup	165
Gambar 8.8 Cara kerja pompa torak	166
Gambar 8.9 Pompa torak	167
Gambar 8.10 Cara kerja pompa diafragma penggerak mekanik..	168
Gambar 8.11 Pompa diafragma penggerak hidrolik	169
Gambar 8.12 Pompa diafragma penggerak pegas mekanik	170
Gambar 8.13 Pompa roda gigi internal eksternal	171
Gambar 8.14 Pompa lobe	172
Gambar 8.15 Pompa lobe dengan 3 buah lobe	173
Gambar 8.16 Pompa ulir dengan 3 buah ulir	173
Gambar 8.17 Proses penekanan zat cair pada pompa 2 buah ulir.	175
Gambar 8.18 Pompa ulir dengan 2 buah ulir	174
Gambar 8.19 Pompa ulir tunggal (<i>progresive cavity single skrup pump</i>)	175
Gambar 8.20 Pompa vane (<i>sliding vane rotary pump</i>)	175
Gambar 8.21 Pompa vane dengan 5 buah vane	175
Gambar 8.22 <i>Flexible tube pump</i>	176
Gambar 8.23 <i>Radial plunger dan axial plunger rotary pump</i>	177
Gambar 8.24 <i>Circumferential piston rotary pump</i>	177
Gambar 9.1 Pompa ban	180
Gambar 9.2 Kompresor udara penggerak motor bakar	181
Gambar 9.3 Proses kerja dari kompresor torak kerja tunggal	182
Gambar 9.4 Proses kerja dari kompresor torak kerja ganda	183
Gambar 9.5 Klasifikasi kompresor	184
Gambar 9.6 Kompresor <i>Vane</i>	185
Gambar 9.7 Kompresor jenis Root	185
Gambar 9.8 Kompresor skrup atau ulir	186

Gambar 9.9 Kompresor torak kerja tunggal	186
Gambar 9.10 Kompresor torak kerja ganda	187
Gambar 9.11 Kompresor sentrifugal satu tingkat.....	187
Gambar 9.12 Kompresor banyak tingkat.....	187
Gambar 9.13 Grafik tekanan kapasitas kompresor	188
Gambar 9.14 Proses kompresi isothermal	190
Gambar 9.16 Perbandingan kerja yang dibutuhkan untuk proses ..	191
kompresi isothermal dan	193
Gambar 9.17 Penghematan kerja pengkompresian dengan memasang kompresor dua tingkat.....	193
Gambar 9.18 Grafik p - V Proses kompresi pada kompresor torak .	198
Gambar 9.19 Kompresor dengan penggerak motor lisrik	201
Gambar 9.19 Kompresor <i>Roots</i>	201
Gambar 9.20 Konstruksi dari pompa vane dan kompresor vane	202
Gambar 9.21 Kompresor torak dengan pendingin udara	203
Gambar 9.23 Kompresor torak dengan pendingin air	203
Gambar 9.24 Konstruksi kompresor torak silinder	204
Gambar 9.25 Konstruksi kompresor torak silinder	204
Gambar 9.26 Konstruksi katup kompresor jenis cincin	205
Gambar 9.27 Konstruksi katup kompresor jenis pita.....	206
Gambar 9.28 Konstruksi katup kompresor jenis kanal.....	206
Gambar 9.29 Konstruksi katup kompresor jenis kepak.....	206
Gambar 9.30 Pengaturan kapasitas kompresor	208
Gambar 9.31 Pelumasan paksa pada kompresor	209
Gambar 9.32 Pelumasan luar kompresor torak	210
Gambar 9.33 Proses pemampatan pada kompresor sekrup	211
Gambar 9.34 Proses pemampatan pada kompresor sekrup injeksi minyak	213
Gambar 9.35 Kompresor sekrup injeksi minyak.....	214
Gambar 9.36 Kompresor sekrup kecil kompak jenis injeksi minyak	215
Gambar 9.37 Kompresor sudu jenis injeksi minyak	216
Gambar 9.38 Kompresor <i>Roots</i> dengan 2 lobe.....	217

Gambar 9.38 Kompresor <i>Roots</i>	218
Gambar 9.40 Kompresor tekanan sedang atau blower	219
Gambar 9.41 Konstruksi kompresor aksial	220
Gambar 9.42 Konstruksi kompresor aksial radial	221
Gambar 10.1 Mesin pembakaran dalam	197
Gambar 10.2 Mesin pembakaran dalam	198
Gambar 10.3 Mesin pembakaran luar	199
Gambar 10.4 Mesin Lenoir	200
Gambar 10.5 <i>Otto langen engin</i> generasi pertama	201
Gambar 10.6 <i>Otto langen engin</i> generasi kedua	202
Gambar 10.7 Prinsip kerja mesin dengan konsep Beau de Rochas	203
Gambar 10.8 Mesin Otto pertama	204
Gambar 10.9 Mesin Otto horizontal.....	204
Gambar 10.10 Dasar kerja dari mesin Diesel.....	205
Gambar 10.11 Mesin Diesel modern	206
Gambar 10.12 Mesin disel 2 langkah	206
Gambar 10.14 Proses kerja 2 langkah	208
Gambar 10.15 Mesin pembakaran dalam	210
Gambar 10.16 Komponen-komponen mesin 4 tak dan 2 tak	211
Gambar 10.17 Komponen mesin multi silinder.....	212
Gambar 10.18 Komponen mesin tampak depan dan samping	213
Gambar 10.19 Komponen mesin mekanik katup dan torak.....	214
Gambar 11.1 Siklus udara volume konstan.....	246
Gambar 11.2 Siklus Udara Tekanan Konstan	247
Gambar 11.3 Mesin otto dan mesin disel	248
Gambar 11.4 Siklus gabungan	249
Gambar 11.5 Siklus aktual otto.....	250
Gambar 11.6 Siklus aktual disel	251
Gambar 11.7 Bagan efisiensi kerja dari motor bakar	252

Gambar 11.8 Grafik efisiensi terhadap rasio kompresi mesin otto..	253
Gambar 12.1 Keseimbangan energi pada motor bakar	256
Gambar 12.2 Diagram prose konversi energi pada motor bakar	257
Gambar 12.3 Properties geometri silinder moto bakar.....	258
Gambar 12.4 Geometri silinder	259
Gambar 12.5 Langkah mesin	260
Gambar 12.6 Volume langkah dan volume ruang bakar.....	261
Gambar 12.7 Skema pengukuran torsi	263
Gambar 12.8 Skema dinamometer	263
Gambar 12.9 Mesin uji elektrik.....	266
Gambar 12.10 Mesin uji mekanis.....	267
Gambar 12.11 Diagram indikator mesin uji mekanik.....	268
Gambar 12.12 Diagram indikator mesin uji elektrik.....	269
Gambar 12.13 Kerja indikator otto	270
Gambar 12.14 Kerja indikator total.....	271
Gambar 12.15 Supercharger pada motor bakar	272
Gambar 12.16 Prinsip turbocharger pada motor bakar.....	273
Gambar 12.17 Instalasi turbocharger pada motor-bakar	274
Gambar 12.18 Perubahan diagram indikator dengan supercharging.....	275
Gambar 12.19 Diagram tekanan rata-rata	276
Gambar 12.20 Diagram indikator rata-rata.....	277
Gambar 13.1 Mesin dan komponen-komponennya	290
Gambar 13.2 Blok silinder model in line.....	290
Gambar 13.3 Blok silinder model V-8.....	291
Gambar 13.4 Model susunan blok silinder	291
Gambar 13.5 Bentuk susunan silinder	293
Gambar 13.6 Bak engkol.....	294
Gambar 13.7 Kepala silinder.....	295
Gambar 13.8 Model ruang bakar	296

Gambar 13.9 Kontruksi torak.....	297
Gambar 13.10 Model torak atau piston	298
Gambar 13.11 Ring piston.....	299
Gambar 13.12 Kontruksi dari batang penghubung.....	300
Gambar 13.13 Poros engkol.....	301
Gambar 13.14 Bantalan.....	302
Gambar 14.1 Pelumasan pada bantalan	305
Gambar 14.2 Proses pelumasan percikan	308
Gambar 14.3 Proses pelumasan paksa dan campur	309
Gambar 14.4 Komponen pelumasan dan sirkulasi pelumas	310
Gambar 14.5 Komponen-komponen pelumasan pada mesin disel	310
Gambar 14.6 Pompa minyak pelumas jenis roda gigi	311
Gambar 14.7 Pompa roda gigi jenis rotor.....	312
Gambar 14.8 Pengatur tekanan minyak.....	312
Gambar 14.9 Peredaran minyak pelumas dan penyaring minyak..	313
Gambar 14.10 Sirkulasi pelumas pada mesin multsilinder	314
Gambar 14.11 Proses pendinginan pada mesin	315
Gambar 14.12 Sirkulasi pendingin air pada kondisi mesin dingin dan mesin panas	316
Gambar 14.13. Model sirkulasi air pendingin	317
Gambar 14.14 Radiator	318
Gambar 14.15 Termostat.....	320
Gambar 14.16 Pendingin udara.....	321
Gambar 14.17 Pendingin udara paksa	321
Gambar 15.1 Mesin uap Hero	322
Gambar 15.2 Azas impuls pada plat datar dan sudu.....	324
Gambar 15.3 Sudu sudu impuls pada rotor turbin uap.....	325
Gambar 15.4 Mesin uap Branca dengan turbin impuls	326
Gambar 15.5 Mesin uap Newton gaya aksi reaksi	326

Gambar 15.6 Gaya aksi reaksi pada balon	327
Gambar 15.7 Segitiga kecepatan pada sudu turbin impuls.....	327
Gambar 15.8 Proses ekspansi pada nosel	328
Gambar 15.9 Fungsi nosel	329
Gambar 15.10 Segitiga kecepatan sudu bergerak turbin reaksi	330
Gambar 15.11 Bentuk sudu tetap turbin impuls	331
Gambar 15.12 Turbin uap impuls satu tahap	331
Gambar 15.13 Susunan turbin uap Curtiss	333
Gambar 15.14 Segitiga kecepatan turbin uap Curtiss.....	334
Gambar 15.15 Segitiga kecepatan turbin uap Rateau	335
Gambar 15.16 Susunan turbin uap Rateau.....	336
Gambar 15.17 Susunan turbin uap Rateau.....	337
Gambar 15.18 Susunan turbin uap Rateau.....	338
Gambar 16.1 Mesin pembakaran dalam (turbin gas dan motor bakar)	340
Gambar 16.2 Perbandingan turbin gas dan mesin disel	341
Gambar 16.3 Pesawat terbang pendahulu dengan turbin gas.....	343
Gambar 16.4 Perkembangan turbin gas menjadi mesin modern....	343
Gambar 16.5 Turbin gas pesawat terbang	344
Gambar 16.6 Turbin gas untuk industri (pembangkit listrik).....	345
Gambar 16.7 Ruang bakar dan proses pembakaran turbin gas	347
Gambar 17.1 Diagram $p-v$ dan $T-s$	351
Gambar 17.2 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka langsung	352
Gambar 17.3 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung.....	355
Gambar 17.4 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung.....	355
Gambar 17.5 Bagan kerja turbin gas sistem tertutup langsung	337

Gambar 17.6 Bagan kerja turbin gas sistem tertutup tak langsung	338
Gambar 17.7 Turbin gas industri dengan dua poros dan dua turbin.....	339
Gambar 17.10 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung	
dengan pemasangan pemanas awal atau <i>REGENERATOR</i>	346
Gambar 17.11 Diagram <i>t-s</i> turbin gas dengan regenerator.....	346
Gambar 17.12 Diagram <i>t-s</i> turbin gas sistem tertutup dengan regenerator.....	347
Gambar 17.13 Diagram <i>t-s</i> turbin gas sistem terbuka dengan regenerator.....	348
Gambar 17.14 Diagram <i>p-v</i> kompresor bertingkat dengan <i>intercooler</i>	350
Gambar 17.15 Bagan dan diagram <i>p-v</i> turbin gas dengan <i>intercooler</i> , <i>regenerator</i> dan <i>reheater</i>	351
Gambar 20.1 Turbin gas dan komponen-komponennya	352
Gambar 20.2 Turbin gas dan komponen-komponennya	353
Gambar 20.3 Turbin gas mini dan komponen-komponennya.....	354
Gambar 20.4 Pusat pembangkit tenaga gabungan	355
Gambar 20.5 Rotor Turbi gas	356
Gambar 20.6 Ruang bakar turbin gas	357
Gambar 20.7 Ruang bakar turbin gas	357
Gambar 20.8 Ruang bakar turbin gas pesawat terbang.....	358
Gambar 20.9 Ruang bakar turbin gas pindustri.....	359
Gambar 20.10 Kompresor tubin axial	360
Gambar 20.11 Kompresor radial dengan diffuser.....	360
Gambar 20.12 Bentuk dari sudu jalan turbin	360
Gambar 20.13 Turbin gas skala industri	363

Gambar 21.1 Instalasi sistem pembangkit uap	365
Gambar 21.2 Bagan siklus Rankin	
Gambar 21.3 Bagan siklus Rankin.....	366
Gambar 21.4 Diagram siklus aktual Rankine	367
Gambar 21.5 Proses ireversibeliti pada pompa dan turbin	368
Gambar 21.6 a. sirkulasi alamiah.....	369
Gambar 21.6 b. sirkulasi paksa.....	369
Gambar 21.7 Boiler pipa api (<i>fire tube boiler</i>)	370
Gambar 21.8 Boiler pipa api (<i>fire tube boiler</i>) 2 pass.....	371
Gambar 21.9 Boiler pipa api (<i>fire tube boiler</i>) 2 pass.....	371
Gambar 21.10 Boiler pipa air model horizontal	372
Gambar 21.11 Boiler pipa air model vertikal	372
Gambar 21.12 Bentuk sudu-sudu turbin uap	373
Gambar 21.13 Model susunan sudu sudu pada TU.....	373
Gambar 21.14 Turbin uap dan profil sudu sudu dengan segitiga kecepatan.....	374
Gambar 21.16 Kondensor dengan pendingin udara	376
Gambar 21.17 Kondensor dengan pendingin air	376
Gambar 21.22. Vaporising burner	380
Gambar 21.23. Pressure jet burner.....	381
Gambar 21.24 Twin fluid atomizer burner.	381
Gambar 21.26 <i>Aerated burner</i>	382
Gambar 21.25 Non aerated burner.....	382
Gambar 21.27 <i>Pulvizer fuel burner</i>	384
Gambar 21.28. <i>Underfeed stoker</i>	384
Gambar 21.29 <i>Fixed grate burner</i>	385
Gambar 21.31. <i>Fluidized bed stoker</i>	386
Gambar 22.1 Waduk sebagai sumber energi potensial air	387
Gambar 22.2 Instalasi Turbin air pada aliran sungai.....	388

Gambar 22.3 Instalasi pembangkit listrik tenaga air (<i>Micro Hydro</i>)	388
Gambar 22.4 Roda air kuno	390
Gambar 22.5 Turbin Fourneyron	390
Gambar 22.6 Turbin Fourneyron	391
Gambar 22.7 Tipe turbin air yang paling populer	392
Gambar 22.8 Tingkat head sumber air	393
Gambar 22.10 Perubahan energi pada instalasi turbin air	396
Gambar 22.12 Prinsip impuls dan reaksi pada roda jalan pelton dan francis	399
Gambar 22.11 Prinsip impuls dan reaksi	398
Gambar 22.13 instalasi PLTA dengan turbin air jenis pelton 6 nosel	402
Gambar 23.1 Kincir air	405
Gambar 23.2 Turbin inpuls dan proses penyemprotan	406
Gambar 23.3 Roda jalan turbin pelton	407
Gambar 23.4 Instalasi Turbin Pelton poros horizontal	407
Gambar 23.5 Instalasi turbin pelton poros vertikal	409
Gambar 23.6 Pengaturan nosel pada turbin pelton	409
Gambar 23.7 Konstruksi dari turbin impuls ossberger	410
Gambar 23.9 Aliran air masuk turbin Francis	412
Gambar 23.10 Instalasi turbin francis	412
Gambar 23.11 Turbin kaplan dengan sudu jalan yang dapat diatur	413
Gambar 23.12 Instalasi pembangkit dengan turbin kaplan	414
Gambar 24.1 Refrigerator	418
Gambar 24.2 Instalasi penyegar udara rumah	422
Gambar 24.3 Beban pendinginan	425
Gambar 24.4 Beban pemanasan	426
Gambar 25.1 Prinsip dasar dari mesin pendingin dan pemanas	429
Gambar 25.2 Daur refrigersi carnot	430

Gambar 25.3 Diagram t-s daur refrigerasi carnot	
Gambar 25.5 Diagram t-s siklus kompresi uap	433
Gambar 25.6 Diagram p-h daur kompresi uap.....	433
Gambar 25.7 Daur kompresi uap aktual	434
Gambar 25. 4 Daur refrigerasi kompresi uap	432
Gambar 25.8 Bagan mesin <i>Air Conditioner</i>	436
Gambar 25.9 Aliran refrigeran didalam saluran pipa.....	437
Gambar 25.10 Mesin pendingin sekaligus pemanas	441
Gambar 25.11 Skema refrigerasi absorpsi.....	442

ISBN 978-979-060-085-0
ISBN 978-979-060-087-4

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 14.762,00