



TEKNIK ALAT BERAT JILID 1

untuk SMK

Budi Tri Siswanto.



Budi Tri Siswanto

# Teknik Alat Berat

JILID 1

untuk  
Sekolah Menengah Kejuruan



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

Budi Tri Siswanto

# TEKNIK ALAT BERAT

## JILID 1

**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 ALAT BERAT

## JILID 1

Untuk SMK

Penulis : Budi Tri Siswanto

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 18,2 x 25,7 cm

SIS t	SISWANTO, Budi Tri Teknik Alat Berat Jilid 1 untuk SMK /oleh Budi Tri Siswanto ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008. V 198 hlm Daftar Pustaka : A1-A2 ISBN : 978-979-060-047-8 978-979-060-048-5
----------	--

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 kehadiran 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, pada tahun 2008, telah melaksanakan penulisan pembelian hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui *website* bagi siswa SMK.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 12 tahun 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 di seluruh Indonesia.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional tersebut, 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 ditayangkannya *soft copy* ini akan lebih memudahkan bagi masyarakat untuk mengaksesnya sehingga peserta didik dan pendidik di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Selanjutnya, 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,  
Direktur Pembinaan SMK

## Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Mahaesa atas karuniaNya hingga kami dapat menyelesaikan penulisan buku Teknik Alat Berat untuk SMK ini. Rasa syukur ini kami panjatkan pula seiring dengan salah satu tujuan penulisan ini sebagai upaya peningkatan mutu pendidikan melalui peningkatan mutu pembelajaran yang antara lain diimplementasikan dengan penyediaan sumber belajar dan buku teks pelajaran. Penyediaan sumber belajar berupa buku teks kejuruan yang sesuai dengan tuntutan Standar Pendidikan Nasional khususnya Standar Isi dan Standar Kompetensi Kelulusan SMK.

Buku Teks TEKNIK ALAT BERAT untuk SMK ini menguraikan konsep-konsep alat berat secara akurat dan informatif dengan bahasa yang mudah dipahami. Materi yang disajikan dalam buku ini disesuaikan dengan pola berpikir siswa dan berkaitan erat dengan dunia nyata yang dihadapi siswa. Urutan materi juga disesuaikan dengan pengetahuan dan kompetensi yang harus dikuasai yang sudah dirumuskan dalam Standar Kompetensi Nasional Bidang Keahlian Alat Berat dengan urutan pembahasan topik yang dibuat selogis mungkin dengan tahapan kemampuan kompetensi yang harus dikuasai.

Buku ini juga memberi pengetahuan yang luas sebagaimana tuntutan KTSP (Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan), dimana KTSP membawa nuansa baru yang lebih kreatif karena guru diberi kebebasan untuk merancang pembelajaran sesuai dengan kondisi lingkungan. Kehadiran buku ini diharapkan dapat memberikan inspirasi bagi terciptanya pembelajaran yang menarik disamping memberi informasi materi yang lengkap tentang alat berat.

Kelebihan yang ditawarkan dari buku ini adalah sistematika penyampaian materinya yang runtut, pembahasan yang tajam dan mendalam dengan bahasa teknik yang tegas dan lugas, juga sarat dengan gambar-gambar penjelas tersaji dengan apik dalam buku ini. Namun

---

## kata pengantar

buku baru merupakan buku rujukan umum, akan dilengkapi buku-buku yang secara teknis merupakan semacam buku pedoman perbaikan dan perawatan berbagai alat berat. Karena banyak dan bervariasinya jenis, merek, type dan model alat berat, maka kehadiran buku pelengkap (terutama untuk menjelaskan secara teknis dan rinci bab 5 keatas) sangat diperlukan dan diharap para penulis lain untuk dapat menyediakannya.

Tersusunnya buku ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada seluruh keluarga penulis yang dengan sabar dan keikhlasan hati memberi kesempatan dan mengorbankan waktu keluarga untuk membiarkan penulis berkarya. Tanpa pengertian itu, buku ini takkan terselesaikan dengan baik. Tak lupa terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan buku ini.

Harapan penulis, semoga buku ini bermanfaat, terutama bagi siswa-siswa SMK dan guru SMK sebagai referensi dalam proses pembelajaran. Buku ini tentu masih jauh dari sempurna, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang.

Salam

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>Judul Buku : Teknik Alat Berat</b>	3.4.5. Pengukur kecepatan aliran fluida	72
	3.5. Fluida Hidrolik	74
Pengantar Direktur Pembinaan SMK	i 3.5.1. Jenis-jenis cairan yang digunakan	74
Kata Pengantar	ii 3.5.2. Sifat-sifat Oli hidrolik & zat aditif	75
Daftar Isi	iv 3.5.3. Jenis-jenis fluida hidrolik	84
	3.5.4. Pemeliharaan fluida hidrolik	93
	3.6. Sistem hidrolik	94
	3.6.1. Komponen sirkuit dasar	94
	3.6.2. Simbul-simbul & istilah system hidrolik	97
	3.7. Sirkuit penyuplai tenaga	117
	3.7.1. Sirkuit pompa hidrolik	117
	3.7.2. Kelas pompa	119
	3.7.3. Jenis-jenis pompa hidrolik	123
	3.7.4. Klasifikasi pompa hidrolik	143
	3.7.5. Efisiensi pompa	144
	3.8. Distribusi pada Sistem Hidrolik	150
	3.8.1. Reservoir	150
	3.8.2. Filter atau saringan	155
	3.8.3. Pendinginan Oli	163
	3.8.4. Pipa Saluran	164
	3.9. Meter-in, Meter-out dan Bleed off	187
	3.9.1. Meter-in	187
	3.9.2. Meter Out	188
	3.9.3. Bleed Off	189
<b>JILID 1</b>		
<b>1. Pendahuluan</b>	<b>1</b>	
<b>2. Pengukuran</b>	<b>19</b>	
2.1. Pengertian pengukuran	7	
2.2. Besaran dan satuan	8	
2.3. Besaran pokok dan turunan	9	
2.4. Konversi, ketelitian, Standar alat ukur	11	
2.5. Pengukuran Karakteristik umum fluida	13	
2.5.1. Dimensi, kehomogenan dimensi, dan satuan	15	
2.5.2. Hukum Archimedes	17	
2.5.3. Tegangan permukaan	22	
2.5.4. Gejala meniscus	25	
2.5.5. Gejala kapilaritas	26	
2.5.6. Viskositas	29	
2.5.7. Bilangan Reynold (Re)	32	
<b>3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik</b>	<b>33</b>	
3.1. Massa, tekanan, gaya	47	
3.2. Tekanan hidrolis	49	
3.3. Hidrostatika	49	
3.3.1. Tekanan hidrostatik	49	
3.3.2. Tekanan akibat gaya luar ( Pascal)	50	
3.3.3. Perpindahan gaya hidrolik	51	
3.3.4. Bentuk dasar system hidrolik	56	
3.3.5. Diagram dasar Sirkuit Hidrolik	61	
3.4. Hidrodinamika	62	
3.4.1. Fluida ideal	62	
3.4.2. Kontinuitas	64	
3.4.3. Asas & persamaan Bernoulli	66	
3.4.4. Aplikasi persamaan Bernoulli	70	
<b>JILID2</b>		
<b>4. Komponen Alat Berat</b>	<b>199</b>	
4.1. Engine/penggerak mula	199	
4.2. Penggerak mula motor diesel	212	
4.3. Penyuplai energi hidrolik	231	
4.3.1. Reservoir	236	
4.3.2. Filter	239	
4.3.3. Perawatan Filter	244	
4.3.4. Type Elemen Filter	246	
4.3.5. Pompa hidrolik	250	
4.4. Katup-katup Kontrol	273	
4.4.1. Jenis-jenis katup control	273	
4.4.2. Katup Direct Acting	283	
4.4.3. Jenis-jenis katup pada alat berat	292	
4.4.4. Kontrol Valve & simbul-simbulnya	297	
4.5. Aktuator dan akumulator	327	
4.5.1. Silinder Hidrolik	327	
4.5.2. Hidrolik motor	340	



# 1

## Pendahuluan

Pemanfaatan energi hidrolik (*hydraulic power*) atau energi fluida bertekanan (*fluid power*) menyusul energi-energi yang lebih dulu ada seperti energi mekanik, energi listrik, energi elektronik, energi udara bertekanan atau pneumatik, energi kimia/fisika, energi *automotive* serta energi konvensional lainnya seperti air, angin, uap, surya tak pelak lagi menyebabkan makin luasnya penggunaan berbagai energi untuk kemudahan manusia. Pemunculan energi baru itu akan memunculkan pula teknologi. Teknologi yang tercipta itu akan memunculkan teknologi yang lebih baru. Dengan demikian perkembangannya menjadi sangat cepat. Termasuk teknologi baru itu adalah penggunaan kombinasi dari berbagai jenis energi itu seperti : hidromekanik (energi hidrolik dengan mekanik), mekatronik (energi mekanik dengan elektronik), elektropneumatik (energi elektrik dengan pneumatik), elektrohidrolik (energi elektrik dengan hidrolik), autotronik (energi *automotive* dengan elektronik), autoelektronik (energi *automotive* dengan elektronik, autohidrolik (energi *automotive* dengan hidrolik) dan sebagainya.

Kita ketahui bersama, diantara banyak cabang-cabang ilmu dan teknologi bidang perpindahan energi yang sudah berkembang, hidrolik merupakan salah satu energi yang mempunyai perkembangan pesat. Sistem hidrolik dapat dikategorikan suatu energi yang kuno namun juga moderen. Pemakaian sudu-sudu air mengawali sejarah hidrolik. Selanjutnya penggunaan energi fluida bertekanan untuk menggerakkan dan mengontrol gerakan-gerakan rumit dan kompleks dalam tiga atau empat dekade ini terbukti paling pesat dan maju perkembangannya.

Perkembangan teknologi hidrolik yang sangat pesat merambah di berbagai sektor. Tidak ketinggalan pemanfaatan energi hidrolik dalam bidang teknik mesin maupun teknik otomotif. Dalam bidang teknik mesin, penggunaan sistem hidrolik sudah memasuki berbagai peralatan misalnya mesin pres hidrolik, mesin *milling* hidrolik, *elevating platform* (meja pengangkat), *rocking lever* (tuas pengayun), meja pengangkat untuk mengisi dan mengeluarkan, alat-alat pengangkut dan penyortir, gerakan pada jalur pendingin dan sebagainya pada industri baja merupakan sedikit contoh aplikasi sistem hidrolik. Selain itu masih pada industri baja, jalur "pemotong besi strip" yang serba otomatis juga menggunakan sistem hidrolik. Pada mesin perkakas, sistem hidrolik sangat luas digunakan. Ciri yang menonjol dari sistem hidrolik pada saat ini adalah kepresisian dan energinya yang sangat besar. Bahkan pada peralatan produksi yang

digunakan secara luas, hasil optimum dapat dicapai pada tingkat yang mengagumkan dengan sistem yang telah teruji.

Jika kita menggunakan telepon, memegang botol larutan pencuci atau jika kita melihat anak bermain dengan mainan plastik, kita jarang ingat pada permesinan yang memproduksi peralatan rumah tangga itu. Ada beribu-ribu mesin untuk pemrosesan bahan plastik, dan mesin-mesin tersebut dilengkapi dengan sistem-sistem perpindahan energi secara hidrolik untuk gerakan plat, untuk pemegang perkakas kerja, dan untuk penyetelan gaya dan kecepatan penutup. Pada alat-alat pengangkat di pelabuhan atau di pabrik-pabrik, perangkat hidrolik melakukan gerakan menyisir dan pengangkatan roda gigi atau pada mekanisme-mekanisme perputaran peralatan tersebut. Perangkat hidrolik tidak hanya digunakan pada peralatan seperti diatas, namun juga pada peralatan bongkar muat bagasi di airport.

Perlengkapan hidrolik yang spesifik membuat mesin-mesin ini menjadi menonjol dalam jenis pengendalian serta sederhana dan ekonomis. Bahkan dalam operasi yang kompleks, kita dapat menggabungkannya dengan sistem energi lain dengan mudah. Dengan kemampuannya untuk dapat diintegrasikan dengan berbagai kelompok pengendali energi lain menjadi modul-modul yang standar pada suatu mesin, maka hal ini merupakan langkah besar ke arah perkembangan lebih lanjut pada mesin perkakas pemotong logam di masa mendatang. Sebuah penggambar hidro-mekanik (*hydro-mechanical tracing*) merupakan contoh perangkat hidrolik presisi pada suatu mesin bubut. Penerapan hidrolik pada mesin-mesin pres sangat luas diterapkan saat ini. Faktor keamanan untuk manusia dan mesin selalu terjamin, juga penggunaan yang sangat bertenaga (*powerful*) dan kapasitas produksi yang sangat memuaskan. Saat ini juga telah tersedia mesin pengepres untuk mengubah logam mobil bekas menjadi kumpulan logam yang lebih kompak. Proses ini dikerjakan secara hidrolik dan melalui 3 tahap : (1) pembebanan dan pemotongan. (2) tekanan vertikal, (3) pengepresan horizontal dan pelontaran kumpulan logam ke *conveyor*.

Di bidang teknik otomotif, penggunaan energi hidrolik sudah cukup lama. Sejak 1920 penggunaan hidrolik telah banyak digunakan antara lain pada rem mobil (*hydraulic brakes*), transmisi otomatis (*automatic transmission*), sistem pengemudian dengan bantuan hidrolik (*power steering*), pengaturan tempat duduk (*power seats*), energi untuk pembuka/penutup kaca (*power windows*), dan pembuka/penutup atap mobil (*automatic convertible tops*). Sekarang penggunaan energi fluida ini sangat luas dan umum kita jumpai pada alat/kendaraan berat seperti pada *forklift, hydraulic crawler cranes, bulldozer, motor grader, shovel, crushers,*

*loader, excavator/backhoe (bego, bigo, begu-Jw), dump truck, compactor,* dan lain-lain dalam pekerjaan properti atau teknik sipil.

Suatu program rasionalisasi bagi penghematan ongkos dengan menggunakan perangkat hidrolik telah membawa banyak perubahan penting dan beberapa penyempurnaan di bidang desain dan pengepasan kapal baik diatas maupun di bawah dek. Dengan pengemudian dan tolakan buritan yang dapat diatur secara hidrolik dapat menjamin manuver kapal-kapal samudra berukuran raksasa di pelabuhan. Pengosongan muatan pada kapal tangker dikendalikan pula secara hidrolik melalui saluran pipa yang rumit pada kapal-kapal tersebut. Contoh lain adalah pengoperasian jaring-jaring pada kapal nelayan. Pekerjaan berat ini dapat dipermudah dan dilakukan dengan singkat jika digunakan derek-derek hidrolik.

Pada bidang lain misalnya sistem perlindungan pantai dan kanal yang sangat penting dan menyangkut pekerjaan besar, dapat dilakukan secara ekonomis dengan pengendalian hidrolik dan sistem pengaturannya. Guna melawan gaya-gaya alam yang sangat kuat, dibutuhkan silinder hidrolik besar yang dapat bergerak dan bertindak sebagai pelindung terhadap bahaya banjir pasang, sehingga penduduk sekitar daerah itu dapat hidup dengan aman. Dengan menggunakan perangkat hidrolik kanal-kanal di Eropa mampu meningkatkan daya angkut barang dengan memasang perangkat hidrolik pada gerbang kunci (*lock gate*) yang berderet, sehingga pengangkutan barang menjadi cepat dan aman, baik ke hulu maupun ke hilir.

Contoh yang mengagumkan dari kanal dengan permukaan yang dapat naik turun (*shift lifting channel*) telah diterapkan di terusan Elbe (Swedia), beda tinggi yang dapat dicapai adalah 36 meter. Dalam kanal ini perangkat hidrolik dipergunakan untuk mengoperasikan berbagai dinding penutup, plat pengangkat dan penyangga. Sistem yang sama, digunakan pada sistem buka dan tutup jembatan gantung dan gerbang kunci (*lock gate*) di berbagai kota di dunia.

Peralatan hidrolik digunakan pada alat-alat pengangkat dan pengangkut pada mesin yang beroperasi di pertambangan, juga bor minyak pada anjungan-anjungan yang beroperasi di Laut Utara. Traktor dan mesin-mesin pertanian yang dihubungkan dengan perangkat hidrolik, memainkan peranan penting dalam industri pertanian. Sistem pengendalian yang rumit dari antena satelit bumi (misal satelit Palapa), yang dapat mengirim sinyal antar benua dan memerlukan tingkat kepresisian yang tinggi saat digerakkan, diatur dan dikendalikan dengan hidrolik yang terjamin akan keamanan dan fungsinya. Uraian diatas menunjukkan aplikasi sistem hidrolik digunakan sangat luas.

Tidak ketinggalan pada aplikasi sistem hidrolik yang digunakan pada kendaraan alat berat (*heavy machinery*). Alat berat merupakan kombinasi pemanfaatan energi otomotif (penggerak mula berupa motor penggerak mula bensin maupun diesel) dengan energi hidrolik. Aplikasi hubungan antara sumber penggerak (mesin bensin/diesel) dan tenaga hidrolik yang dikeluarkan yang harus sedekat mungkin dan mempunyai kerugian yang minimum dengan mobilitas yang tinggi, menjadikan kendaraan alat berat merupakan jawaban akan kebutuhan peralatan yang mampu bekerja dengan tenaga yang besar dan mobilitas tinggi.

Pada mesin/alat berat konstruksi mutakhir, perpindahan energi hidrolik berhasil memecahkan persoalan mekanik tersebut dengan cara yang lebih sederhana dan efektif. Karena pemindahan energi fluida dapat dilakukan dengan selang fleksibel ke aktuator guna menggerakkan bagian-bagiannya. Kita dapat menemukan sistem aliran tenaga langsung pada *excavator* (mesin penggali tanah). Perangkat hidrolik mempunyai banyak keunggulan pada variasi yang tidak terbatas dari traksi dan kecepatan, yang dapat diterapkan pada transmisi hidrolik mesin konstruksi. Macam mesin dan variasi kegunaan saat ini sangat luar biasa banyaknya.

Pertanyaan yang sering kita jumpai “Apakah hidrolik itu?”, “Apakah alat berat itu?”, “Bagaimana aplikasi hidrolik pada kendaraan alat berat?”, “Bagaimana sistem dan konstruksi alat berat, sehingga demikian besar energi yang dapat dihasilkan?”

Semua pertanyaan ini akan terjawab dengan membaca buku ini. Buku **Teknik Alat Berat** ini ditulis berdasarkan kebutuhan akan pengetahuan teori dasar, dasar kejuruan dari hidrolik dan alat berat serta kompetensi praktik dasar tentang komponen, sistem kerja, pengoperasian, perawatan pada alat berat yang pada mulanya disesuaikan dengan kompetensi yang harus dikuasai para lulusan program keahlian mekanik alat berat di SMK. Namun tidak tertutup kemungkinan dapat dijadikan sebagai referensi bagi berbagai kalangan seperti mahasiswa, guru, teknisi, instruktur, operator, para praktisi lain yang berkecimpung dalam bidang teknik alat berat. Ditulis dalam bahasa teknis yang mudah dipahami dari A-Z tentang alat berat dengan dilengkapi gambar-gambar sebagai pelengkap uraian yang cukup panjang.

Buku teks SMK tentang Teknik Alat Berat ini disusun dengan mempertimbangkan kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh lulusan SMK program keahlian mekanik alat berat baik secara teoritis maupun praktis. Untuk memenuhi keluasan yang demikian maka isi dalam seluruh buku dalam 9 bab ini mempertimbangkan pengetahuan teori yang mendasari teknik alat berat antara lain dimulai dari fisika (besaran, satuan, konversi, ketelitian, pengukuran, alat ukur dan lain-lain), mekanika fluida

(tekanan, hidrostatika, hidrodinamika, karakter fluida, fluida hidrolik, sistem hidrolik, dasar-dasar hidrolik dan lain-lain) sampai pengetahuan dan ketrampilan teknis alat berat (*engine*, penyuplai energi, katup kontrol, aktuator & akumulator, semua sistem yang ada di alat berat, semua jenis alat berat, pengoperasian alat berat, perawatan sistem maupun jenis alat berat, pelepasan & pemasangan dan lain-lain).

Karena ini adalah buku teks pengantar dengan keluasan yang besar, kami telah merancang penyajian bahan untuk memungkinkan perkembangan secara bertahap akan pemahaman siswa dalam pengetahuan dan ketrampilan teknik alat berat. Setiap konsep penting ditinjau dalam cara yang sederhana dan mudah dimengerti sebelum hal rumit di bahas. Di keseluruhan buku teks ini secara konstan digunakan satu sistem satuan yaitu Sistem Internasional. Kami yakin bahwa siswa perlu mengetahui dan terbiasa dengan satuan tersebut.

Dalam tiga bab pertama, siswa diperkenalkan pada pengetahuan yang mendasari teknik alat berat, yakni perpektif aplikasi hidrolik pada alat berat, pengukuran dalam gejala fisika, dan prinsip-prinsip dasar hidrolik yang meliputi mekanika fluida dan sistem hidrolik. Bab 1 Pendahuluan memberikan perspektif kepada siswa tentang aplikasi hidrolik pada alat berat yang diuraikan dengan pengertian hidrolik, alat berat, dan gambaran buku yang dibahas dalam bab per bab. Bab 2 Pengukuran memberi pengetahuan pada siswa tentang pengertian pengukuran gejala fisika, besaran dan satuan (pokok dan turunan), ketelitian, standar alat ukur dan karakteristik umum fluida. Bab 3 Prinsip-prinsip dasar hidrolik membahas perbandingan sistem hidrolik dengan sistem energi yang lain, prinsip sistem hidrolik, skema dan sistem hidrolik, keuntungan dan kelemahan sistem hidrolik, tekanan hidrolik, hidrostatika, hidrodinamika, fluida hidrolik, sistem hidrolik, perancangan diagram sirkuit, diagram sirkuit penyuplai tenaga, seleksi komponen alat berat, sistem distribusi pada alat berat, sistem reservoir, panas dalam perpindahan fluida, dan medium transmisi dalam hidrolik.

Lima bab berikutnya dari bab 4 sampai akhir buku (bab 9) isi buku menyangkut pengetahuan teori dan teknis ketrampilan praktis yang harus di capai dan dikuasai oleh siswa. Bab 4 Komponen Alat Berat sudah membicarakan *engine*/penggerak mula, penyuplai energi hidrolik, katup-katup kontrol, aktuator dan akumulator, sistem pemindah tenaga hidrolik, sistem kemudi, rem dan roda gigi tirus, *frame*/kerangka alat berat, *drive line*, roda dan ban, serta *under carriage*. Bab 5 membicarakan lebih lanjut sistem dan konstruksi alat berat meliputi gambaran umum alat berat, struktur dan fungsi, gambaran cara kerja alat berat dan komponennya pada *Gantry Crane*, *Hydraulic Crawler Crane*, *Hydraulic Excavator type Backhoe*,

*Hydraulic Excavator type Shovel, Motor Grader, Bulldozer, Bulldozer Logging, Forklift, Dumptruck, Articulated Dumptruck, Truk jenis Rigid, Truk jenis semi trailer, Truk jenis Full Trailer, Wheel Loader, Compactor, dan Genset.*

Bab 6 membicarakan sistem kelistrikan pada Alat Berat meliputi dasar-dasar kelistrikan, komponen dasar dan sistem kelistrikan pada alat berat, standar perawatan kelistrikan.

Bab 7 membicarakan pengoperasian Alat Berat yang aman meliputi bagaimana : bekerja dengan aman, komunikasi di tempat kerja, perencanaan dan pengorganisasian kerja, pengontrolan bahaya/resiko di tempat kerja, pertolongan pertama pada kecelakaan, serta keselamatan dan kesehatan kerja.

Bab 8 menguraikan Perawatan dan Perbaikan alat berat yang ruang lingkupnya meliputi : Dasar-dasar perawatan dan perbaikan, Perawatan harian (10 jam), mingguan (50 jam), bulanan (250 jam). Juga antara lain dibahas Penggunaan Hand Tools, Penggunaan Power Tools, Penggunaan Measuring Tools, Penggunaan Special Tools, Penggunaan Diagnostic Tools, Penggunaan Workshop Equipment, Penggunaan Jacking & Blocking, Penggunaan Seal & Bearing.

Bab 9 berisi uraian Pelepasan & Pemasangan Komponen Alat Berat : **Komponen Alat Berat, Engine, Powertrain, Undercarriage, Sistem Kelistrikan.**

**2****Pengukuran****2.1. Pengertian Pengukuran**

Fisika sebagai induk mekanika-mekanika fluida-hidrolik-alat berat memerlukan pengukuran-pengukuran yang sangat teliti agar gejala yang dipelajari dapat dijelaskan (dan bisa diramalkan) dengan akurat. Sebenarnya pengukuran tidak hanya mutlak bagi fisika, tetapi juga bagi bidang-bidang ilmu lain termasuk aplikasi dari ilmu tersebut. Dengan kata lain, tidak ada teori, prinsip, maupun hukum dalam ilmu pengetahuan alam yang dapat diterima kecuali jika disertai dengan hasil-hasil **pengukuran** yang akurat.

Apakah yang dimaksud dengan pengukuran ? Untuk mengetahui hal tersebut, perhatikan uraian berikut : misalnya anda bersama teman anda melakukan pengukuran panjang meja dengan jengkal tangan. Hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan satuan jengkal. Misalnya, jika menggunakan jengkal tangan anda, maka hasilnya panjang meja itu sama dengan 25 jengkal tangan. Akan tetapi jika menggunakan satuan jengkal tangan teman anda maka panjang meja itu sama dengan 23 jengkal tangan. Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran itu tergantung pada satuan yang digunakan. Dengan demikian pengukuran didefinisikan sebagai suatu proses membandingkan suatu besaran dengan besaran lain (sejenis) yang dipakai sebagai satuan. Satuan adalah pembanding di dalam pengukuran.

Pada kegiatan diatas, yaitu mengukur panjang meja yang dinyatakan dengan angka, maka panjang merupakan besaran. Jadi segala sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka atau nilai disebut besaran. Misalnya panjang meja itu 100 sentimeter, maka **panjang** merupakan **besaran** dengan **100** sebagai **nilai** dan **sentimeter** sebagai **satuan**, atau massa meja itu 20 kilogram, maka massa merupakan besaran dengan 20 sebagai nilai dan kilogram sebagai satuan. *Besaran adalah `sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka atau nilai dan memiliki satuan. Satuan adalah pembanding di dalam pengukuran.*

**Pengukuran** adalah membandingkan sesuatu dengan sesuatu yang lain yang dianggap sebagai patokan. Jadi dalam pengukuran terdapat dua faktor utama yaitu perbandingan dan patokan (standar). Di kelas 1 SMP kita telah mempelajari pokok bahasan pengukuran. Disini kita hanya akan mengulangi sebagian saja, untuk menyegarkan pemahaman kita tentang apa-apa saja yang terdapat dalam pengukuran.

## 2.2. Besaran dan satuan

Sifat-sifat dari suatu benda atau kejadian yang kita ukur, misalnya panjang benda, massa benda, lamanya waktu lari mengelilingi sebuah lapangan disebut besaran, besaran apa saja yang bisa kita ukur dari sebuah buku ? Pada sebuah buku, kita bisa mengukur massa, panjang, lebar, dan tebal buku. Bagaimanakah kita menyatakan hasil pengukuran panjang buku? Misalnya panjang buku sama dengan 25 sentimeter; sentimeter disebut satuan dari besaran panjang. Massa buku sama dengan 1 kilogram; kilogram disebut satuan dari besaran massa. Jadi satuan selalu mengikuti besaran, tidak pernah mendahuluinya. Di masyarakat kita kadang-kadang terdapat satuan-satuan yang tidak standar atau tidak baku, misalnya satuan panjang dipilih *depa* atau *jengkal*. Satuan tersebut tidak baku karena tidak mempunyai ukuran yang sama untuk orang yang berbeda. Satu jengkal orang dewasa lain dengan satu jengkal anak-anak. Itulah sebabnya jengkal dan depa tidak dijadikan satuan yang standar dalam pengukuran fisika.

Apakah syarat yang harus dimiliki suatu satuan agar bisa menjadi satuan standar ? Beberapa syarat utama adalah sebagai berikut :

1. *Nilai satuan harus tetap*, baik dalam cuaca panas atau dingin, bagi orang dewasa maupun bagi anak-anak, dan terhadap perubahan-perubahan lingkungan lainnya. Sebagai contoh, jengkal tidak bisa dijadikan satuan baku karena berbeda-beda untuk masing-masing orang, sementara meter berlaku sama baik untuk orang dewasa maupun anak-anak. Oleh karena itu, meter bisa digunakan sebagai satuan standar.
2. *Mudah diperoleh kembali (mudah ditiru)*, sehingga orang lain yang ingin menggunakan satuan tersebut dalam pengukurannya bisa memperolehnya tanpa banyak kesulitan. Satuan massa yaitu kilogram, mudah diperoleh kembali dengan membandingkannya. Dengan demikian, kilogram dapat digunakan sebagai satuan standar. Dapat kita bayangkan, betapa repotnya jika suatu satuan sulit dibuat tiruannya sehingga di dunia hanya ada satu-satunya satuan standar tersebut. Orang lain yang ingin mengukur besaran yang bersangkutan harus menggunakan satu-satunya satuan standar tersebut untuk memperoleh hasil yang akurat.
3. Satuan harus diterima secara internasional. Ini berkaitan dengan kepentingan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dengan diterimanya suatu satuan sebagai satuan internasional maka ilmuwan dari satu negara dapat dengan mudah memahami hasil pengukuran dari ilmuwan negara lain.

Sistem satuan yang paling banyak digunakan di seluruh dunia, yang berlaku secara internasional adalah sistem satuan SI, kependekan dari bahasa Prancis *Système International d'Unités*. Sistem ini diusulkan pada *General Conference on Weights and Measures of the International Academy of*

*Science* pada tahun 1960. Dalam sistem satuan ini, terdapat tujuh besaran yang disebut sebagai **besaran pokok**.

### 2.3. Besaran pokok dan turunan

#### Besaran pokok

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah didefinisikan terlebih dulu. Tujuh besaran pokok dalam sistem satuan SI adalah :

Panjang (meter)

Massa (kilogram)

Waktu (sekon)

Kuat arus listrik (ampere)

Suhu (kelvin)

Intensitas cahaya (candela)

Jumlah zat (mol)

Satuan-satuan seperti meter, kilogram, dan sekon tersebut sudah didefinisikan terlebih dahulu. Bagaimanakah definisi satuan-satuan dari besaran pokok tersebut? Pada penjelasan berikut akan dipaparkan definisi dari tiga besaran pokok yaitu panjang, massa, dan waktu, sementara satuan besaran-besaran lain akan kita bahas ketika kita membahas pokok bahasan yang bersangkutan dengan besaran pokok tersebut.

#### Panjang

Standar satuan untuk panjang dalam SI adalah meter. Sistem satuan yang didasarkan pada meter sebagai standar pengukuran dinamakan sistem metrik. Pada awalnya, meter didefinisikan sebagai sepersepuluh juta jarak antara katulistiwa dan kutub utara bumi diukur melalui meridian yang melewati kota Paris. Sebagai meter standar, dibuatlah sebuah batang logam platinum-iridium yang kedua ujungnya terdapat masing-masing goresan, dimana jarak antara kedua goresan tersebut sama dengan 1 meter.

Pada tahun 1960, meter standar didefinisikan ulang sebagai 1.650.763,73 kali panjang gelombang dalam ruang hampa dari garis spektrum warna jingga-merah atom krypton-86. Pendefinisian ulang ini dilakukan untuk meningkatkan kemudahan meter standar untuk dibuat tiruannya, disamping untuk menambah keakuratannya. Namun demikian, definisi ulang inipun tidak bertahan lama, hanya sekitar 23 tahun. Pada tahun 1983, satu meter didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh cahaya dalam vakum selama  $1/299.792.458$  sekon. Dengan definisi terakhir ini, lengkaplah meter sebagai satuan standar memenuhi syarat-syarat satuan standar yang disebutkan di depan.

### Massa

Massa sebuah benda merupakan banyaknya zat yang terkandung di dalam sebuah benda tersebut. Satuan massa di dalam sistem satuan SI adalah kilogram. Sebagai standar untuk kilogram ini, dibuatlah kilogram standar, yaitu sebuah silinder logam yang terbuat dari platina-iridium, yang sekarang ini disimpan di Sevres, dekat kota Paris. Pada awalnya satu kilogram sama dengan massa dari  $1000 \text{ cm}^3$  air murni pada suhu dimana kerapatannya maksimum, yaitu  $4^\circ \text{ C}$ . Namun kesalahan terjadi, karena ternyata satu kilogram yang tepat adalah  $1000,028 \text{ cm}^3$  air.

Dalam percakapan sehari-hari, kita sering mencampur adukkan pengertian massa dengan berat, padahal keduanya berbeda. Berat adalah besarnya gaya yang dialami benda akibat gaya tarik bumi pada benda tersebut. Untuk keperluan sehari-hari, pencampuradukan pengertian tersebut tidak menjadi masalah, namun dalam fisika atau ilmu pengetahuan eksak, definisi massa dan berat harus benar-benar dibedakan. Massa dan berat memiliki satuan yang berbeda, massa memiliki satuan kilogram, sedangkan berat memiliki satuan Newton. Yang menjadi perbedaan utama antara massa dan berat adalah bahwa massa tak tergantung pada tempat dimana benda berada, sementara berat tergantung dimana benda berada. Jadi berat berubah-ubah sesuai dengan tempatnya.

### Waktu

Satuan standar untuk waktu adalah sekon, yang awalnya didefinisikan sebagai  $1/86.400$  hari matahari. Namun ketika ilmuwan mendapatkan bahwa hari matahari berkurang sekitar  $0,001$  sekon setiap satu abad, maka sekon didefinisikan ulang sebagai  $1/86.400$  hari matahari di tahun 1900. Pada tahun 1967, sekon didefinisikan kembali sebagai selang waktu dari  $9.192.631.770$  osilasi dari radiasi yang dihasilkan oleh transisi dalam atom cesium-133. Alat ukur waktu yang menggunakan atom cesium adalah jam atom cesium, yang memiliki ketelitian yang sangat tinggi, yaitu selama 3000 tahun hanya memiliki kesalahan 1 sekon.

### Besaran turunan.

Sebagian besar besaran yang kita gunakan dalam fisika dan ilmu-ilmu terapan (termasuk mekanika fluida dan kemudian hidrolis, lalu alat berat) mempunyai satuan-satuan yang merupakan kombinasi dari satuan-satuan besaran pokok. Besaran-besaran yang demikian, yang satuannya ditentukan berdasarkan satuan-satuan besaran pokok, disebut besaran turunan. Contoh dari besaran turunan ini adalah luas suatu daerah persegi. Luas sama dengan panjang kali lebar, dimana panjang dan lebar keduanya merupakan satuan panjang. Jadi luas merupakan besaran turunan yang diperoleh dari perkalian besaran panjang dengan besaran panjang. Contoh : lainnya : kelajuan (jarak dibagi waktu), tekanan (gaya dibagi luas), volume balok (panjang x lebar x tinggi), debit (volume dibagi waktu). Kita tahu bahwa

kelajuan adalah jarak (besaran panjang) dibagi waktu. Jadi kelajuan merupakan besaran turunan yang diperoleh dengan cara membagi besaran panjang dengan besaran waktu.

Bagaimanakah satuan dari besaran-besaran turunan tersebut ? Sudah jelas bahwa satuan-satuan untuk besaran turunan sesuai dengan bagaimana besaran turunan itu didapatkan dari kombinasi besaran-besaran pokok. Karena luas sama dengan perkalian dua besaran panjang, maka satuan luas sama dengan perkalian dua satuan panjang, yaitu meter x meter = meter persegi = m<sup>2</sup>. Satuan untuk kelajuan adalah satuan panjang dibagi satuan waktu, yaitu meter per sekon = m/s. Jelas disini bahwa bahwa satuan-satuan besaran turunan menggambarkan besaran turunan yang diikutinya. Satuan kelajuan adalah m/s, berarti kelajuan sama dengan panjang (jarak) dibagi waktu. Satuan untuk volume balok adalah m<sup>3</sup>, berarti volume adalah panjang kali panjang kali panjang. Massa jenis memiliki satuan kg/m<sup>3</sup>, berarti massa jenis adalah massa dibagi volume.

#### **2.4. Konversi, ketelitian, standar alat ukur**

Dalam beberapa persoalan, kadang-kadang kita perlu melakukan konversi satuan dari satu sistem satuan ke sistem satuan yang lain, terutama ke sistem satuan SI. Konversi satuan ini mungkin kita lakukan jika kita mengetahui hubungan antara kedua satuan itu. Sebagai contoh, seandainya kita mengetahui bahwa panjang lapangan sepakbola adalah 100 yard, sementara kita mengetahui bahwa 1 yard sama dengan 3 kaki, maka kita katakan bahwa panjang lapangan sama dengan 300 kaki. Walau contoh ini sangat sederhana sehingga dengan mudah kita dapat mengkonversikan satuan yard ke kaki, namun metode yang logis tetap harus diperhatikan.

Kita mengetahui :

$$3 \text{ kaki} = 1 \text{ yard}$$

Jika kita bagi kedua ruang persamaan tersebut dengan 1 yard, maka diperoleh :

$$\frac{3 \text{ kaki}}{1 \text{ yard}} = \frac{1 \text{ yard}}{1 \text{ yard}}$$

Dengan demikian :

$$100 \text{ yard} = 100 \text{ yard} \times \frac{3 \text{ kaki}}{1 \text{ yard}} = 300 \text{ kaki}$$

Dalam konversi satuan kita bisa melakukan pencoretan satuan yang sama untuk pembilang dan penyebut. Biasanya kita diminta untuk mengubah satu satuan ke sistem SI. Dalam soal misalnya data-data yang ada diberikan dalam satuan non-SI, tetapi jawaban yang diminta harus dinyatakan dalam sistem satuan SI. Untuk melakukan hal ini, kita bisa langsung melakukan

konversi dengan bantuan tabel konversi yang biasa terdapat dalam lampiran buku.

Ketelitian dari suatu hasil pengukuran sudah menjadi tuntutan ilmu pengetahuan dewasa ini. Namun demikian, dapat dikatakan bahwa tidak ada satupun pengukuran yang benar-benar akurat, pasti ada suatu ketidakpastian dalam hasil pengukuran tersebut. Ketidakpastian dalam hasil pengukuran ini muncul dari berbagai sumber, misalnya dari batas ketelitian masing-masing alat dan kemampuan kita dalam membaca hasil yang ditunjukkan oleh alat ukur yang kita pakai.

Alat ukur yang kita pakai menentukan hasil pengukuran yang kita dapatkan. Sebagai contoh, lakukan pengukuran diameter dari bagian bawah kaleng minuman ringan dengan sebuah meteran gulung (mitlin) yang sering digunakan penjahit. Hasil yang anda lakukan hanya mempunyai ketelitian sampai 0,1 cm atau 1 mm, sesuai dengan skala terkecil yang terdapat dalam mitlin, walaupun anda bisa menyatakan bahwa anda memperkirakan ketelitian sampai separo skala terkecil, yaitu 0,5 mm. Alasannya adalah bahwa amat sulit bagi orang yang melakukan pengukuran untuk memperkirakan skala-skala yang lebih kecil diantara dua garis skala terkecil. Skala yang terdapat pada mitlin sendiri boleh jadi tidak seakurat angka-angka yang tertera, karena belum tentu mitlin dibuat dengan keakuratan yang sangat tinggi di pabrik. Karena toh untuk pakaian yang diukur dengan mitlin, selisih pengukuran 1 mm tidak terlalu bermasalah bagi pengguna pakaian yang dijahit.

Sumber ketidakpastian lain muncul dari diri kita sendiri ketika membaca skala pada mitlin. Kesalahan baca yang sering terjadi karena kita tidak tepat mengarahkan pandangan mata kita ke obyek yang diamati disebut **kesalahan paralaks**. Bagaimana jika kita menggunakan jangka sorong (*vernier caliper*) untuk mengukur diameter kaleng tersebut. Akankah hasil yang kita peroleh lebih akurat ? Tentu. Untuk mengukur diameter kaleng tersebut, jangka sorong akan lebih teliti hasil pengukurannya, karena ketelitian jangka sorong memiliki ketelitian sampai dengan 0,1; 0,05; atau bahkan 0,02 mm. Untuk benda-benda yang tidak terlalu kecil, jangka sorong cukup tepat digunakan sebagai alat ukur. Untuk mengukur panjang benda yang lebih kecil atau lebih tipis kita bisa menggunakan micrometer yang memiliki ketelitian sampai dengan 0,01 mm atau 0,001 mm.

Ketika melaporkan hasil pengukuran, ada baiknya (suatu keharusan jika kita melakukan pengambilan data di laboratorium) jika kita menuliskan ketelitian pengukuran kita atau perkiraan dari hasil pengukuran kita. Sebagai contoh, diameter kaleng yang diukur dengan mitlin bisa dinyatakan dalam  $55 \pm 1$  mm atau  $5,5 \pm 0,1$  cm. Tulisan  $\pm 1$  mm atau  $\pm 0,1$  cm (plus minus 1 mm atau 0,1 cm) menyatakan ketidakpastian yang diperkirakan, sehingga

diameter kaleng adalah antara 54 mm dan 56 mm. Ketidakpastian hasil pengukuran juga bisa dinyatakan dalam persen. Sebagai contoh pada hasil pengukuran diameter kaleng sama dengan  $55 \pm 1$  mm, persen ketidakpastiannya adalah  $1/55 \times 100 \% = 1,3 \%$ .

Kadang-kadang, hasil pengukuran tidak secara langsung menampilkan angka ketidakpastiannya. Namun demikian, kita harus bisa memperkirakan berapa ketidakpastian hasil pengukuran tersebut. Jika hasil pengukuran dituliskan 5,1 cm, kita perkirakan bahwa ketidakpastiannya 0,1 cm. Jadi, panjang sebenarnya antara 5,0 cm dan 5,2 cm. Jangan sampai kita menuliskan hasil pengukuran dengan mistar/mitlin sebagai 5,10 cm. memang angka 5,1 cm sama dengan 5,10 cm, tetapi jika angka tersebut dimaksudkan sebagai hasil suatu pengukuran, artinya sangat lain. Angka 5,1 cm menyiratkan bahwa ketelitian alat ukur yang dipakai sampai 0,1 cm sedang angka 5,10 cm menyiratkan bahwa ketelitian alat ukur yang dipakai sampai 0,01 cm. Dengan demikian, ketidakpastiannya pun sama dengan 0,01 cm. Jadi panjang sebenarnya adalah antara 5,09 cm dan 5,11 cm. Tidak mungkin mengukur panjang dengan mistar/mitlin memiliki ketelitian seperti ini. Dari sini bisa kita sadari, bahwa angka 0 dibelakang koma pun sangat penting di dalam menyatakan hasil pengukuran.

## **2.5. Pengukuran karakteristik umum fluida**

Mekanika Fluida adalah disiplin ilmu bagian dari bidang mekanika terapan yang mengkaji perilaku dari zat-zat cair dan gas dalam keadaan diam (statika) ataupun bergerak (dinamika). Bidang mekanika ini jelas mencakup berbagai persoalan yang sangat bervariasi, mulai dari kajian dalam tubuh kita (aliran darah di saluran kapiler, yang hanya berdiameter beberapa micron) sampai pada kajian aliran minyak mentah yang melewati Alaska melalui pipa berdiameter 4 ft sepanjang 800 mil. Prinsip-prinsip mekanika fluida diperlukan untuk menjelaskan hal itu.

Salah satu pertanyaan yang perlu kita kaji ialah, apakah fluida itu ? Atau mungkin bertanya, apa perbedaan antara sebuah benda padat dengan sebuah fluida. Kita memiliki gagasan umum yang samar-samar mengenai perbedaan tersebut. Sebuah benda padat “keras” dan tidak mudah dideformasi, sementara sebuah fluida “lunak” dan mudah dideformasi/dirubah bentuknya (misal : tubuh kita mudah bergerak melewati udara, udara adalah fluida lunak yang mudah dideformasi). Secara sepintas lalu mengenai perbedaan padat dengan fluida sangat tidak memuaskan dari sudut pandang ilmiah atau keteknikan. Pengamatan lebih mendalam mengenai struktur molekul dari material mengungkapkan bahwa zat-zat yang biasanya kita anggap sebagai benda padat (baja, beton, bata merah dan lain-lain) memiliki jarak antar molekul yang rapat dengan gaya-gaya kohesi antar molekul lebih

yang besar yang memungkinkan sebuah benda padat mempertahankan bentuknya dan tidak mudah untuk dideformasi.

Namun untuk zat-zat yang biasanya kita anggap sebuah cairan (air, minyak oli, udara dan sebagainya), molekul-molekulnya agak terpisah, gaya antar molekulnya lebih lemah daripada benda-benda padat dan molekul-molekul tersebut mempunyai pergerakan yang lebih bebas. Jadi zat cair dapat lebih mudah dideformasi (tetapi tidak mudah dimampatkan) dan dapat dituangkan dalam bejana atau dipaksa melalui sebuah tabung. Gas-gas (udara, oksigen dan lain-lain) memiliki jarak molekul yang lebih besar dan gerakan yang bebas dengan gaya antar molekul yang kecil yang dapat diabaikan, sehingga gas sangat mudah dideformasi (dan dimampatkan) dan akan mengisi secara penuh volume suatu bejana dimana gas itu dimampatkan.

Meskipun perbedaan antara benda padat dan cair dapat dijelaskan secara kualitatif berdasarkan struktur molekulnya, perbedaan yang lebih spesifik didasarkan pada bagaimana zat tersebut berdeformasi di bawah suatu beban luar yang bekerja. Secara khusus, fluida didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus-menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser. Sebuah tegangan (gaya per satuan luas) geser terbentuk apabila sebuah gaya tangensial bekerja pada permukaan. Apabila benda-benda padat biasa seperti baja atau logam-logam lainnya dikenai suatu tegangan geser, mula-mula benda itu akan berdeformasi (biasanya sangat kecil, dan tidak terlihat oleh mata kita), tetapi tidak akan terus-menerus berdeformasi (mengalir). Namun cairan yang biasa seperti air, minyak oli, udara memenuhi definisi dari sebuah fluida, artinya zat-zat tersebut akan mengalir apabila padanya bekerja sebuah tegangan geser. Beberapa bahan seperti lumpur, aspal, dempul, odol dan lain sebagainya tidak mudah diklasifikasikan karena bahan-bahan tersebut akan berperilaku seperti benda padat jika tegangan geser yang bekerja kecil, tetapi jika tegangan geser tersebut melampaui suatu nilai kritis tertentu, zat-zat tersebut akan mengalir.

Meskipun struktur molekul fluida penting untuk membedakan satu fluida dengan fluida lainnya, tidaklah mungkin mengkaji masing-masing molekul ketika kita mencoba menggambarkan perilaku fluida dalam keadaan diam atau bergerak. Ketika kita mengatakan bahwa kecepatan pada suatu titik tertentu dalam sebuah fluida adalah sebesar tertentu, maka kita sebenarnya menganggap kecepatan rata-rata dari molekul-molekul dalam volume kecil yang mengelilingi titik tersebut. Volume tersebut sangat kecil dibandingkan dengan dimensi fisik dari sistem yang ditinjau, tetapi cukup besar dibandingkan dengan jarak rata-rata antar molekul. Apakah dengan cara ini cukup beralasan untuk menggambarkan perilaku sebuah fluida? Jawabannya secara umum adalah ya, karena jarak antar molekul biasanya

sangat kecil. Untuk gas-gas pada tekanan dan temperatur normal jarak antara ini berada pada tingkat  $10^6$  pangkat -6 mm (1 nm – 1 nanometer) dan untuk zat cair pada tingkat  $10^7$  pangkat -7 mm. Banyaknya molekul setiap millimeter kubik ( $\text{mm}^3$ ) pada tingkat  $10^{18}$  pangkat 18 untuk gas dan  $10^{21}$  pangkat 21 untuk zat cair. Jadi jelas bahwa jumlah molekul dalam sebuah volume yang sangat kecil sangat besar, sehingga gagasan untuk menggunakan nilai rata-rata dari sebuah volume ini cukup beralasan. Jadi kita menganggap bahwa seluruh karakteristik fluida yang kita tinjau (tekanan, kecepatan, debit dan lain-lain) bervariasi terus menerus di seluruh fluida - artinya, kita memperlakukan fluida tersebut sebagai suatu materi kontinu.

### 2.5.1. Dimensi, kehomogenan dimensi, dan satuan.

Karena didalam kajian mengenai mekanika fluida kita akan menangani berbagai karakter fluida, maka kita perlu mengembangkan suatu sistem untuk menggambarkan karakteristik-karakteristik ini secara kualitatif dan kuantitatif. Aspek kualitatif berfungsi untuk mengidentifikasi sifat dasar atau jenis dari karakteristik tersebut (seperti panjang, waktu, tegangan, kecepatan, kekentalan, debit), sementara aspek kuantitatif memberikan ukuran kuantitas dari karakteristik tersebut. Penggambaran kuantitatif membutuhkan sebuah angka dan sebuah standar yang dapat digunakan untuk memperbandingkan berbagai besaran. Suatu standar seperti itu disebut satuan, dan beberapa sistem satuan bisa digunakan seperti MKS atau SI.

#### Analisis Perilaku Fluida

Kajian mekanika fluida melibatkan hukum-hukum dasar yang sama dengan yang telah anda pelajari pada fisika dan mekanika. Jadi ada keserupaan yang kuat antara pendekatan umum terhadap mekanika fluida dan terhadap mekanika benda padat, pada benda tegar, dan pada benda yang dapat terdeformasi. Subyek yang luas di dalam mekanika fluida secara umum dapat dibagi menjadi statika fluida dimana fluida dalam keadaan diam, dan dinamika fluida, dimana fluida bergerak.

Ukuran-ukuran massa dan berat fluida

#### 1. Kerapatan (*density*)

Kerapatan sebuah fluida dilambangkan dengan huruf Yunani  $\rho$  (rho), didefinisikan sebagai massa fluida per satuan volume. Kerapatan biasanya digunakan untuk menjelaskan karakter *massa* sebuah sistem fluida. Dalam satuan SI satuannya adalah  $\text{kg/m}^3$ . Nilai kerapatan dapat bervariasi cukup besar diantara fluida yang berbeda, namun untuk zat-zat cair, variasi tekanan dan temperatur umumnya hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap nilai  $\rho$ .

## 2. Berat jenis

Berat jenis dari sebuah fluida, dilambangkan dengan huruf Yunani  $\gamma$  (gamma), didefinisikan sebagai berat fluida per satuan volume. Berat jenis berkaitan dengan kerapatan melalui persamaan  $\gamma = \rho g$ , dimana  $g$  adalah percepatan gravitasi lokal. Seperti halnya kerapatan yang digunakan untuk menjelaskan karakter massa sebuah sistem fluida, berat jenis digunakan untuk menjelaskan karakter *berat* dari sistem tersebut. Dalam sistem satuan SI adalah  $N/m^3$ .

## 3. Viskositas (*viscosity*)

Sifat-sifat kerapatan dan berat jenis adalah ukuran dari “beratnya” sebuah fluida. Namun jelas bahwa sifat-sifat ini tidak cukup untuk menjelaskan karakter secara khas bagaimana fluida berperilaku karena dua fluida (misalnya air dan minyak) yang memiliki nilai kerapatan hampir sama memiliki perilaku yang berbeda ketika mengalir. Tampak ada sifat tambahan yang diperlukan untuk menggambarkan perbedaan dari kedua fluida ketika mengalir. Viskositas akan menentukan tahanan dalam fluida untuk mengalir. Nilai viskositas suatu fluida rendah jika fluida tersebut mengalir dengan mudah, selanjutnya disebut dengan fluida ringan atau encer. Begitu sebaliknya. Dalam satuan SI viskositas dinyatakan dalam  $N.s/m^2$  atau dalam MKS  $dyne.s/cm^2$  atau *poise*. Ada beberapa metode dalam penentuan nilai viskositas oli misalnya : viskositas absolute (*poise*), viskositas kinematik ( $centistokes=cSt$ ), viskositas relatif (*Saybolt Universal Second = SUS*) atau angka koefisien SAE.

## 4. Kemampu-mampatan Fluida

Sebuah pertanyaan yang penting untuk dijawab ketika kita mengkaji perilaku suatu fluida tertentu ialah seberapa mudah volume (demikian juga kerapatan) dari suatu massa fluida dapat diubah apabila terjadi perubahan tekanan ? Artinya seberapa mampu-mampatkah fluida tersebut ? Sebuah sifat yang biasa digunakan untuk menjelaskan karakter kemampu-mampatan (*compressibility*) adalah modulus borongan (*bulk modulus*)  $E_v$  yang didefinisikan sebagai :

$$E_v = - \frac{dp}{dv/V} \text{ atau } FL^{-2}$$

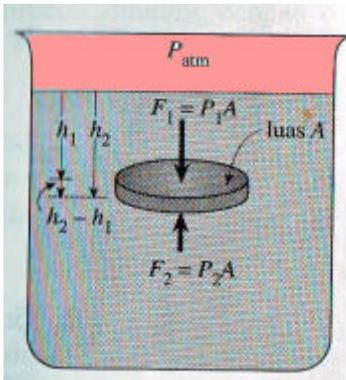
dimana  $dp$  adalah perubahan diferensial tekanan yang diperlukan untuk membuat perubahan diferensial volume,  $dv$  dari sebuah volume  $V$ . Tanda negatif ditambahkan dalam persamaan karena peningkatan tekanan akan menyebabkan pengurangan volume. Modulus borongan (juga disebut sebagai modulus elastisitas borongan) memiliki dimensi tekanan  $FL^{-2}$  (gaya x panjang pangkat minus 2) atau dalam satuan SI sebagai  $N/m^2$  (Pa). Dalam bentuk angka,  $1 N/m^2$  disebut 1 pascal atau dalam satuan tekanan lain ialah  $1 atm = 1,01325 \times 10^5 Pa$  atau  $1 bar = 1,00000 \times 10^5 Pa$ .

Nilai modulus yang besar menunjukkan bahwa fluida relatif tidak mampu-mampat, artinya dibutuhkan perubahan tekanan yang besar untuk menghasilkan perubahan volume yang kecil. Karena tekanan yang begitu besar diperlukan untuk menghasilkan perubahan volume kita simpulkan bahwa zat-zat cair dapat dianggap sebagai *tak mampu-mampat* (*incompressible*) untuk kebanyakan penerapan di bidang keteknikan. Penggunaan modulus borongan sebagai sebuah sifat yang menggambarkan kemampu-mampatan adalah yang paling lazim ketika kita menangani zat-zat cair, meskipun modulus borongan juga dapat ditentukan untuk gas. Kita menganggap gas-gas seperti udara, oksigen dan nitrogen sebagai *fluida mampu-mampat* (*compressible fluids*) karena kerapatan gas dapat berubah secara berarti dengan perubahan-perubahan tekanan dan temperatur.

### 2.5.2. Hukum Archimedes

Barangkali kita pernah mengamati bahwa sebuah benda yang diletakkan di dalam air terasa lebih ringan dibandingkan dengan beratnya ketika di udara. Karena tekanan semakin bertambah dengan bertambahnya kedalaman, gaya pada bagian bawah benda yang berada di dalam air lebih besar daripada gaya yang bekerja pada bagian atas benda. Akibatnya ada selisih gaya yang bekerja pada benda selanjutnya kita sebut sebagai **gaya apung** (yang arahnya selalu ke atas).

Perhatikan Gambar 2.1 yang menunjukkan sebuah benda berbentuk silinder yang dibenamkan ke dalam fluida yang memiliki massa jenis  $\rho$ . Kita akan menghitung besarnya gaya apung yang bekerja pada silinder tersebut. Disini kita gunakan silinder untuk memudahkan pemahaman kita. Bagian atas silinder berada pada kedalaman  $h_1$ , sedangkan bagian bawahnya pada kedalaman  $h_2$ .



Karena luas penampang bagian atas dan bawah silinder sama besar, yaitu  $A$ , maka besar gaya ke bawah adalah  $F_1 = P_1A$ , dimana  $P_1 = P_{atm} + \rho gh_1$ ; sedangkan besar gaya keatas yang bekerja pada silinder adalah  $F_2 = P_2A$ , dimana  $P_2 = P_{atm} + \rho gh_2$ . Dengan demikian, selisih gaya yang bekerja pada silinder adalah yang bertindak sebagai gaya apungnya, yang besarnya adalah :

$$\begin{aligned} F_{\text{apung}} &= F_2 - F_1 \\ &= P_2A - P_1A \\ &= (P_{atm} + \rho gh_2)A - (P_{atm} + \rho gh_1)A \\ &= \rho ghA (h_2 - h_1) \end{aligned}$$

Gambar 2.1. Benda silinder dalam

fluida(sumber : Foster, Fisika 1B)

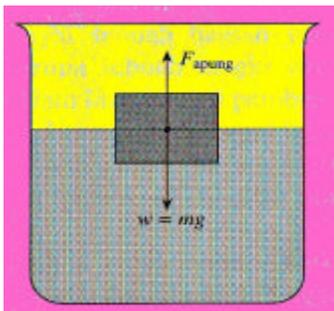
Dari gambar kita tahu bahwa  $A(h_2-h_1)$  sama dengan volume silinder, sehingga :

$$F_{\text{apung}} = \rho gV \dots\dots\dots (2.1)$$

Ketika kita membenamkan sebuah benda yang memiliki volume  $V$  ke dalam fluida, maka ada fluida yang dipindahkan tempatnya sebanyak volume benda yang dibenamkan. Dengan demikian volume fluida yang dipindahkan adalah  $V$ . berapakah massa fluida yang dipindahkan ini ? Kita tahu bahwa massa adalah massa jenis  $\rho$  dikalikan volumenya. Dengan demikian, massa fluida yang dipindahkan adalah  $m = \rho V$  akhirnya persamaan 2.1 dapat dituliskan sebagai :

$$F_{\text{apung}} = mg \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana  $mg$  adalah berat fluida yang dipindahkan. Ingat berat adalah massa dikalikan gravitasi. Kesimpulan yang dapat diambil dari persamaan 2.2 ini dikenal sebagai Hukum Archimedes yang menyatakan bahwa *gaya apung yang bekerja pada sebuah benda yang dibenamkan sama dengan berat fluida yang dipindahkan.*



**Terapung, tenggelam, melayang**

Berdasarkan hukum Archimedes kita bisa menentukan syarat sebuah benda untuk terapung, tenggelam, atau melayang di dalam sebuah fluida. Perhatikan Gambar 2.2 yang menunjukkan sebuah balok kayu yang terapung pada suatu fluida.

Gambar 2.2 Balok kayu terapung

Pada saat terapung, besarnya gaya apung  $F_{\text{apung}}$  sama dengan berat benda  $w = mg$ . Perlu dicatat bahwa pada peristiwa ini, hanya sebagian volume benda yang tercelup di dalam fluida sehingga volume fluida yang dipindahkan lebih kecil dari volume total benda yang mengapung.

$$F_{\text{apung}} = w$$

$$m_{\text{fluida}} g = m_{\text{benda}} g$$

$$\rho_{\text{fluida}} V_{\text{dipindahkan}} = \rho_{\text{benda}} V_{\text{benda}}$$

$$\frac{V_{\text{dipindahkan}}}{V_{\text{benda}}} = \frac{\rho_{\text{benda}}}{\rho_{\text{fluida}}} \dots\dots (2.3)$$

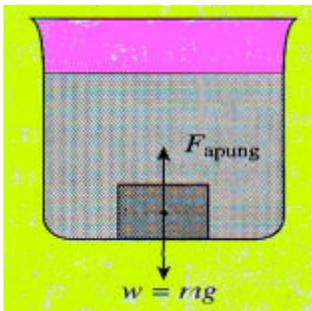
Persamaan (2.3) ini menyatakan rasio bagian volume benda yang tercelup ke dalam fluida. Sebagai contoh, sebuah kayu yang memiliki massa jenis  $1000 \text{ kg/m}^3$ . berdasarkan persamaan (2.3), kita bisa menentukan berapa bagian balok kayu yang tercelup, yaitu sama dengan volume air yang dipindahkan

$$\begin{aligned} V_{\text{dipindahkan}} &= \frac{\rho_{\text{benda}}}{\rho_{\text{fluida}}} \times V_{\text{benda}} \\ &= \frac{600 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \times V_{\text{balok}} \\ V_{\text{dipindahkan}} &= 0,6 V_{\text{balok}} \end{aligned}$$

Dengan demikian, volume balok yang tercelup ke dalam air adalah 0,6 bagian volume total balok (atau 60 % volumenya). Jadi, secara umum benda akan terapung jika massa jenisnya lebih kecil dari massa jenis fluida

Syarat terapung :  $\rho_{\text{fluida}} > \rho_{\text{benda}}$  ..... (2.4)

Sekarang kita akan meninjau kasus tenggelam, seperti tampak pada gambar 2.3.



Pada saat tenggelam berlaku gaya apung  $F_{\text{apung}}$  lebih kecil daripada gaya berat  $w = mg$ . Karena benda tercelup seluruhnya ke dalam fluida, maka volume fluida yang dipindahkan sama dengan volume benda

Gambar 2.3 Balok kayu tenggelam

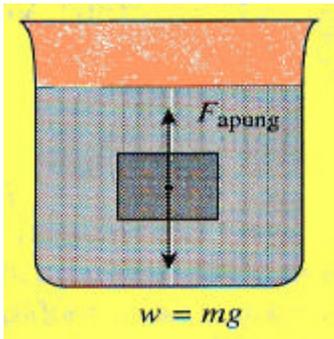
$$\begin{aligned} F_{\text{apung}} &< w \\ M_{\text{fluida}} g &< m_{\text{benda}} g \\ \rho_{\text{fluida}} V_{\text{dipindahkan}} &< \rho_{\text{benda}} V_{\text{benda}} \end{aligned}$$

Karena  $V_{\text{dipindahkan}} = V_{\text{benda}}$ , maka

Syarat tenggelam :  $\rho_{\text{fluida}} < \rho_{\text{benda}}$  ..... (2.5)

Pernyataan (2.5) merupakan syarat sebuah benda agar tenggelam seluruhnya ke dalam fluida, yaitu massa jenis benda lebih besar dari massa jenis fluida.

Pada keadaan melayang, berlaku bahwa gaya apung sama dengan berat benda dan volume benda yang dipindahkan sama dengan volume benda yang melayang, seperti terlihat pada gambar 2.4.



Pada keadaan ini berlaku :

$$F_{\text{apung}} = w$$

$$M_{\text{fluida}} g = m_{\text{benda}} g$$

$$\rho_{\text{fluida}} V_{\text{dipindahkan}} = \rho_{\text{benda}} V_{\text{benda}}$$

Karena  $V_{\text{dipindahkan}} = V_{\text{benda}}$ , maka

Syarat melayang :  $\rho_{\text{fluida}} = \rho_{\text{benda}}$  ..... (2.6)

Gambar 2.4 Balok kayu melayang

Pernyataan (2.6) merupakan syarat sebuah benda agar bias melayang di dalam fluida, yaitu massa jenis benda harus sama dengan massa jenis fluida.

Contoh :

1. Berapa besarnya gaya yang diperlukan untuk menekan sebuah benda kayu agar tenggelam ke dalam air ? Massa balok 7 kilogram dan massa jenisnya  $750 \text{ kg/m}^3$ . Gunakan nilai  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
2. Seseorang akan menjual sebungkah emas dengan harga murah. Ketika ditimbang, massa emas = 14,7 kg. Karena ragu-ragu, pembeli menimbanginya di air, dan mendapatkan bahwa massa bongkahan tersebut = 13,4 kg. Akhirnya pembeli, menyatakan bongkahan bukan emas murni. Bagaimana penjelasannya ?

**Penyelesaian:**

1. Pada saat balok tenggelam, berlaku prinsip kesetimbangan tiga gaya, yaitu gaya berat  $mg$ , gaya apung  $F_{\text{apung}}$ , dan gaya tekan  $F$ .

$$F + mg = F_{\text{apung}}$$

Sesuai dengan Persamaan (2.1),  $F_{\text{apung}} = \rho_{\text{air}} g V_{\text{balok}}$

Gaya berat  $mg = m_{\text{balok}} g = \rho_{\text{balok}} V_{\text{balok}} g$

Dengan demikian berlaku:

$$F = F_{\text{apung}} - mg$$

$$\rho_{\text{air}} g V_{\text{balok}} - \rho_{\text{balok}} g V_{\text{balok}}$$

$$g \left( \frac{m_{\text{balok}}}{\rho_{\text{balok}}} \right) \{ \rho_{\text{air}} - \rho_{\text{balok}} \}$$

$$F = (9,8) (7) / 750 (1000 - 750) = 22,9 \text{ N}$$

2. Berat semu bongkahan, yaitu beratnya ketika ditimbang di dalam air sama dengan  $w'$  di mana

$$W' = W - F_{apung}$$

$$w = w - \rho_{air} g V$$

$$w - W' = \rho_{air} g V$$

Akhirnya bisa kita tuliskan : 
$$\frac{w'}{w - w'} = \frac{\rho_{benda} g V_{benda}}{\rho_{air} g V_{benda}} = \frac{\rho_{benda}}{\rho_{air}}$$

Berdasarkan data pada soal : 
$$\frac{w'}{w - w'} = \frac{\rho_{benda}}{\rho_{air}}$$

$$\frac{(14,7 \text{ kg}) g}{(14,7 \text{ kg}) g - (13,4) g} = \frac{\rho_{benda}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\frac{14,7}{1,3} = \frac{\rho_{benda}}{1000}$$

$$\rho_{benda} = 11.300 \text{ kg/m}^3$$

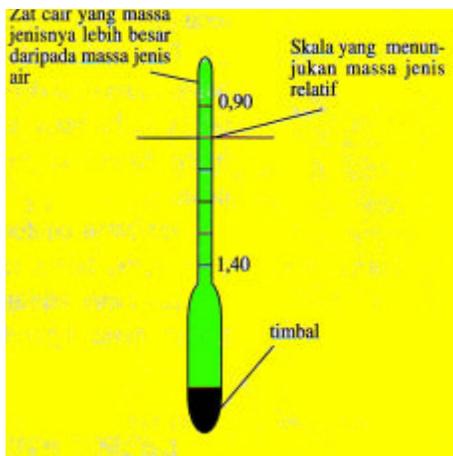
Dari data massa jenis emas, ternyata diperoleh bahwa massa jenis emas sama dengan  $19.300 \text{ kg/m}^3$ . Dengan demikian, bongkahan tersebut bukan emas murni.

#### Aplikasi hukum Archimedes

Aplikasi hukum Archimedes dapat kita jumpai dalam berbagai peralatan dari yang sederhana sampai yang canggih, misalnya hydrometer, kapal laut, kapal selam, galangan kapal, balon udara, dan jembatan ponton.

Hidrometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis suatu zat cair. Gambar bagan sebuah hidrometer dapat dilihat pada gambar 2.5.

Anda dapat membuat sebuah hidrometer sederhana dengan cara berikut. Ambilah sebuah sedotan minuman yang terbuat dari plastik. Berilah pada salah satu ujung sedotan tersebut sebuah pemberat, misalnya logam atau aspal.



Gambar 2.5 Hidrometer

Selanjutnya, buatlah skala pada hidrometer ini, misalnya setiap 1 mm. Kemudian, cobalah pada air yang memiliki massa jenis  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Kemudian, cobalah untuk zat cair lain yang massa jenisnya telah Anda ketahui. Dari percobaan ini, Anda bisa memberikan angka pada skala hidrometer, dan hidrometer Anda siap untuk digunakan.

Pada dasarnya, sebuah kapal selam mempunyai bagian yang disebut bagian pemberat. Bagian pemberat ini berupa sebuah tangki yang dapat diisi air. Ketika ingin menyelam ke dalam laut, bagian pemberat diisi dengan air laut, sehingga gaya ke atas yang bekerja pada kapal lebih kecil daripada berat kapal selam. Akibatnya kapal tenggelam. Ketika ingin muncul ke permukaan, air yang mengisi bagian pemberat dikeluarkan, sehingga kapal bisa muncul ke permukaan.

Sebuah galangan kapal merupakan sebuah tempat untuk memperbaiki bagian bawah kapal. Pertama kali, galangan berisi penuh dengan air sehingga kapal dari laut bisa masuk ke dalamnya. Selanjutnya, ketika kapal sudah berada di galangan, air di dalam galangan dikeluarkan sehingga galangan terangkat naik, dan bagian bawah kapal bisa diperbaiki dengan baik.

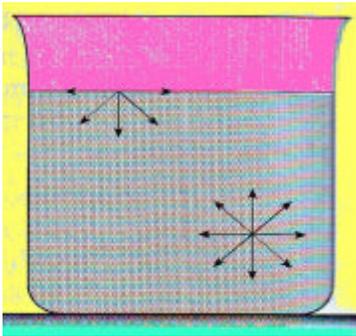
Pada balon udara, udara kita anggap sebagai zat cair. Ketika sebuah balon udara diisi dengan zat yang massa jenisnya lebih kecil dari massa jenis udara, maka berat udara yang dipindahkan sama dengan gaya ke atas pada balon. Akibatnya, balon tertekan keatas sehingga balon dapat mengapung di udara.

Jembatan ponton adalah jembatan yang terbuat dari drum-drum kosong yang berisi udara. Tentu saja drum-drum tersebut harus selalu dijaga agar tertutup rapat sehingga tidak ada air yang masuk ke dalamnya. Jembatan ponton bisa digunakan untuk keperluan-keperluan darurat.

### **2.5.3. Tegangan Permukaan**

Tentu Anda pernah mengamati seekor nyamuk yang bisa terapung di permukaan air. Atau berangkali, Anda pernah mencoba mengapungkan sebuah pisau silet atau sebuah jarum jahit diatas permukaan air. Jika diletakkan dengan hati hati, pisau silet dan jarum bisa terapung di permukaan walaupun menurut hukum Archimedes, keduanya harus tenggelam karena massa jenis keduanya lebih besar dari massa jenis air. Lalu apa yang menahan nyamuk, pisau silet, atau jarum sehingga tetap terapung di permukaan air? Gejala ini disebut tegangan permukaan pada fluida.

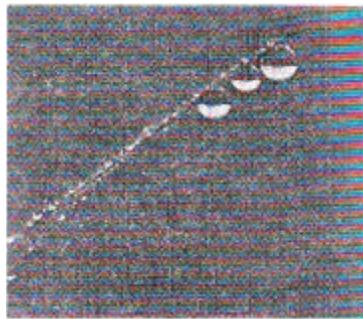
Molekul-molekul dalam suatu fluida akan selalu mengalami gaya tarik-menarik dengan molekul-molekul sejenis lainnya. Gaya ini disebut gaya kohesi. Namun molekul-molekul yang berada pada permukaan atau sangat dekat dengan permukaan lebih banyak mengalami gaya ke bawah karena lebih banyak molekul-molekul lain yang menarik ke bawah dibandingkan yang menarik ke atas, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Resultan gaya ke bawah yang bekerja pada molekul-molekul di permukaan atas di dekat permukaan

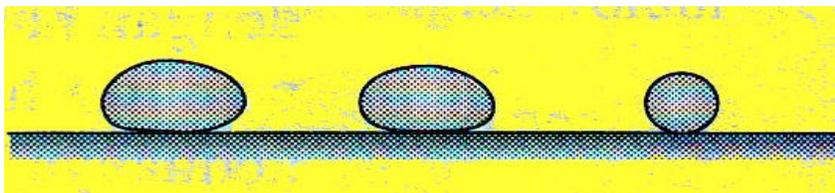
Akibat lebih besarnya gaya ke bawah ini, permukaan zat cair akan cenderung mengerut dan membentuk luas permukaan sekecil mungkin. Dengan demikian, permukaan zat cair tersebut mengalami suatu tegangan, yang disebut tegangan permukaan.

Untuk volume zat cair tertentu, luas permukaan terkecil yang mungkin yang mencakup volumenya adalah bola. Amati bagaimana tetesan air yang keluar dari sebuah pipet atau yang menetes dari ujung-ujung daun (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Tetesan air yang berbentuk bola

Bentuk tetesan itu berupa bola-bola kecil. Ini merupakan salah satu bukti adanya tegangan permukaan. Amati pula tetesan-tetesan raksa pada suatu permukaan kaca yang bersih, seperti yang tampak pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tetesan air di permukaan kaca

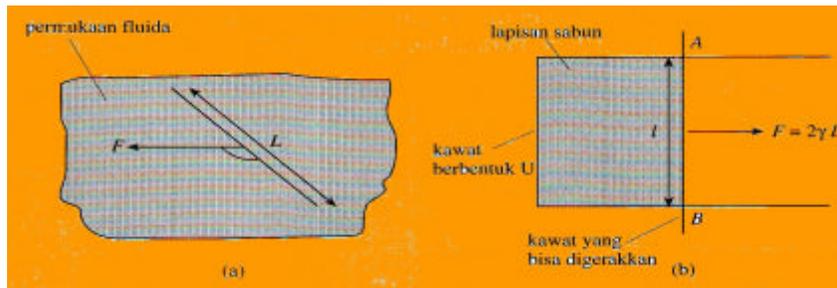
Tetesan yang paling kecil adalah bola, sementara tetesan yang lebih besar berbentuk bola yang digepungkan. Berat raksa pada tetesan yang besar menyebabkan tetesan tersebut berupa bola gepeng.

Untuk menghitung besarnya tegangan permukaan ini, misalnya sebuah kawat kecil yang panjangnya  $L$  terapung di permukaan suatu zat cair. Jika gaya yang tegak lurus terhadap kawat ini dan terletak di permukaan zat cair adalah  $F$ , lihat gambar 2.9(a), maka tegangan permukaan  $\gamma$  didefinisikan sebagai

$$\gamma = \frac{F}{L} \dots\dots (2.7)$$

Dengan kata lain, tegangan permukaan adalah gaya per satuan panjang yang bekerja pada permukaan yang tegak lurus terhadap kawat.

Pada gambar 2.9(b), sebuah kawat dibengkokkan sehingga berbentuk huruf U. Kemudian, kawat AB dibuat sedemikian rupa sehingga bisa digerakkan sepanjang kawat berbentuk U. Jika kawat ini kita celupkan ke dalam air sabun kemudian kita angkat, maka akan terbentuk suatu lapisan sabun. Karena lapisan sabun ini memiliki dua permukaan, maka tegangan yang dialami oleh kawat AB sama dengan



Gambar 2.9 (a) Tegangan permukaan yang dialami oleh sebuah kawat  $L$ . (b) tegangan permukaan pada kawat  $L$  oleh dua permukaan

### Tegangan Permukaan dalam Sehari-hari

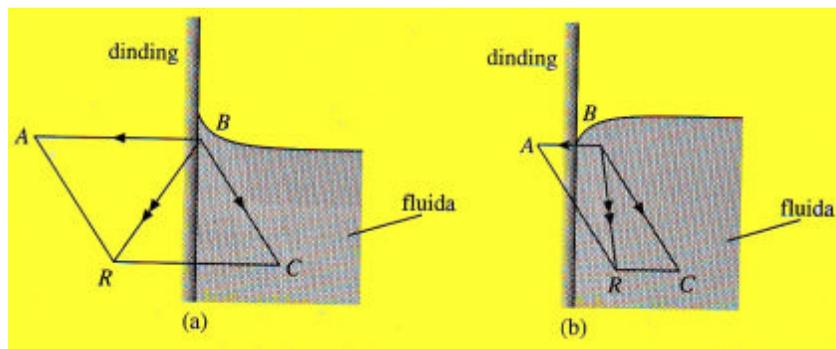
Ketika mencuci pakaian, air sendiri tidak efektif untuk membersihkan permukaan pakaian yang berminyak. Air tidak bisa ditarik oleh minyak sehingga tidak membasahi permukaan pakaian yang berminyak. Bahkan, air cenderung akan membentuk bola-bola kecil ketika menyentuh permukaan pakaian akibat tegangan permukaan pada air. Sabun dan detergen yang dicampurkan pada air akan memperkecil permukaan air, sehingga larutan air dan sabun ini bisa membasahi pakaian dan menarik partikel-partikel kotoran pada pakaian. Tegangan permukaan pada air juga berkurang dengan bertambahnya suhu air. Inilah sebabnya, mencuci pakaian di air yang hangat lebih mudah dibandingkan mencuci pakaian di air yang dingin.

Pada kain tenda digunakan bahan-bahan yang anti-air. Ketika hujan turun, air tidak bisa menembus tenda karena suatu lapisan tipis air terbentuk di antara bahan-bahan yang anti-air ini. Namun demikian, jika seseorang menyentuh tenda dari dalam, maka air bisa merembes masuk dan membasahi tenda sehingga tenda akan bocor. Ini terjadi akibat pecahnya lapisan tipis air di antara bahan-bahan yang anti-air.

Bahan-bahan pembuat sabun ditambahkan pada larutan pembasmi insektisida yang digunakan oleh petani. Bahan sabun ini akan menambah daya resap larutan pembasmi insektisida ke dalam air karena mengurangi tegangan permukaan air. Akibatnya, larutan pembasmi insektisida bisa menyebar lebih luas pada suatu permukaan daun.

#### 2.5.4. Gejala meniscus

Berdasarkan pengertian tegangan permukaan yang telah kita bahas sebelumnya, maka permukaan suatu zat cair harus tegak lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya. Karena jika tidak, akan ada komponen gaya yang sejajar dengan permukaan, yang sesuai dengan hukum II Newton, akan menyebabkan adanya gerakan permukaan. Pada umumnya permukaan zat cair adalah horizontal, yaitu tegak lurus dengan gaya gravitasi; namun jika zat cair ini bersentuhan dengan suatu zat padat, permukaan pada tepi persentuhan ini biasanya berupa lengkungan. Gejala seperti ini disebut gejala meniscus. Perhatikan gambar 2.10 yang menunjukkan gejala meniscus ini.

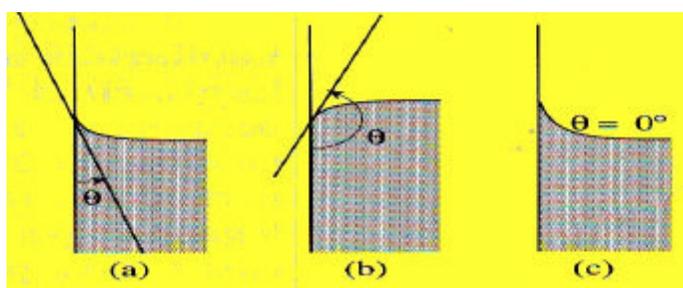


Gambar 2.10 Gejala meniscus

Untuk menjelaskan terjadinya gambar 2.10(a), tinjaulah zat cair di B yang bersentuhan dengan dinding vertical. Zat cair di B mengalami gaya tarik menarik BC yang dihasilkan oleh molekul-molekul zat cair disekitarnya, yaitu gaya kohesi. Gaya kohesi adalah gaya tarik-menarik antara molekul-molekul yang sejenis. Di samping gaya kohesi ini, terdapat pula gaya BA yang dihasilkan oleh molekul-molekul zat padat, yang disebut gaya adhesi. Gaya adhesi adalah gaya tarik-menarik antara molekul-molekul yang tidak sejenis.

Jika gaya adhesi BA ini lebih besar daripada gaya kohesi BC, maka resultan gaya BR pada zat cair di titik B akan berarah ke kiri, seperti ditunjukkan pada gambar 2.10(a). Akibatnya permukaan di B tegak lurus terhadap arah gaya BR, sehingga terbentuklah gejala meniscus cekung. Pada jarak yang agak jauh dari dinding, gaya kohesi lebih kuat daripada gaya adhesi sehingga resultan gayanya hampir vertikal, dan permukaan zat cair lebih mendekati horizontal. Sekarang tinjaulah Gambar 2.10(b). Pada kasus ini, gaya kohesi antara molekul-molekul zat cair BC lebih besar dibandingkan gaya adhesi antara molekul zat cair dan molekul zat padat BA. Akibatnya resultan gaya BR berarah ke kanan sehingga permukaan zat cair di B akan tertarik ke arah tegak lurus BR, membentuk gejala meniscus cembung. Ini terjadi pada raksa dan kaca.

Seberapa besarkah kecekungan atau kecekungan gejala meniscus ini? Untuk menyatakannya, didefinisikanlah sudut kontak  $\theta$ , yaitu sudut permukaan zat padat dengan gradient bidang permukaan zat cair.



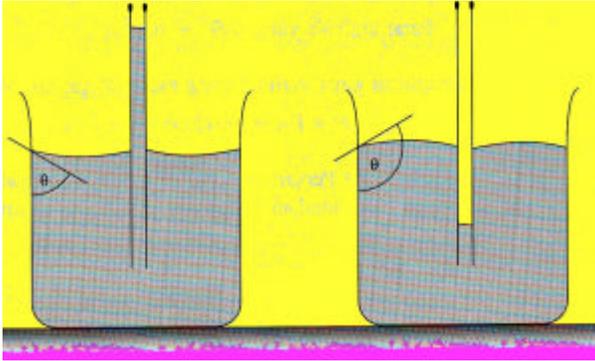
Gambar 2.11 Besar sudut kontak tergantung pada besar gaya adhesi dan kohesi

Zat cair pada Gambar 2.11(a) memiliki sudut kontak yang lebih kecil dari  $90^\circ$ , sedangkan pada gambar 2.11(b), sudut kontaknya lebih besar dari  $90^\circ$ . Air memiliki sudut kontak sama dengan nol dengan permukaan kaca, yaitu dimana gaya kohesi jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya adhesi sehingga permukaan air selalu paralel dengan dengan permukaan kaca, seperti tampak dalam gambar 2.11(c). Berdasarkan penjelasan di atas, dapatlah kita simpulkan bahwa besarnya sudut kontak bergantung pada besarnya gaya adhesi antara molekul zat cair dengan permukaan dinding zat padat dan gaya kohesi antara molekul-molekul zat padat itu sendiri.

### 2.5.5. Gejala Kapilaritas

Tegangan permukaan menyebabkan zat cair yang memiliki sudut kontak kurang dari  $90^\circ$  naik ke atas dalam pipa kapiler, lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan zat cair di luarnya. Semakin kecil pipa kapiler, semakin tinggi kenaikan zat cair. Jika zat cair memiliki sudut kontak yang lebih dari  $90^\circ$ , maka permukaan zat cair dalam pipa kapiler akan lebih

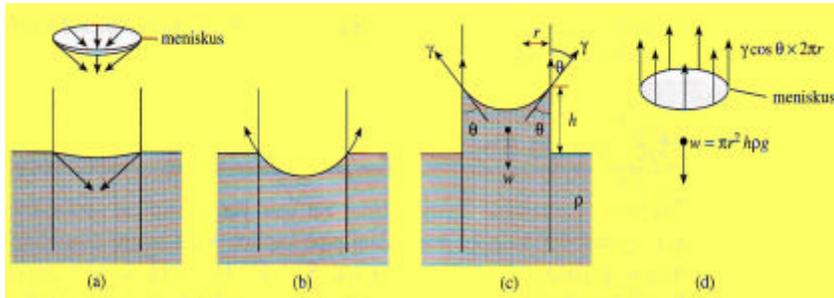
rendah dibandingkan permukaan zat cair di luarnya (b). Semakin kecil pipa kapiler, semakin besar penurunan permukaan zat cair. Gejala naik turunnya permukaan zat cair dalam pipa kapiler ini disebut gejala kapilaritas, seperti tampak dalam gambar 2.12 (a) dan (b).



Berdasarkan gambar 2.12 tersebut, kita simpulkan bahwa gejala kapilaritas naik terjadi pada peristiwa meniscus cekung, sedangkan gejala kapilaritas turun terjadi pada peristiwa meniscus cembung. Kenapa permukaan zat cair bisa turun dalam permukaan pipa kapiler?

Gambar 2.12 Gejala kapilaritas

Perhatikan gambar 2.13(a), dimana zat cair mengalami meniscus cekung. Tegangan permukaan menarik pipa ke arah bawah karena tidak diimbangi oleh gaya tegangan permukaan yang lain. Sesuai dengan hukum III Newton tentang aksi-reaksi, pipa akan melakukan gaya yang sama besar pada zat cair, tetapi dalam arah yang berlawanan (lihat Gambar 2.12(b)). Gaya ini lah yang menyebabkan zat cair naik. Zat cair berhenti naik ketika berat kolom zat cair yang naik sama dengan gaya keatas yang dikerjakan pipa pada zat cair (lihat gambar 2.12(c)).



Gambar 2.13 Analisis gejala kapiler

Jika massa jenis zat cair adalah  $\rho$  tegangan permukaan  $\gamma$ , sudut kontak  $\theta$ , kenaikan zat cair setinggi  $h$ , dan jari-jari pipa kapiler  $r$ , maka

$$\begin{aligned} \text{Berat zat cair yang naik} &= mg \\ &= \rho Vg \\ \text{Berat zat cair yang naik} &= \rho \pi r^2 hg \dots\dots (i) \end{aligned}$$

Komponen gaya vertical yang menarik zat cair ini naik adalah

$$F = (\gamma \cos \theta) (2\pi r) \dots (ii)$$

Ingat kembali Persamaan (2.6) untuk mendapatkan persamaan diatas. Dengan menyamakan kedua persamaan ini, akhirnya diperoleh :

$$\rho r^2 h g = 2 \pi \gamma \cos \theta$$

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{r \rho g} \dots \dots \dots (2.8)$$

Sebagai contoh, kita masukkan nilai-nilai untuk air yang dimasukkan pada sebuah pipa kapiler, dimana  $\theta = 0$ ,  $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ ,  $\gamma = 7,3 \times 10^{-2} \text{ Nm}^{-1}$ ,  $r = 0,50 \times 10^{-3} \text{ m}$ . Persamaan (11.13) kita peroleh :

$$\begin{aligned} h &= \frac{2(7,3 \times 10^{-2} \text{ Nm}^{-1}) \cos 0}{(0,50 \times 10^{-3} \text{ m})(1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ m/s}^2)} \\ &= 3,0 \times 10^{-2} \text{ m} \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Kapilaritas dalam sehari-hari**

ternyata gejala kapilaritas banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Contoh gejala kapilaritas yang bermafaat adalah pada kompor minyak tanah. Sumbu kompor berfungsi sebagai pipa kapiler, sedangkan minyak tanah berfungsi sebagai zat cair. Karena gejala kapilaritas ini, minyak tanah dapat meresap dan bergerak naik melalui sumbu sehingga kompor bisa dinyalakan.

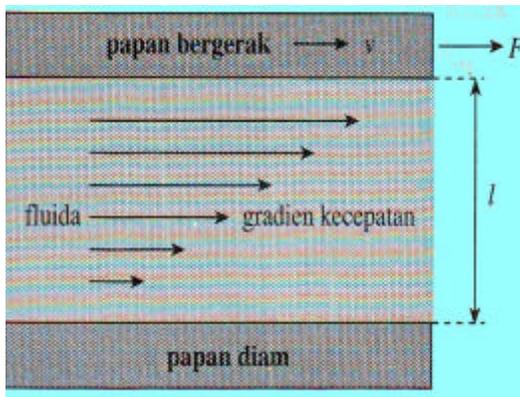
Pada tumbuh-tumbuhan, air dari dalam tanah naik ke tumbuh-tumbuhan melalui gejala kapilaritas. Yang bertindak sebagai pipa kapiler dalam kasus ini adalah akar tumbuh-tumbuhan dan pembuluh kayu dalam batang tumbuhan. Saat ini banyak beredar obat nyamuk cair yang memanfaatkan gejala kapiler. Obat nyamuk ini tidak perlu disemprotkan, tetapi obat nyamuk cair yang ini akan meresap naik melalui sebuah kayu yang berfungsi sebagai pipa kapiler. Selanjutnya obat nyamuk tersebut difungsikan secara elektrik.

Disamping menguntungkan, ternyata gejala kapilaritas ada juga yang merugikan, misalnya naiknya air melalui dinding rumah pada waktu hujan. Ketika hujan turun, air hujan yang berada di permukaan tanah bisa meresap melalui dinding rumah sehingga dinding rumah bagian dalam menjadi lembab. Tentu saja dinding rumah yang lembab ini tidak baik bagi kesehatan penghuninya.

### 2.5.6. Viskositas

Di depan telah kita pelajari bahwa permukaan zat padat yang bersentuhan menimbulkan gaya gesekan satu sama lain ketika keduanya bergerak. Dengan cara yang sama, gerakan dari lapisan fluida juga menimbulkan gesekan, yang disebut viskositas fluida. Semakin besar viskositas, semakin susah fluida itu mengalir. Viskositas fluida juga menunjukkan bagaimana gerakan zat padat dalam fluida tersebut. Semakin besar viskositas, semakin susah suatu zat padat bergerak di dalamnya. Dalam sehari-hari, viskositas kita kenal sebagai ukuran kekentalan fluida.

Didalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair, sedangkan dalam gas viskositas muncul sebagai akibat tumbukan antar molekul-molekul gas. Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan besaran koefisien viskositas (?).



Gambar 2.14 Menentukan viskositas

Perhatikan gambar 2.14, dimana suatu lapisan fluida ditempatkan diantara dua papan, satu papan bergerak, sedangkan papan yang lain diam. Fluida bersentuhan dengan masing-masing akibat adanya gaya adhesi antara papan dan fluida, sehingga ketika papan atas bergerak dengan kecepatan  $v$ , fluida dibagian atas juga bergerak dengan kecepatan yang sama.

Sementara itu fluida yang bersentuhan dengan papan yang diam juga diam. Dengan demikian, ada variasi kecepatan dalam fluida, dari nol sampai  $v$  tertentu. Jika kecepatan  $v$  ini dibagi dengan tebal lapisan  $l$ , maka besaran

$\frac{v}{l}$  disebut gradien kecepatan.

Untuk menggerakkan papan yang atas diperlukan suatu gaya. Besarnya gaya yang diperlukan ini ternyata sebanding dengan luas permukaan kontak masing-masing papan  $A$ , sebanding dengan kecepatan  $v$ , dan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan  $l$  (jarak antara dua papan). Dari sini kita bisa menuliskan besar gaya yang diperlukan untuk menggerakkan papan

$$F = \eta A \frac{v}{l} \dots\dots\dots (2.9)$$

Satuan SI untuk koefisien viskositas adalah N.s/m<sup>2</sup> yang disebut Pascal.sekon. Contoh beberapa viskositas cairan dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Viskositas beberapa cairan

Fluida	Suhu (°C)	Koefisien viskositas $\eta$ (Pa.s)
Air	0	$1,8 \times 10^{-3}$
	20	$1,0 \times 10^{-3}$
	100	$0,3 \times 10^{-3}$
Darah	37	$4 \times 10^{-3}$
Plasma darah	37	$1,5 \times 10^{-3}$
Etil alkohol	20	$1,2 \times 10^{-3}$
Oli (SAE 10)	30	$200 \times 10^{-3}$
Gliserin	20	$1500 \times 10^{-3}$
Udara	20	$0,018 \times 10^{-3}$
Hidrogen	0	$0,009 \times 10^{-3}$
Uap air	100	$0,013 \times 10^{-3}$

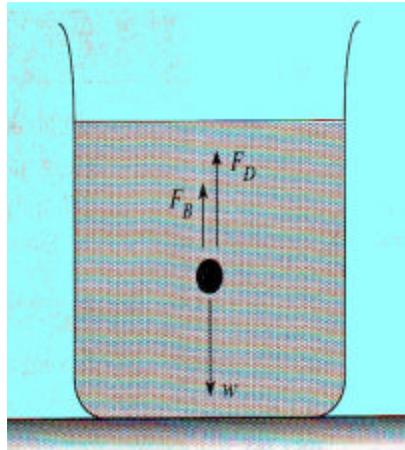
Hukum stokes dan kecepatan terminal

Rumusan matematis untuk menghitung besarnya gaya viskositas untuk benda yang bentuknya tak teratur tentu saja sulit. Untuk itu, dalam pembahasan ini akan kita tinjau gaya viskositas yang dialami oleh suatu bola yang dijatuhkan dalam fluida. Menurut Sir George Stokes, gaya hambat ( $F_D$ ) yang dialami oleh suatu bola berjari-jari  $R$  yang bergerak dengan kecepatan konstan  $v$  didalam fluida dengan koefisien viskositas  $\eta$  adalah

$$F_D = 6\eta \pi R v \dots\dots\dots (2.10)$$

Pernyataan ini dikenal sebagai hukum Stokes.

Perhatikan sebuah bola yang jatuh dalam fluida pada gambar 2.15. gaya-gaya yang bekerja padanya adalah gaya berat  $w$ , gaya apung  $F_B$ , dan gaya hambat akibat viskositas  $F_D$ . Ketika bola ii dijatuhkan, ia bergerak dipercepat. Namun ketika kecepatannya bertambah, gaya hambat akibat viskositas  $F_D$  juga bertambah. Akibatnya, pada suatu saat bola mencapai keadaan setimbang sehingga bergerak dengan kecepatan konstan, yang disebut **kecepatan terminal**. Pada kecepatan terminal ini resultan gaya yang bekerja pada bola sama dengan nol.



Gambar 2.15 Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah bola yang dijatuhkan dalam fluida

Dengan memilih sumbu vertikal ke atas sebagai sumbu positif, maka pada saat kecepatan terminal tercapai berlaku

$$F_D + F_B - w = 0 \dots\dots (i)$$

Gaya hambat  $F_D$  diberikan oleh Persamaan (2.10) yaitu

$$F_D = 6\eta \pi R v$$

Gaya apung  $F_B$  diberikan oleh persamaan (2.1)  $F_B = \rho_{fluida} g V$ ; dan gaya berat  $w = mg$ . Dengan demikian, persamaan di atas menjadi :

$$6\eta \pi R v + \rho_{fluida} g V - mg = 0$$

Karena  $V$  adalah volume fluida yang dipindahkan, maka  $V = \frac{4}{3} R^3$ . Sementara itu, massa bola bisa kita nyatakan dalam jari-jari bola  $R$  dan massa jenis bola  $\rho_{bola}$ , yaitu :

$$M = \rho_{bola} V_{bola} = \rho_{bola} \left(\frac{4}{3} R^3\right) \dots\dots (ii)$$

Dengan memasukkan persamaan-persamaan ini ke dalam pers (ii) diperoleh

$$6\eta \pi R v + \rho_{fluida} \left(\frac{4}{3} R^3\right) g - \rho_{bola} \left(\frac{4}{3} R^3\right) g = 0$$

$$v = \frac{2R^2 g}{9\eta} (\rho_{bola} - \rho_{fluida}) \dots\dots (2.11)$$

Persamaan (2.11) adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan terminal jika viskositas diketahui. Jika yang ingin dihitung adalah viskositasnya (biasanya dilakukan dalam percobaan), maka persamaan (2.11) bisa dituliskan :

$$v = \frac{2R^2 g (\rho_{bola} - \rho_{fluida})}{9\eta} \dots\dots\dots (2.12)$$

**2.5.7. Bilangan Reynold Re**

Aliran dapat ditentukan dengan bilangan Reynold

Re tanpa dimensi 
$$Re = \frac{v \cdot d_H}{\nu} \dots\dots\dots (2.13)$$

V = kecepatan aliran (m/detik)  
 d<sub>H</sub> = diameter hidrolis (m), dengan penampang lingkaran = diameter dalam pipa

$$d_H = 4 \times \frac{A}{U}$$

A = luas penampang, U = keliling v = viskositas kinetik ( m<sup>2</sup>/detik)

Re kritis ~ 2300

Nilai ini berlaku untuk pipa bundar, halus (dari segi teknik) dan lurus. Pada Re kritis bentuk aliran berubah dari laminar ke turbulen dan sebaliknya.

aliran laminar Re < Re kritis

aliran turbulen Re > Re kritis

**3**

## Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Apabila seseorang yang mengoperasikan, memperbaiki, atau merencanakan sistem tenaga fluida (salah satu contohnya sistem hidrolis) seharusnya memahami secara keseluruhan tentang fisika fluida, sifat-sifat dan perilaku fluida. Pada bab 2 telah disinggung tentang karakteristik fluida. Mekanika fluida mengkaji perilaku dari zat-zat cair dan gas dalam keadaan diam ataupun bergerak. Fluida didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi tegangan geser. Pada bab ini, kita akan mengkaji prinsip-prinsip dasar hidrolis, dimana fluida baik yang diam maupun yang sedang bergerak memiliki perilaku sedemikian rupa hingga tidak terdapat gerak relatif antara partikel-partikel yang bersebelahan. Dalam kedua kondisi tersebut tidak terdapat tegangan geser pada fluida, dan satu-satunya gaya yang timbul pada permukaan-permukaan partikel disebabkan oleh tekanan.

Sebelum kita mempelajari alat berat secara mendalam kita harus mempelajari terlebih dulu prinsip-prinsip dasar hidrolis. Kata **hidrolis** (hidraulik, *hydraulic*) berasal dari kata Yunani "*hydor*" yang berarti "air". atau "zat cair" atau "fluida cair", bermakna semua benda atau zat yang berhubungan dengan "air". Dahulu didefinisikan sebagai segala sesuatu yang berhubungan dengan air. Sekarang kita mendefinisikan "hidrolis" sebagai pemindahan, pengaturan, gaya-gaya dan gerakan-gerakan zat cair. Dalam hal ini cairan digunakan sebagai sarana perpindahan energi. Minyak mineral adalah cairan yang sering digunakan, tetapi dapat digunakan pula cairan sintesis, seperti air atau emulsi minyak air. Hidromekanika (mekanika zat alir/mekanika fluida) dapat dibagi menjadi 2 :

**Hidrostatika** : mekanika fluida /zat cair diam (teori kesetimbangan dalam cairan)

**Hidrodinamika** : Mekanika fluida yang bergerak (ilmu aliran)

Salah satu contoh dari hidrostatika adalah perpindahan gaya dalam hidrolis. Salah satu contoh dari hidrodinamika murni adalah perpindahan energi aliran di turbin-turbin pembangkit listrik tenaga air.

Selain dengan sistem hidrolis, tentu ada cara lain untuk memindahkan energi seperti : roda gigi, poros mekanisme engkol dan sebagainya (mekanik), *amplifier*, elemen pengubah elektronik (elektronik), pemindahan seperti hidrolis dengan udara sebagai elemen transfer (pneumatik). Masing-masing mempunyai bidang penerapannya sendiri, namun dalam beberapa kasus, kita bisa memilih dari berbagai kemungkinan.

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

Banyak alasan yang dapat dikemukakan mengapa orang memilih pengontrolan dari penggerak hidrolik. Beberapa sifat khusus sistem hidrolik:

1. Gaya yang tinggi (berupa momen putar) dengan ukuran yang kompak, yaitu berupa kepadatan tenaga yang tinggi
2. Penyesuaian gaya otomatis
3. Dapat bergerak dari keadaan diam meskipun pada beban penuh
4. Perubahan (kontrol atau pengaturan) tanpa tingkatan dan kecepatan, momen putar (torsion), gaya langkah dan sebagainya yang dapat dilakukan dengan mudah
5. Perlindungan terhadap beban berlebih yang sederhana
6. Cocok untuk mengendalikan proses gerakan yang cepat dan untuk gerakan sangat lambat yang akurat.
7. Penumpukan energi yang relatif sederhana dengan menggunakan gas.
8. Dapat dikombinasikan dengan transformasi yang tidak terpusat dari energi hidrolik kembali ke energi mekanik, dapat diperoleh sistem penggerak sentral yang sederhana sehingga dapat ekonomis.

Fluida di dipakai untuk memindahkan energi. Pengertian energi hidrolik (*hydraulic power*) akan dipakai secara bergantian dengan energi fluida bertekanan (*fluid power*), meskipun secara makna tidak berbeda. Oli mineral secara umum banyak digunakan pada sistem ini selain minyak-minyak sintetis, air atau emulsi air dan oli. Meskipun beberapa yang disebut terakhir memiliki keterbatasan-keterbatasan yang sangat berarti.

Barangkali satu kelebihan yang tak dipunyai energi lain, bahwa energi hidrolik adalah salah satu sistem yang paling serbaguna dalam mengubah dan memindahkan tenaga. Terbukti dari sifat kekakuannya, namun sekaligus mempunyai sifat kefleksibilitasnya. Dalam bentuk apapun cairan minyak hidrolik akan mengikuti bentuk yang ditempatinya pada beberapa bagian dari sistem. Setiap bagian melakukan kerja sesuai dengan ukuran yang ditempatinya, dan dapat disatukan kembali menjadi satu kesatuan. Pada halaman berikut ini disampaikan perbandingan antara energi hidrolik dengan berbagai sistem energi lain : pneumatik, elektrik, dan mekanik untuk memperjelas posisi berbagai sistem itu.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

Tabel 1. Perbandingan berbagai sistem energi

Kriterium	Hidrolik	Pneumatik	Elektrik/ Elektronik	Mekanik
Pembawa energi	Oli (secara umum fluida)	Udara	Elektron	Poros, batang penghubung, sa-buk, rantai, roda dll
Perpindahan energi	Pipa, selang, tabung, lubang	Pipa, selang, tabung, lubang	Kabel/ bahan yang bersifat konduksi	Poros, batang penghubung, sabuk, rantai, roda dll
Konversi dari dan ke energi mekanik	Pompa, silinder, motor hidrolik (HY)	Kompresor, silinder, motor pneumatik (PN)	Generator, baterai, motor listrik (E), mag net, solenoid, motor induksi	
Besaran karakter terpenting	Tekanan p (30..400 bar) Debit Q	Tekanan p (sekitar 6 bar) Debit Q	Tegangan V Arus I	Gaya, Torsi, kecepatan, putaran
Efisiensi perpindahan energi	Baik sekali/ sempurna Kompak, harga layak dg teknologi. Operasi sampai 400 bar. Merubah ke gerakan linear sederhana dg silinder	Baik, terbatas karena tekanannya maksimal hanya 6 bar	Cukup – Baik Koefisien efisiensi motor listrik 1/10 x dibanding motor hidrolik. Menghubungkan-memutus mu dah dilakukan dg switch	Baik, Sebab konversi energi tak diperlukan. Keterbatasannya terlihat pada kemampuan pengontrolannya
Keakuratan gerakan	Sempurna, sebab oli tak dapat dikompresi	Cukup – Baik, sebab udara kompresibel	Sangat bervariasi. Kadang tinggi kadang rendah	Baik sekali, disebabkan kaitan antar komponen pasti
Efisiensi	Cukup – Baik, dan gesekan tergantung pengontrolannya dengan katup-katup	kerugian volume selama konversi pengontrolannya	Baik, sepanjang energi ini tersedia sebagai energi utama	Baik, disini tak perlu proses konversi. Ada kerugian-kerugian gesekan.
Kemampuan untuk dikontrol	Sempurna, dengan katup-katup (dapat ditingkatkan lagi dengan dikombinasikan energi listrik)	Sempurna, dengan katup-katup (untuk tenaga yang kecil – menengah). Dpt ditingkatkan dgn energi listrik	Untuk tenaga kecil : sempurna, untuk tenaga besar : cukup-baik. Dg switch, relay, variable resistor dll	Cukup-Baik, melalui perpindahan roda gigi dan sistem perpindahan mekanis bertingkat
Pembangkitan gerakan lurus	Sangat mudah, menggunakan silinder	Sangat mudah, menggunakan silinder	Sedikit lebih rumit, dengan menggunakan motor linear	Sederhana dengan mekanisme engkol, poros pendek (spindle) dll.
Hubungan pemberian sinyal dari sistem hidrolik dengan sistem lain		Operasi pneumatik dengan katup2 kontrol arah	Pengontrolan dengan electromagnet (solenoid, switch, swit tekanan dll.)	Digerakkan atau dilepas dg pompa, motor hidrolik, silinder, gerakan katup melalui cam dan lintasan.

Hidrolik dapat bergerak dengan cepat pada satu bagian dan dapat dengan lambat bergerak pada bagian yang lain. Tak satupun medium

**TEKNIK ALAT BERAT**

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

energi yang dapat mengkombinasikan kesamaan derajat dari kepastian, ketelitian, fleksibilitas, yang menjaga kemampuan untuk memindahkan tenaga maksimum dalam bagian yang besar dengan ukuran yang minimum. Komponen hidrolik dikenal kompak (*compact*), ukuran yang kecil/ringan tetapi mampu memberi tenaga yang besar.

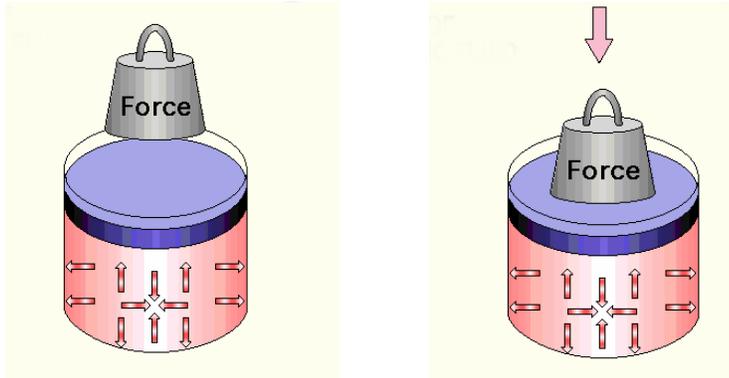
Alat berat merupakan aplikasi dari hidrolik. Hidrolik merupakan aplikasi dari mekanika fluida. Mekanika fluida merupakan aplikasi ilmu fisika. Hukum-hukum fisika yang mengatur fluida cair sesederhana ilmu mekanika benda padat dan lebih sederhana dibanding dengan dengan hukum-hukum yang mengatur ilmu-ilmu udara, panas, uap, gas, elektron, sinar, gelombang, magnet dan sebagainya. Dalam beberapa hal hidrolik serupa dengan pneumatik (*pneumatics*-ilmu yang mempelajari pemanfaatan udara bertekanan untuk perpindahan energi), terutama pada prinsip kerja dan komponen-komponennya. Oli bertekanan adalah media pemindah energi yang sehabis dipakai oleh elemen kerja (silinder atau motor hidrolik) harus dikembalikan ke penampung (*reservoir* atau tangki), tidak langsung dibuang ke atmosfer seperti udara bekas pada sistem pneumatik.

Dalam sistem hidrolik, fluida cair berfungsi sebagai penerus gaya. Minyak mineral umum dipergunakan sebagai media. Dengan prinsip mekanika fluida yakni **hidrostatik** (mekanika fluida yang diam/statis, teori kesetimbangan dalam cairan), hidrolik diterapkan. Prinsip dasar dari hidrolik adalah karena sifatnya yang sangat sederhana. Zat cair tidak mempunyai bentuk yang tetap, zat cair hanya dapat membuat bentuk menyesuaikan dengan yang ditempatinya. Zat cair pada praktiknya memiliki sifat tak dapat dikompresi (*incompressible*), berbeda dengan fluida gas yang mudah dikompresi (*compressible*). Karena fluida yang digunakan harus bertekanan, akan diteruskan ke segala arah secara merata dengan memberikan arah gerakan yang halus. Ini didukung dengan sifatnya yang selalu menyesuaikan bentuk yang ditempatinya dan tidak dapat dikompresi. Kemampuan yang diuraikan di atas akan menghasilkan peningkatan kelipatan yang besar pada gaya kerjanya. Uraian yang lebih jelas akan disajikan pada bab-bab selanjutnya.

Jadi, sistem hidrolik adalah suatu sistem pemindah tenaga dengan mempergunakan zat cair/fluida sebagai media/perantara. Karena sifat cairan yang selalu menyesuaikan bentuk yang ditempatinya, akan mengalir ke segala arah dan dapat melewati berbagai ukuran dan bentuk. Untuk menjamin bahwa komponen hidrolik harus aman dalam operasinya, dapat dipenuhi oleh sifat zat cair yang tidak dapat dikompresi. Gambar 3.1

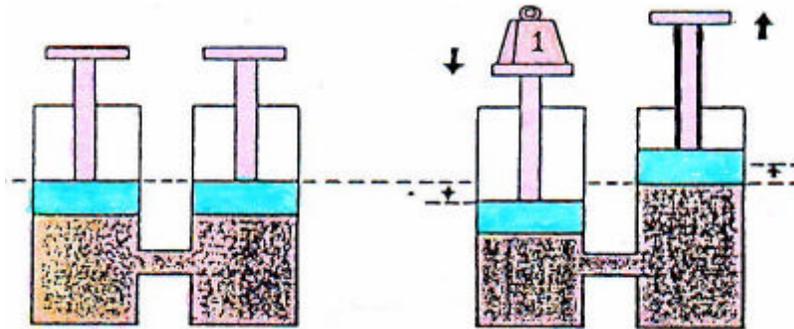
### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

menunjukkan, apabila gaya itu di tekan ke arah silinder yang tertutup rapat maka pada silinder itupun akan terjadi tekanan di permukaan dalam. Tempat-tempat terjadinya tekanan itu tentu akan merata ke seluruh kulit dalam silinder, disebabkan sifat zat cair yang meneruskan gaya ke segala arah.



Gambar 3.1 Tekanan diteruskan ke segala arah

Gambar 3.2 memperlihatkan dua buah silinder yang berukuran sama yang terhubung dengan pipa, kemudian silinder diisi dengan minyak oli hingga mencapai batas permukaan yang sama. Dua piston diletakkan di atas permukaan minyak oli. Kemudian salah satu piston ditekan dengan gaya  $W$  kg, tekanan ini akan diteruskan ke seluruh sistem hingga piston yang lain naik setinggi langkah ke bawah piston yang ditekan.

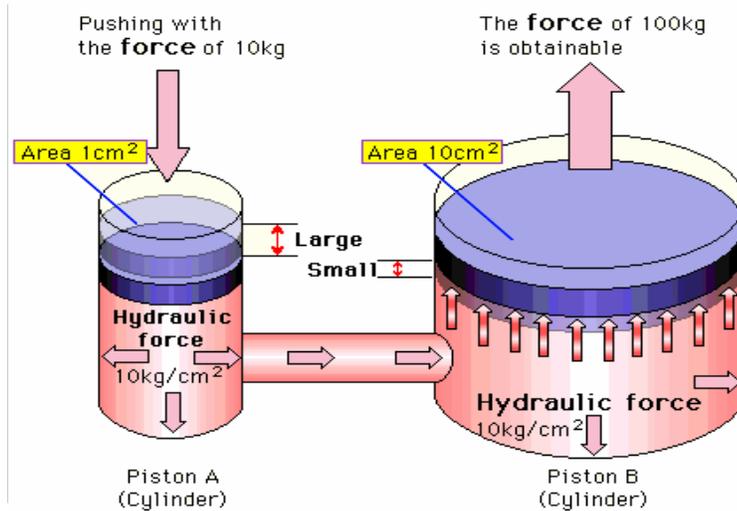


Gambar 3.2 Zat cair meneruskan tekanan ke segala arah

Prinsip inilah yang dipergunakan pada alat pengangkat hidrolis. Dengan membuat perbandingan diameter yang berbeda akan mempengaruhi gaya penekan dan gaya angkat yang didapatnya. Perhatikan Gambar 3.3 pada halaman berikut, bila diameter piston penekan dibuat

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

lebih kecil dari piston penerima beban/pengangkat beban akan memberikan gaya tekan yang ringan tetapi gaya tekan itu akan diteruskan menjadi gaya dorong ke atas yang besar. Rumus lebih rinci dijelaskan pada bahasan pada bab-bab selanjutnya.



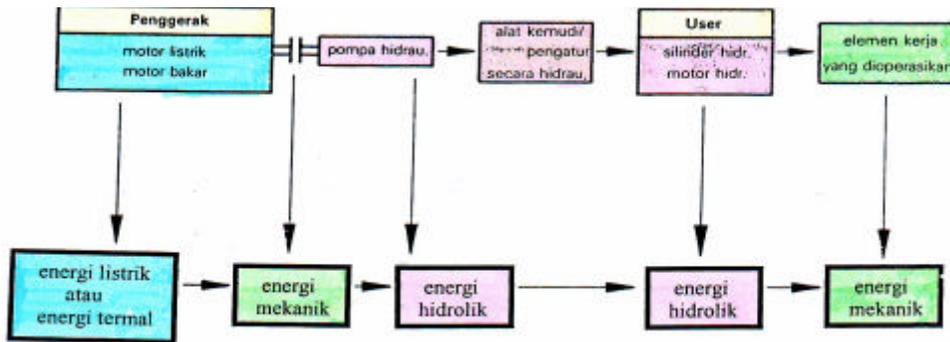
Gambar 3.3 Perbandingan gaya pada pengungkit hidrolik

Hidrolik dapat dinyatakan sebagai alat yang memindahkan tenaga dengan mendorong sejumlah cairan tertentu. Komponen pembangkit fluida bertekanan disebut pompa, dan komponen pengubah tekanan fluida (atau juga sering disebut energi hidrolik, dalam hal ini misal : oli bertekanan) menjadi gerak mekanik disebut dengan elemen kerja. Prinsipnya elemen kerja akan menghasilkan gerak mekanis. Gerakan mekanis lurus (*linear*) dihasilkan dari elemen kerja berupa silinder hidrolik, dan gerakan mekanis putar (*rotary*) dihasilkan oleh elemen kerja berupa motor hidrolik. Uraian masing-masing elemen itu akan dibahas secara rinci pada bab-bab selanjutnya.

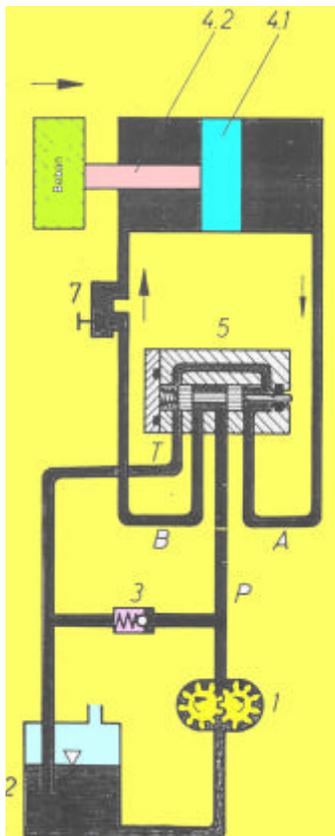
Sebagai penggerak pompa hidrolik dapat digunakan motor listrik atau motor penggerak mula. Setelah oli hidrolik dipompa pada tekanan tertentu, kemudian disalurkan ke katup kontrol arah yang bertugas mengatur kemana cairan hidrolik itu dialirkan. Diagram alir sistem hidrolik dapat dilihat pada gambar 34. Urutan aliran dimulai dari pembangkit berupa motor listrik atau motor bakar yang menggerakkan pompa oli, pompa oli meningkatkan tekanan oli yang ditampung pada reservoir. Melalui katup kontrol hidrolik, oli bertekanan dialirkan ke pemakai berupa elemen kerja

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

silinder/motor hidrolis yang akan mengubah energi hidrolis itu menjadi energi gerak/mechanis. Dengan demikian urutan energinya dari motor listrik/bakar ke silinder hidrolis berturut-turut : energi listrik/mechanis – energi hidrolis – energi hidrolis – energi mekanis.



Gambar 3.4 Diagram aliran sistem hidrolis

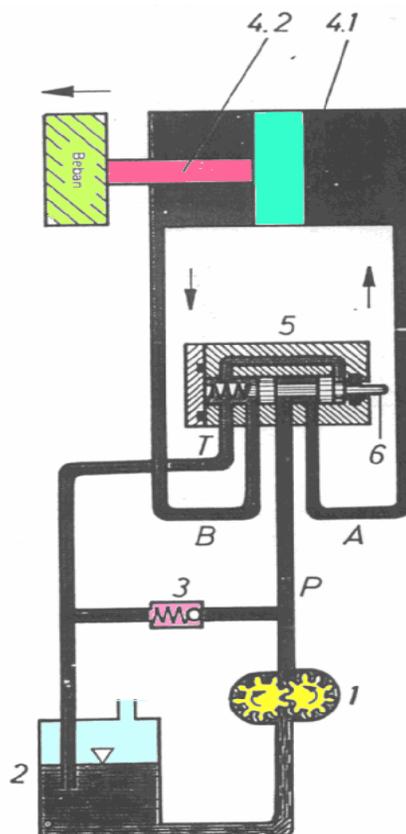


Bila diperhatikan penjelasan di atas, sistem hidrolis nampak sangat sederhana, namun komponen hidrolis tidak dapat bekerja begitu saja. Peralatan hidrolis memerlukan ketelitian gerakan, keamanan dan keselamatan, dan hemat energi dalam pengoperasiannya. Seluruh persyaratan yang dituntut itu dapat dipenuhi dengan melengkapi komponen-komponen tertentu yang disebut katup-katup kontrol arah (*directional control valves*) yang mengatur tekanan, aliran, keamanan, maupun arah fluida oli. Jenis, fungsi, konstruksi dan sistem kerja katup-katup kontrol itu secara terinci akan dibahas pada bab-bab selanjutnya. Bagaimana mekanisme per pindahan oli hidrolis pada sistem hidrolis? Kita ikuti penjelasan melalui gambar 3.5 berikut. Oli hidrolis yang ditampung dalam reservoir (2) dipompa oleh pompa hidrolis (1) pada tekanan dan debit tertentu tergantung pada beban dan kecepatan gerak beban tersebut. Semakin besar beban yang harus di geser, diangkat, dipreskan atau ditekan pada tekanan tertentu akan memerlukan tekanan yang relatif tinggi. Gambar 3.5 Skema sistem hidrolis (ke kanan).

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

Demikian pula semakin cepat gerak perpindahan beban, debit (volume yang dihasilkan per satuan waktu) pompa hidrolik harus semakin besar. Dengan kata lain gaya yang dihasilkan tergantung pada tekanan kerja, dan kecepatan gerak perpindahan tergantung pada debit yang dihasilkan pompa, dengan ketentuan ia bekerja pada luas penampang silinder kerja yang sama.

Hasil pemompaan pompa hidrolik 1 (dalam gambar ini jenis pompa roda gigi) didistribusikan ke katup kontrol arah 5 dan sebagian ke katup pengaman 3. Katup pengaman 3 berfungsi sebagai pengatur tekanan maksimum yang diinginkan. Apabila tekanan yang dihasilkan oleh pompa melebihi yang disetel pada katup pengaman tersebut, maka secara otomatis oli hasil pemompaan akan disalurkan kembali ke reservoir. Dengan demikian tekanan penyetelan (sesuai tekanan kerja yang diinginkan) akan selalu tercapai, dan tekanan yang melebihi akan dihindarkan melalui mekanisme pembocoran pada katup pengaman. Pembahasan lebih detil tentang katup pengaman akan dibahas pada bab tersendiri.

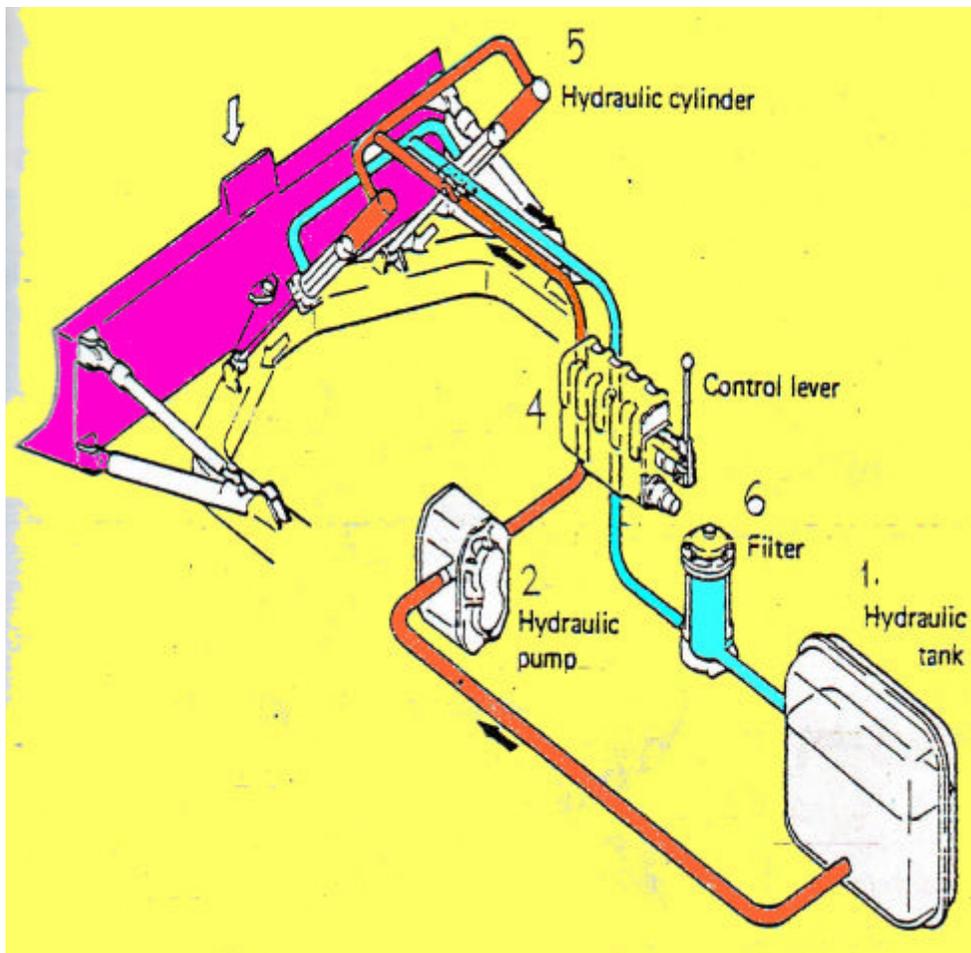


Apabila posisi katup kontrol arah seperti pada gambar 3.5, maka piston pada silinder (4.1) tertekan pada sisi sebelah kiri dan piston akan bergeser ke kanan. Kecepatan gerak pergeseran piston (beban) dapat diatur oleh katup pengatur aliran 7. Di depan piston 4.1 terdapat cairan oli yang terdorong olehnya sehingga mengalir kembali ke reservoir melewati katup kontrol arah 5. Mekanisme yang sama terjadi apabila posisi katup kontrol arah sedemikian rupa sehingga saluran A yang mendapat tekanan sehingga piston sisi kanan tertekan maka piston (beban) akan bergerak ke kiri. Oli yang ada di sebelah kiri piston akan dikembalikan ke reservoir melalui saluran B dan katup kontrol arah 5 (amati gambar 3.6). Demikian uraian singkat tentang terjadinya gerakan beban, sederhana bukan ?

Gambar 3.6 Skema sistem hidrolik beban kekiri

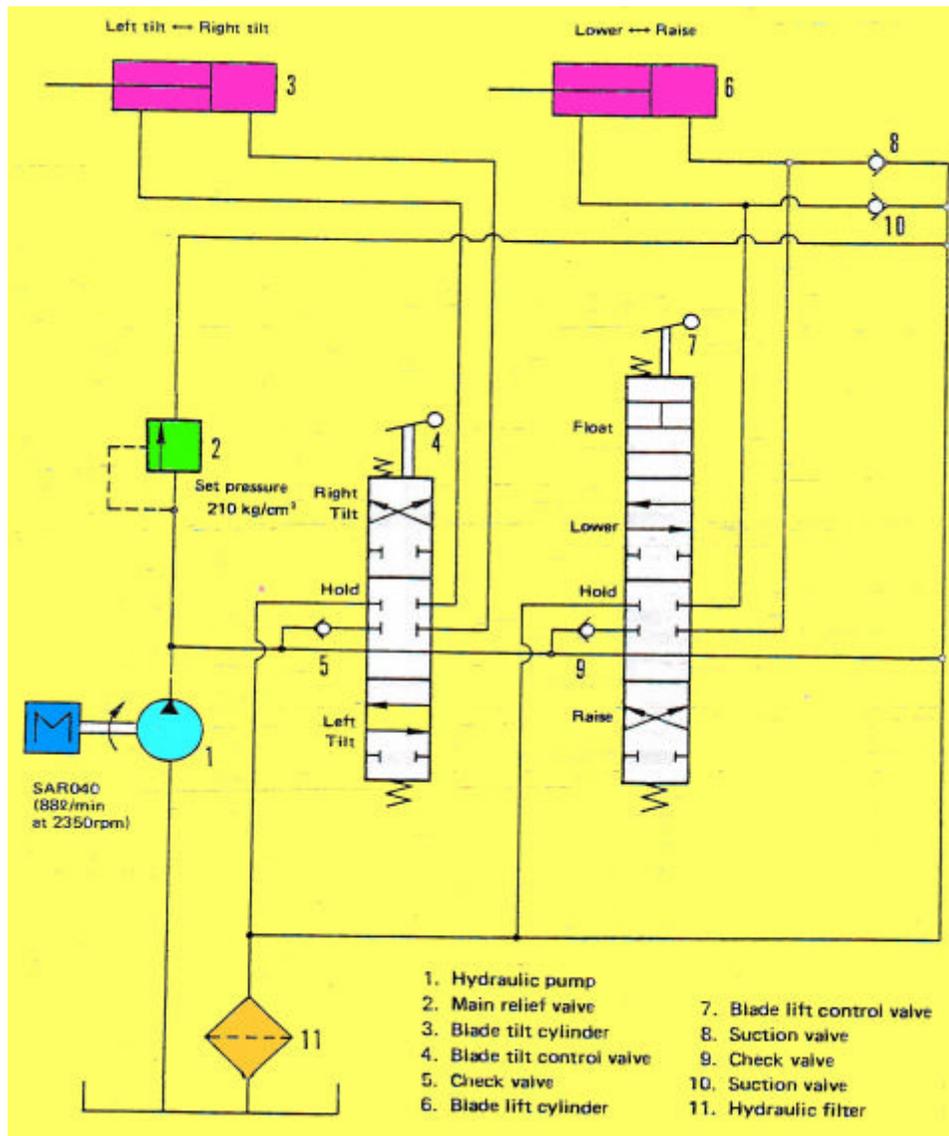
### 3. prinsip-prinsip dasar hidroltik

Gambar skema seperti pada gambar 3.5. dan 3.6. untuk sistem hidroltik yang kompleks, misalnya dengan silinder kerja lebih dari dua atau tiga (misal pada *bulldozer*- seperti terlihat pada gambar 3.7 dan 3.8) akan sulit menggambarannya. Selain terlihat ruwet, tidak praktis, dan juga sulit menyeragamkan gambar-gambar dari berbagai pabrik pembuat komponen hidroltik. Untuk mengatasi hal itu, maka skema gambar dalam sistem hidroltik cukup digambarkan dalam bentuk simbol-simbol yang tentunya sudah distandarkan/dinormalisasikan. Dari skema gambar 3.5. dapat disederhanakan gambarnya menjadi gambar 3.8. di halaman 42. Gambar ini disebut sebagai **diagram sirkuit sistem hidroltik**. Pembahasan tentang diagram sirkuit sistem hidroltik akan diuraikan pada bab-bab selanjutnya.



Gambar 3.7 Skema sistem hidroltik pada bulldozer

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

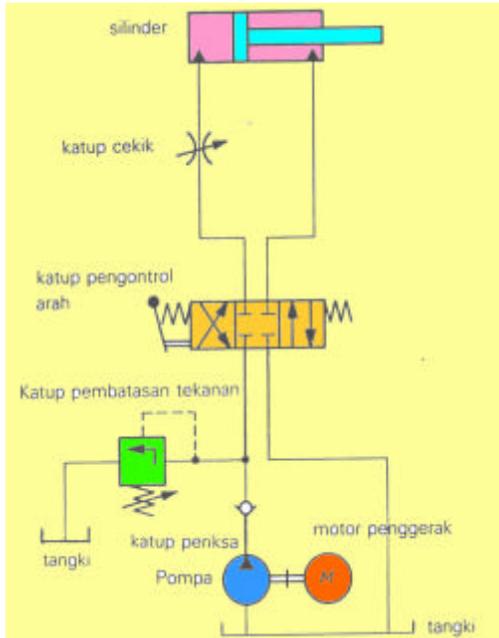


Gambar 3.8 Diagram sirkuit sistem hidrolis (bulldozer)

Dari gerakan-gerakan yang dihasilkan oleh elemen kerja hidrolis dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan. Pada prinsipnya elemen kerja hidrolis menghasilkan dua macam gerakan utama. Gerakan linear (lurus) dihasilkan dari elemen kerja silinder hidrolis (*hydraulic linear cylinders*) dan gerakan putar dihasilkan dari elemen kerja motor hidrolis (*hydraulic rotary motors*).

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

Uraian selengkapnya dari elemen kerja hidrolik akan dibahas pada bab yang membicarakan secara mendalam tentang elemen kerja hidrolik pada bab-bab selanjutnya.



Dengan melihat kemampuan sistem hidrolik tentu tidak semua sistem gerakan dapat dipenuhi dan dapat diatasi oleh elemen kerja hidrolik. Adakalanya lebih menguntungkan menggunakan sistem pneumatik, mekanik atau elektrik.

Tentu tergantung dari lingkungan dan kompleksitas jenis pekerjaan. Bahkan lebih sering dengan menggabungkan dua atau tiga sistem energi dalam satu sistem gerakan (komplemen). Jelasnya sistem hidrolik dapat digunakan untuk industri-industri ringan maupun berat. Sebagai gambaran, berikut diuraikan tentang keuntungan dan kerugian sistem hidrolik.

Gambar 3.9 Sistem hidrolik sederhana

Perbandingan antara sistem hidrolik dan sistem mekanik :

a. Keuntungannya :

- 1) Dapat menyalurkan torsi dan gaya besar
- 2) Pencegahan *over load* tidak sukar
- 3) Control gaya pengoperasian mudah dan cepat
- 4) Pergantian kecepatan lebih mudah
- 5) Getaran halus
- 6) Daya tahan lebih lama

b. Kerugiannya :

- 1) Peka terhadap kebocoran
- 2) Peka terhadap perubahan temperatur
- 3) Kadang-kadang kecepatan kerja berubah
- 4) Kerja sistem salurannya tidak sederhana (kompleks)

**Keuntungan-keuntungan sistem energi hidrolik :**

1. Dibandingkan dengan sistem energi mekanik yang memiliki kelemahan dalam hal penempatan posisi tenaga transmisinya, pada sistem energi hidrolik saluran-saluran energi hidrolik dapat ditempatkan pada hampir

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

setiap tempat. Pada sistem energi hidrolik tanpa menghiraukan posisi poros terhadap transmisi tenaganya seperti pada sistem energi mekanik. Energi hidrolik lebih fleksibel dari segi penempatan transmisi tenaganya.

2. Dalam sistem hidrolik, gaya yang relatif sangat kecil dapat digunakan untuk menggerakkan atau mengangkat beban yang sangat besar dengan cara mengubah sistem perbandingan luas penampang silinder. Hal ini tidak lain karena kemampuan komponen-komponen hidrolik pada tekanan dan kecepatan yang sangat tinggi. Komponen penghasil energi yang kecil (pompa hidrolik) dapat memberikan tenaga yang sangat besar (silinder hidrolik). Bila dibandingkan dengan motor listrik yang mempunyai tenaga kuda yang sama, pompa hidrolik akan mempunyai ukuran yang relatif ringan dan kecil. Sistem energi hidrolik akan memberikan kekuatan tenaga kuda yang lebih besar pada ukuran yang sama dibanding dengan sistem energi lain.
3. Sistem hidrolik menggunakan minyak mineral sebagai media pemindah gayanya. Pada sistem ini, komponen-komponen yang saling bergesekan terselimuti oleh lapisan minyak (oli), sehingga pada bagian-bagian tersebut dengan sendirinya akan terlumasi. Proses inilah yang akan menurunkan gesekan. Juga dibandingkan dengan sistem energi mekanik, bagian-bagian yang bergesekan lebih sedikit. Terlihat dari tidak adanya roda-roda gigi, rantai, sabuk dan bagian lain yang saling bergesekan. Dengan demikian sistem hidrolik mampu beroperasi lebih aman.
4. Energi mekanik yang dihasilkan dari perubahan energi hidrolik (silinder hidrolik) dengan mudah dikontrol menggunakan katup kontrol arah/tekanan. Juga beban-beban lebih dengan katup-katup pembocor (*relief valves*) mudah pengatasannya. Berbeda dengan sistem energi lainnya, pengontrolan beban dan pengatasan beban lebih lebih sukar. Karena bila beban lebih ini tidak dengan segera diatasi akan merugikan komponen-komponen itu sendiri. Sewaktu beban melebihi penyetelan katup yang sudah ditentukan, pemompaan langsung dihantarkan ke *reservoir* (tangki) dengan batas-batas tertentu terhadap torsi dan gayanya. Katup pengatur tekanan juga memberikan penyetelan batas jumlah gaya/torsi tertentu, misal dalam operasi pencekaman atau pengekleman.
5. Kebanyakan motor-motor listrik (pada sistem energi listrik) beroperasi pada kecepatan putar yang konstan. Pada sistem energi hidrolik, motor-motor hidrolik dapat juga dioperasikan pada kecepatan yang konstan. Meskipun demikian elemen kerja (baik linier maupun rotari) dapat dijalankan pada kecepatan yang berubah-ubah dengan cara merubah volume pengaliran/debit atau dengan menggunakan katup pengontrol

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

- aliran.
6. Pada sistem energi lain akan mengalami kesulitan ketika menginginkan pembalikan gerakan. Biasanya untuk membalik arah gerakannya harus menghentikan sistem secara penuh, baru dilaksanakan pembalikan arah gerakannya. Pada sistem hidrolis, pembalikan gerakan pada elemen kerja dapat dilakukan dengan segera pada kecepatan maksimum tanpa menimbulkan rusak sedikitpun. Sebuah katup kontrol arah 4/2 (4 lubang saluran, 2 posisi) atau pompa hidrolis yang dapat dibalik memberikan kontrol pembalikan, sementara katup pengatur tekanan melindungi komponen-komponen dari tekanan yang melebihi.
  7. Pada motor listrik (sistem energi listrik) dalam keadaan berputar, bila tiba-tiba dipaksa untuk berhenti karena beban melebihi, sekering pengaman akan putus. Gerakan akan berhenti. Untuk menghidupkan kembali memerlukan persiapan-persiapan untuk memulainya, disamping harus mengurangi beban. Pada sistem energi hidrolis, begitu pompa tidak mampu mengangkat, maka beban berhenti dan dapat dikunci pada posisi mana saja. Setelah beban dikurangi, dapat dijalankan saat itu juga tanpa harus banyak persiapan lagi.
  8. Pada sistem hidrolis, tenaga dapat disimpan dalam akumulator, sewaktu-waktu diperlukan dapat digunakan tanpa harus merubah posisi komponen-komponen yang lain. Pada sistem energi yang lain, tidak mudah dilakukan/akan mengalami kesulitan dalam penyimpanan tenaga.

#### **Kelemahan sistem energi hidrolis :**

Sistem hidrolis memerlukan lingkungan yang betul-betul bersih. Komponen-komponennya sangat peka terhadap kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh debu, korosi, dan kotoran-kotoran lain. Juga pengaruh temperatur yang dapat mempengaruhi sifat-sifat minyak hidrolis. Karena kotoran akan ikut minyak hidrolis yang kemudian bergesekan dengan bidang-bidang gesek komponen hidrolis mengakibatkan terjadinya kebocoran hingga akan menurunkan efisiensi. Dengan kondisi itu, maka sistem hidrolis membutuhkan perawatan yang lebih intensif, hal yang amat menonjol bila dibandingkan dengan sistem energi yang lain.

Demikianlah keuntungan dan kelemahan sistem hidrolis, namun secara keseluruhan sistem energi hidrolis masih banyak keuntungannya dibanding kerugiannya. Inilah keunggulan sistem hidrolis. Maka tidak mengherankan bila sistem hidrolis sangat luas diterapkan pada berbagai bidang industri baik ringan maupun berat.

Pada bab 2 telah dibicarakan tentang karakteristik fluida secara umum.

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Fluida hidrolis yang berujud minyak oli merupakan bagian yang sangat penting pada suatu sistem hidrolis. Sesungguhnya formulasi dan aplikasi dari fluida hidrolis adalah berupa cabang ilmu pengetahuan tersendiri. Pada prinsipnya fluida dapat berbentuk cair atau gas. Istilah fluida dalam hidrolis datang dari istilah umum yang berbentuk cair dan digunakan sebagai media pemindah daya atau tenaga. Dalam bab ini, fluida berarti fluida hidrolis khususnya minyak oli atau fluida khusus tahan api berupa senyawa dari bahan-bahan sintetis.

Fluida hidrolis dalam aplikasinya mempunyai empat fungsi utama, yaitu : (1) sebagai pemindah (penerus) gaya, (2) pelumas pada bagian-bagian yang bergesekan, (3) pengisi celah (seal) jarak antara dua bidang yang melakukan gesekan, dan (4) sebagai pendingin atau penyerap panas yang timbul akibat gesekan.

#### **Sebagai penerus gaya**

Aplikasi fluida sebagai penerus gaya, fluida harus dapat mengalir dengan mudah melalui komponen-komponen salurannya. Terlalu banyak hambatan untuk mengalir, akan sangat besar tenaga yang hilang. Fluida sedapat mungkin harus mempunyai sifat tidak kompresibel sehingga gerakan yang terjadi pada saat pompa dihidupkan atau katup dibuka dengan segera dapat dipindahkan.

#### **Fluida sebagai pelumasan**

Sebagian besar pada komponen hidrolis, pelumasan bagian dalam disediakan oleh fluida cair. Elemen pompa dan komponen-komponen lain yang bergesekan saling meluncur satu dengan lainnya, sehingga antara dua bidang yang melakukan gesekan itu perlu diberi lapisan film minyak, untuk menjaga agar dua bidang itu tidak terjadi kontak langsung atau bergesekan langsung. Untuk menjamin umur pemakaian komponen hidrolis lebih lama, kandungan oli harus terdiri dari bahan-bahan tambah utama yang diinginkan untuk menjamin karakteristik anti keausan yang tinggi. Tetapi tidak semua oli hidrolis mesti mengandung bahan tambah. Perusahaan komponen hidrolis terkemuka VICKERS di AS memuji era baru industri oli hidrolis yang mengandung bahan tambah untuk menurunkan keausan dalam jumlah yang cukup. Untuk pelayanan hidrolis secara umum, jenis minyak oli hidrolis semavcam ini memberikan perlindungan yang baik terhadap pemakaian pompa dan motor, dan yang menguntungkan lagi adalah umur pelayanan pemakaiannya panjang. Disamping oli memberikan campuran yang sangat bagus juga sifat perlindungan terhadap proses koroosi sangat baik pula. Jenis oli semacam ini dikenal sebagai oli anti keausan.

Pengalaman menunjukkan bahwa oli otomotif untuk poros engkol

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

dengan viskositas SAE10 W dan 20-20W, yang mempunyai tanda huruf “SC”, “SD”, atau “SE” adalah sangat cocok dan bagus untuk pelayanan beberapa sistem hidrolik apabila pada sistem itu terdapat sedikit air atau tidak sama sekali. Efek sebaliknya bahwa bahan tambah “deterjen” cenderung untuk menahan air dalam ikatan campuran yang padat dan mencegah pemisahan terhadap air, bahkan untuk waktu yang lama sekalipun. Patut dicatat kiranya bahwa sangat sedikit masalah air dalam oli telah memberikan pengalaman berharga selama ini dalam penggunaan oli poros engkol dalam sistem-sistem permesinan hidrolik. Kondensasi secara normal bukanlah suatu masalah yang berarti. Tentunya oli semacam ini sangat dianjurkan untuk sistem-sistem hidrolik dalam permobilan.

#### **Sebagai pengisi (*sealing*)**

Dalam hal tertentu, fluida adalah hanya sebagai pengisi (penutup) terhadap tekanan di dalam suatu komponen hidrolik.

#### **Sebagai pendingin**

Sirkulasi minyak oli melalui pipa-pipa penghantar dan seluruh dinding bak penampung (*reservoir*) akan menyerap panas yang ditimbulkan dalam sistem hidrolik. Disamping fungsi-fungsi utama diatas, fluida hidrolik akan lebih baik apabila memenuhi persyaratan-persyaratan, antara lain :

- Mampu mencegah korosi atau kontaminasi
- Mampu mencegah adanya pembentukan endapan, getah oli dan pernis
- Tidak mudah membentuk buih-buih oli
- Memelihara kestabilan dengan sendirinya, dengan cara demikian akan mengurangi ongkos penggantian fluida
- Secara relatif mampu menjaga nilai kekentalan walau dalam perbedaan temperatur tinggi
- Memisahkan kandungan air
- Sesuai atau cocok dengan penyekat dan gasket yang dipakai pada komponen

Syarat-syarat kualitas yang harus dipenuhi sering dijumpai adanya hasil campuran khusus dan tidak boleh di hadirkan pada setiap jenis fluida.

#### **3.1. Massa, Tekanan, Gaya**

Definisi dan perhitungan dalam satuan Internasional (SI)

Sebuah **massa** (diartikan sebagai sekumpulan materi) sebesar 1 kg mengakibatkan gaya berat sebesar 1 kp diatas tanah.

Menurut Hukum Dasar Newton

$$F = m \cdot a$$

$$\text{Gaya} = \text{massa} \cdot \text{percepatan}$$

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

$$\text{Kg} \quad \frac{m}{s^2}$$

Menurut sistem lama, percepatan gravitasi dinyatakan dengan  $g$  dan percepatan umum  $a$  :

$$F = m \cdot g$$

$$1 \text{ Kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 9,81 \frac{\text{Kg} \cdot m}{s^2}$$

Menurut sistem satuan SI gaya diberi satuan Newton (N)

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{m}{s^2} = 1 \frac{\text{Kg} \cdot m}{s^2}$$

dengan demikian :

$$1 \text{ Kp} = 9,81 \text{ N}$$

Untuk keperluan praktis umumnya :  $1 \text{ Kp} \sim 10 \text{ N} \sim 1 \text{ da N}$

**Tekanan**, adalah salah satu pengukuran yang penting dalam hidrolis, yang didefinisikan sebagai gaya per satuan luas.

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

Dahulu tekanan diberi satuan  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

$$1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ atm} \quad (\text{atmosfer})$$

Karena sekarang Newton yang digunakan sebagai satuan gaya maka

:

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 1,02 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 0,98 \text{ bar}$$

Jika digunakan satuan SI untuk gaya (N) dan luas  $\text{m}^2$ , maka kita dapatkan satuan tekanan dalam Pascal, dimana :

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Karena satuan Pascal dalam praktiknya mengalikan angka yang

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

besar maka satuan Bar (bar) lebih sering dipergunakan

$$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pascal}$$

Tekanan dapat juga diberikan dalam psi (pounds-force per square inch).

$$1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi}$$

*Petunjuk* : Sistem SI tidak mencakup satuan ini.

Dengan catatan ukuran tekanan dalam satuan bar menyatakan tekanan absolut.

Dibidang hidrolis umumnya tekanan kerja diberi simbol  $p$  yang menunjukkan tekanan yang cukup tinggi diatas tekanan atmosfer.

#### 3.2. Tekanan Hidrolis

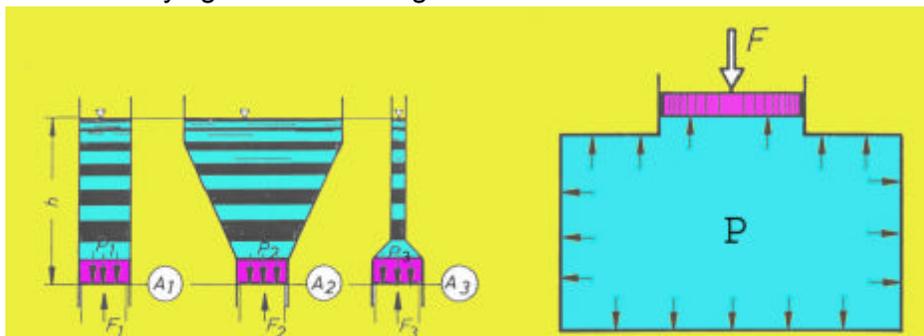
Di bawah kondisi kondisi statik dan tanpa gaya-gaya dari luar, tekanan pada setiap titik dalam suatu sistem fluida adalah sebanding terhadap ketinggian daripada kolom fluida di atas titik tersebut. Tekanan dalam sistem SI disebutkan dalam satuan pascal.

#### 3.3. Hidrostatika

##### 3.3.1. Tekanan Hidrostatik (gravitasi)

Dalam sebuah kolom zat cair terdapat tekanan yang berasal dari berat zat cair tersebut terhadap suatu luas. Besarnya tekanan tergantung dari tinggi kolom zat cair ( $h$ ), kerapatan ( $\rho$ ), percepatan gravitasi ( $g$ ).

$$\text{Gaya gravitasi } F = \rho \cdot g \cdot h$$



Gambar 3.10a Kolom zat cair

Gambar 3.10b Prinsip Hukum Pascal

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Kalau bentuk tangki yang digunakan berbeda, diisi dengan cairan yang sama, maka tekanan pada tempat tertentu hanya tergantung dan tinggi kolom zat cair :

$$P_1 = P_2 = P_3 \text{ (lihat gambar 3.1a)}$$

Tekanan hidrostatik menghasilkan gaya tekan pada dasar tangki.

Jika tekanan (seperti gambar 3.1a) dalam tangki yang berbeda bentuknya bekerja pada luas yang sama ( $A_1 = A_2 = A_3$ ) maka gaya  $F_1$   $F_2$   $F_3$  juga sama ( $F_1 = F_2 = F_3$ )

#### 3.3.2. Tekanan akibat gaya luar (Hukum Pascal)

Hukum Pascal menyatakan : ***“Tekanan yang bekerja pada suatu zat cair pada ruangan tertutup, akan diteruskan ke segala arah dan menekan dengan gaya yang sama pada luas area yang sama”***. Artinya, gaya yang bekerja di setiap bagian dari sistem hidrolis akan meneruskan tekanan yang sama ke segala arah di dalam sistem.

Jika sebuah gaya  $F$  bekerja pada fluida tertutup melalui suatu permukaan  $A$  (gambar 3.1b), maka akan terjadi tekanan pada fluida. Tekanan akan tergantung dari gaya yang bekerja tegak lurus atas permukaan dan luas.

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

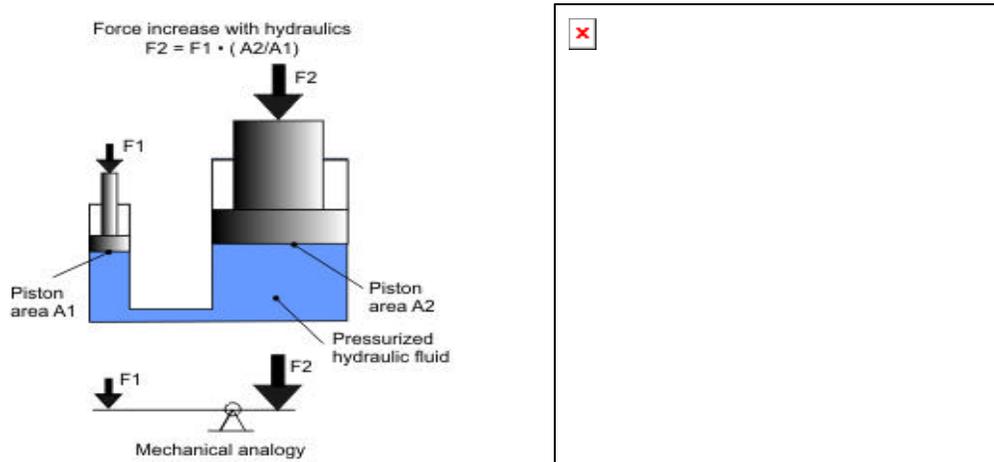
Dimana :  $p$  dalam bar

$F$  dalam N

$A$  dalam cm

Tekanan bekerja ke semua arah dan serentak. Jadi tekanan di semua tempat sama. Hukum ini berlaku selama gaya tarik bumi dapat diabaikan, yang semestinya ditambahkan dalam perhitungan sesuai dengan tinggi zat cair. Aplikasi hukum Pascal dalam hidrolis dapat dijelaskan sebagai berikut. Gaya  $F_1$  pada tabung kecil dengan luasan  $A_1$  akan menghasilkan tekanan fluida  $p$ . Berdasarkan hukum Pascal,  $p$  akan menyebabkan gaya  $F_2 = p.A_2$ . Karena  $A_2 = 10 A_1$ , maka  $F_2 = 10 F_1$ .

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.11 Contoh perhitungan aplikasi hukum Pascal

#### 3.3.3. Perpindahan Gaya Hidrolik

Bentuk tangki bukan merupakan suatu faktor yang penting karena tekanan dapat bekerja kesemua sisi dan besarnya sama. Untuk dapat bekerja dengan tekanan yang berasal dari gaya luar, kita menggunakan sistem seperti pada gambar 3.3.

Jika kita menekan dengan gaya  $F_1$  atas permukaan A maka kita dapat menghasilkan tekanan :

$$p = \frac{F_1}{A_1}$$

Tekanan P beraksi di seluruh tempat dan sistem tersebut, juga atas permukaan  $A_2$ . Gaya yang dapat dicapai (sama dengan beban yang diangkat).

$$F = p \cdot A_2$$

sehingga :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

atau

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Perbandingan gaya sebanding dengan perbandingan luas. Tekanan dalam sistem seperti ini selalu tergantung dari besarnya beban dan permukaan yang efektif. Artinya tekanan dalam sistem meningkat sampai dapat mengalahkan hambatan yang gerakannya berlawanan dengan gerakan fluida.

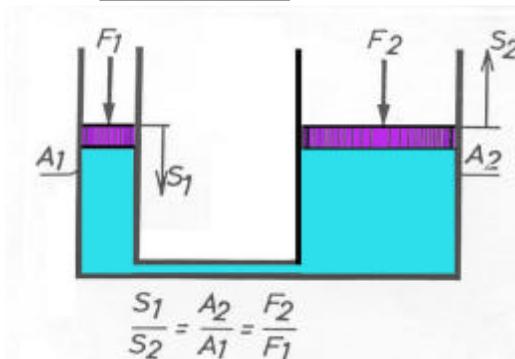
Jika dengan gaya  $F_1$  dan permukaan  $A_1$  kita dapat menghasilkan

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

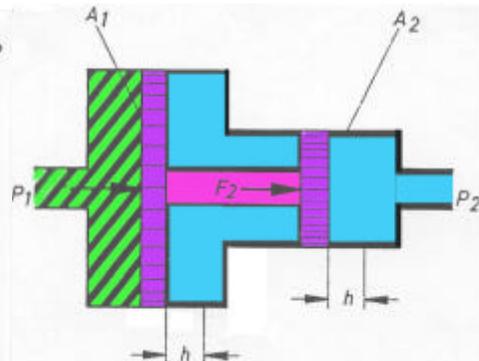
tekanan yang diperlukan untuk mengalahkan gaya  $F_2$  atas permukaan  $A_2$ , maka beban  $F_2$  dapat ditingkatkan. (Kehilangan akibat gesekan tidak diperhatikan).

Perbandingan jarak  $S_1$  dan  $S_2$  dari dua piston. berbanding terbalik dengan perbandingan luas permukaan

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{A_2}{A_1}$$



Gambar 3.12. Perpindahan gaya hidrolis



Gambar 3.13. Prinsip perpindahan tekanan

Fungsi dari piston gaya  $W_1$  sama dengan piston  $W_2$

$$W_1 = F_1 \times S_1$$

$$W_2 = F_2 \times S_2$$

#### Prinsip perpindahan tekanan

Dua piston yang ukurannya berbeda dihubungkan secara kaku dengan sebuah batang piston. Jika pada permukaan  $A_1$  diberi tekanan  $P_1$ , maka dapat dihasilkan gaya  $F_1$  pada piston yang lebih besar. Gaya  $F_1$  dapat dipindahkan pada piston yang lebih kecil melalui batang piston. Gaya ini sekarang bekerja atas permukaan  $A_2$  dan mengakibatkan tekanan  $P_2$  (gambar 3.12). Karena kerugian akibat gesekan tidak diperhitungkan maka :

$$F_1 = F_2 = F$$

$$P_1 \cdot A_1 = P_2 \cdot A_2$$

Dengan demikian

$$P_1 \cdot A_1 = F_1$$

$$P_2 \cdot A_2 = F_2$$

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Atau

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Dalam perpindahan tekanan perbandingan tekanan berbanding terbalik dengan perbandingan luas permukaan.

#### Hukum aliran

Jika fluida mengalir dalam pipa yang diameternya berubah, volume yang sama akan mengalir dalam waktu yang sama (gambar 3.13).

Kecepatan volume aliran berubah :

$$\text{Volume aliran } Q = \frac{V}{t}$$

Q = Volume aliran dalam liter/menit

V = Volume dalam liter

t = Waktu dalam menit

A = Luas penampang

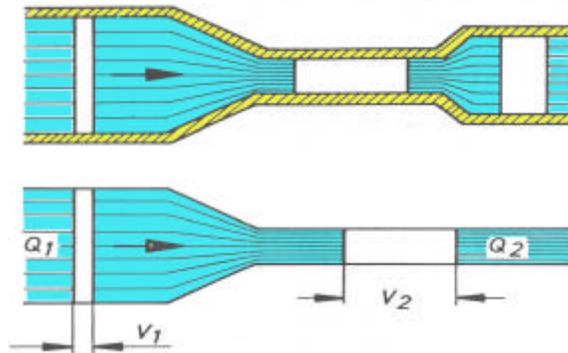
S = Jarak (panjang)

$$\text{Volume (V)} = A \cdot S$$

$$\text{Digunakan dalam } Q = \frac{A \cdot s}{t}$$

$$\text{Jarak (s) per waktu (t) = kecepatan (v = \frac{s}{t})}$$

$$\text{Dapat dihasilkan persamaan kontinuitas } A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad Q_1 = Q_2$$



Gambar 3.14. Hukum Aliran

#### Hukum Energi (Persamaan Bernoulli)

Hukum energi jika diterapkan pada fluida yang mengalir menyatakan bahwa seluruh energi dari sebuah aliran fluida tidak berubah selama tidak

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

ada tambahan energi dan luar atau pemberian energi ke luar. Jika kita tidak memperhatikan bentuk-bentuk energi yang tidak berubah selama aliran, maka energi total terdiri dari:

energi potensial : **energi potensial** (tergantung dari tinggi kolom zat cair)

**energi tekan** (dari tekanan statik)

dan energi kinetik : **energi gerakan** (tinggi tekan) tergantung dari kecepatan aliran Persamaan Bernoulli :

$$g \cdot h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstan}$$

Jika dihubungkan dengan energi tekanan, ini berarti :

$$P \text{ total} = P_{st} + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot V^2$$

$P_{st}$  = tekanan statis

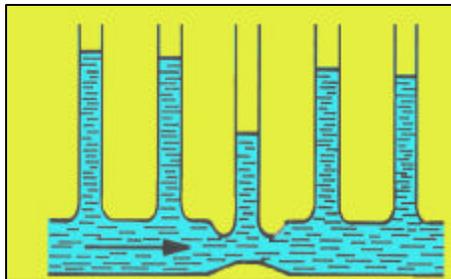
$\rho \cdot g \cdot h$  = tekanan dari tinggi kolom zat cair

$\frac{\rho}{2} \cdot V^2$  = tinggi tekan

Jika sekarang kita melihat persamaan kontinuitas dan persamaan energi, maka kita akan menghasilkan keadaan sebagai berikut :

**Apabila kecepatan bertambah karena pengurangan diameter, maka energi gerakan akan bertambah.**

Karena energi seluruhnya konstan, maka energi potensial atau energi tekanan atau keduanya harus berubah, artinya dalam pengurangan diameter akan jadi tambah kecil. Namun perubahan energi potensial akibat pengurangan diameter hampir tidak dapat diukur. Dengan demikian tekanan statik berubah dengan tekanan normal, artinya tergantung dari kecepatan aliran (gambar 3.15).



Gambar 3.15. Tekanan Statik

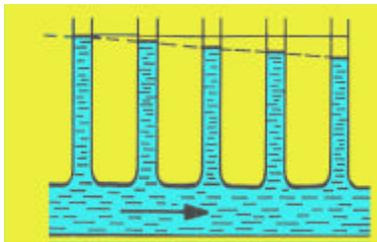
---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Pada sebuah unit hidrolis energi tekanan (tekanan statis) adalah faktor yang paling penting, karena tinggi zat cair dan kecepatan aliran sangat rendah.

#### Kehilangan energi akibat gesekan

Jika fluida diam (tidak ada gerakan fluida), maka tekanan sebelum, selama dan sesudah posisi cekik atau secara umum pada saluran adalah sama. Jika fluida mengalir dalam suatu system, maka gesekan akan mengakibatkan panas. Dengan demikian sebagian dari energi berubah dalam bentuk energi panas, artinya adanya kerugian tekanan (gambar 3.16).



Gambar 3.16. Kerugian tekanan akibat gesekan

Energi hidrolis tidak dapat dipindahkan tanpa kerugian. Besarnya kerugian akibat gesekan tergantung dari : **panjang pipa, kekasaran dinding pipa, banyaknya belokan pada pipa, diameter pipa, kecepatan aliran.**

#### Konfigurasi aliran

Konfigurasi aliran dan juga kerugian akibat gesekan berhubungan dengan diameter pipa dan kecepatan aliran

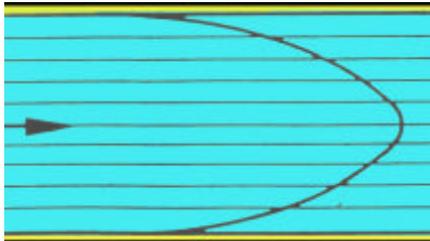
a) Aliran Laminar

Dalam aliran laminar masing-masing partikel fluida sampai kecepatan tertentu bergerak dalam lapisan yang seragam dan hampir tidak saling mengganggu (gambar 3.17)

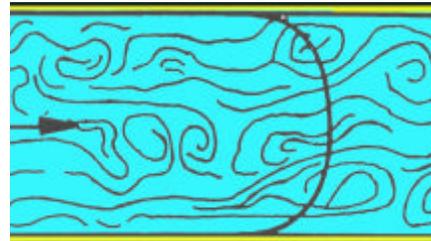
b) Aliran turbulen

Jika kecepatan aliran bertambah sedangkan diameter pipa sama, maka pada kecepatan tertentu (kecepatan kritis) perilaku aliran berubah. Aliran menjadi berolak dan turbulen. Masing-masing partikel bergerak tidak teratur pada satu arah tetapi saling mempengaruhi satu sama lain dan saling merintang.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.17. Aliran Laminer

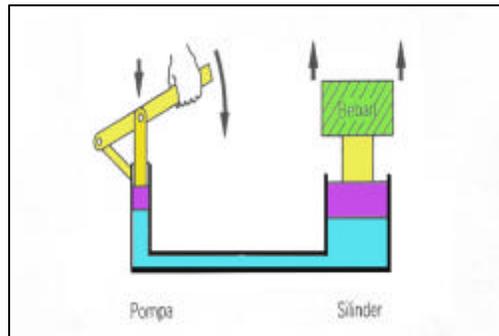


Gambar 3.18. Aliran turbulen

Hambatan aliran dan kerugian hidrolis bertambah. Karena itu aliran turbulen ini tidak diinginkan pada unit-unit hidrolis (gambar 3.9)

#### 3.3.4. Bentuk Dasar dari Sistem Hidrolis

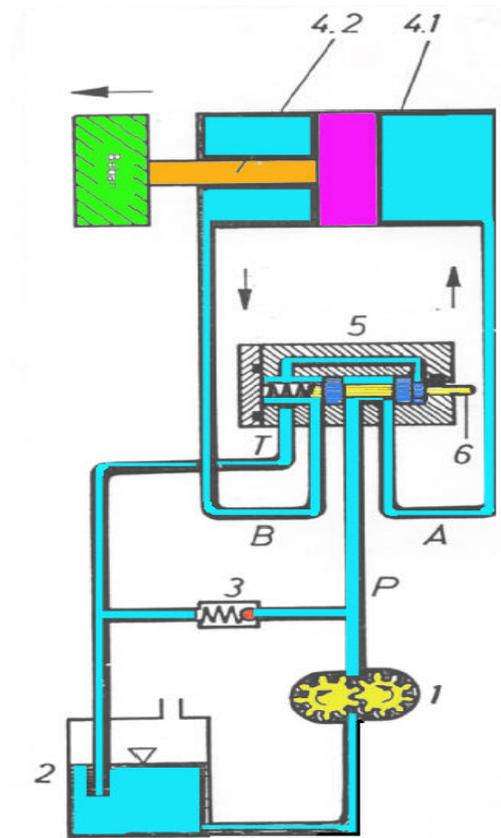
Gambar 3.19 pada dasarnya merupakan bentuk dasar dari sebuah sistem hidrolis. Kita membebani piston dari pompa piston tunggal dengan suatu gaya tertentu. Gaya per satuan luas sama dengan tekanan yang dihasilkan ( $p = F/A$ ). Makin kuat kita menekan piston dan makin kuat gaya pada piston, maka tekanan akan makin meningkat.



Gambar 3.19. Bentuk dasar sebuah sistem hidrolis

Tekanan itu meningkat, sampai berdasarkan luas silinder dapat mengalahkan beban ( $F = p \cdot A$ ). Jika bebannya konstan, maka tekanan tidak akan meningkat. Akibatnya tekanan tersebut bekerja sesuai dengan tahanan/resistensi yang arahnya berlawanan dengan aliran fluida. Oleh karena itu beban dapat dipindahkan, jika tekanan yang diperlukan dapat dicapai. Kecepatan gerak beban hanya tergantung pada volume fluida yang dimasukkan ke silinder. Dengan mengacu pada gambar 3.19 hal ini berarti, bahwa makin cepat piston diturunkan ke bawah, makin banyak fluida per satuan waktu yang dialirkan ke dalam silinder. Sehingga beban akan terangkat lebih cepat. Namun dalam praktiknya, kita harus memperbesar sistem ini.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolirik



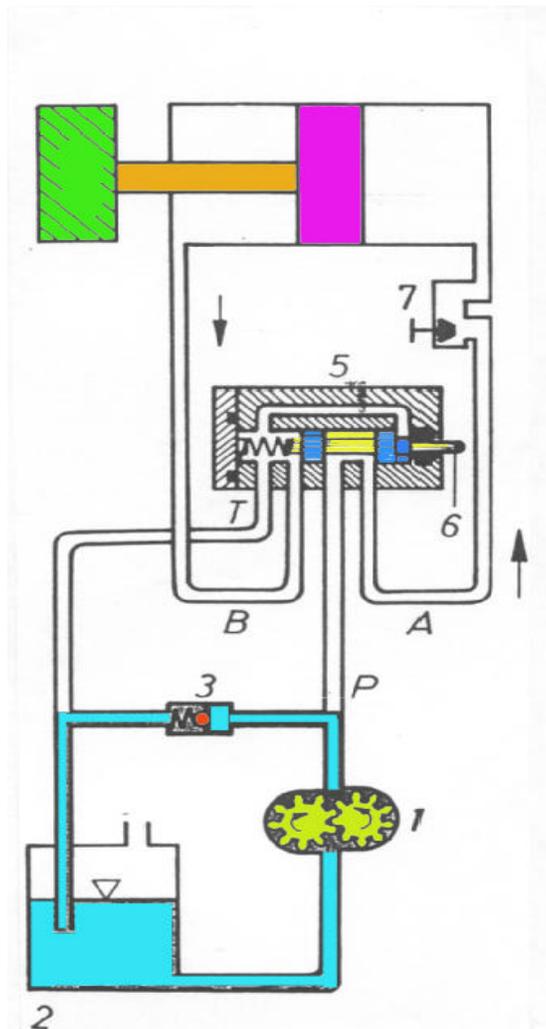
Gambar 3.20. Sistem hidrolirik sederhana

Kita ingin memasang alat, yang mana kita dapat mengaturnya, misalnya kita ingin mengatur : arah gerakan silinder, kecepatan gerakan silinder dan beban maksimum silinder. Kita juga ingin mengganti pompa piston manual dengan pompa yang digerakkan terus menerus, untuk alasan efisiensi.

Untuk mempermudah pemahaman, akan ditunjukkan sebuah rangkaian hidrolirik yang sederhana. Pompa 1 digerakkan melalui sebuah motor (motor elektrik atau motor bakar -lihat gambar 3.20). Pompa tersebut mengisap fluida dari tangki 2 dan mendorong fluida tersebut ke saluran sistem yang berikutnya dengan bermacam-macam elemen, sampai silinder 4 (adalah merupakan motor hidrolirik juga). Selama tidak ada hambatan ke arah aliran fluida akan selalu terdorong ke depan. Silinder 4 pada akhir saluran, merupakan hambatan untuk aliran tersebut. Karena itu tekanan meningkat sampai dapat mengatasi hambatan, hingga silinder bergerak.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

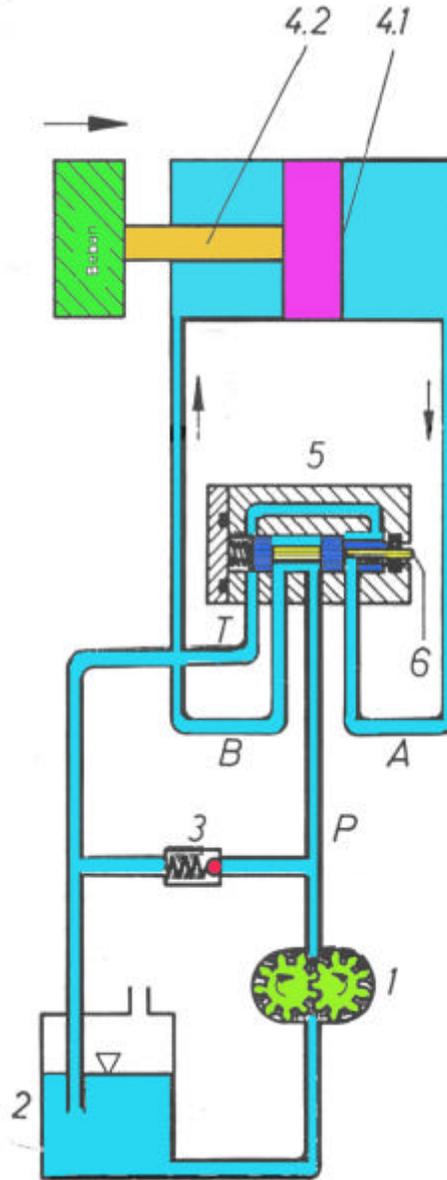
Tekanan maksimum harus dibatasi, sehingga sistem terlindung dari beban yang terlalu tinggi (itu artinya sama juga dengan terlindung dari tekanan yang terlalu tinggi). Hal ini dapat dicapai melalui katup pengaman tekanan 3. Sebuah pegas sebagai gaya mekanik menekan sebuah bola atas dudukan. Tekanan di dalam pipa mempengaruhi permukaan bola. Menurut persamaan  $F = p \cdot A$  bola terbuka jika gaya dari daerah tekanan X melebihi gaya pegas. Tekanan sekarang tidak meningkat lagi. Seluruh aliran dari pompa mengalir kembali ke tangki melalui katup 3 (Gambar 3.21).



Gambar 3.21 Cara kerja sistem hidrolis

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

Apakah piston 4.1 dengan batang piston 4.2 bergerak ke dalam atau keluar silinder ditentukan oleh katup pengontrol 5 (katup pengontrol arah) Gambar 3.22. Pada gambar 3.11 fluida pada katup 5 mengalir dari saluran sambungan P ke A ke silinder. Jika piston 6 didorong ke dalam, maka sambungan dari P ke B tercapai. Fluida sekarang mengalir dari pompa melalui katup ke sisi yang lain dari silinder. Batang piston 4.2 bergerak ke dalam. Beban sekarang bergerak ke arah yang lain. Fluida dari ruang berhadapan di dorong kembali ke tangki melalui katup pengontrol 5 dari A ke T.



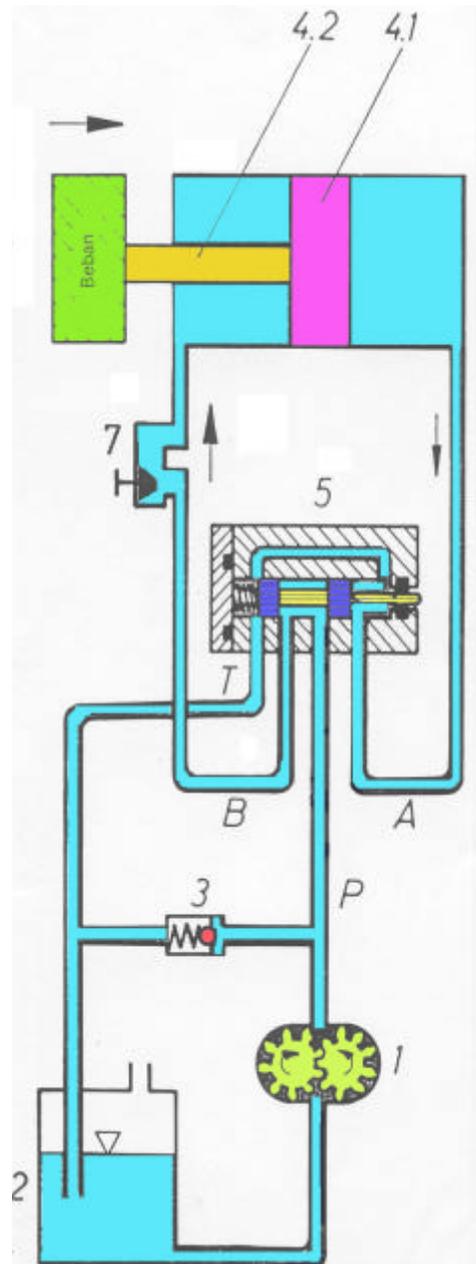
Gambar 3.22. Posisi katup ketika beban bergerak masuk ke dalam

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Volume fluida yang mengalir ke atau dari silinder harus diubah, jika kita ingin mempengaruhi tidak hanya arahnya gerakan dan gaya, tetapi juga kecepatan gerakan beban. Hal itu, sebagai contoh, dapat dicapai dengan katup cekik. Gambar 3.23.

Dengan perubahan penampang lintang aliran pengecilan sehubungan dengan penampang lintang saluran maka pengaliran fluida per unit waktu (pada contoh ini ke silinder) berkurang. (Catatan : kondisi-kondisi pada katup cekik dijelaskan pada sub bab 4.3 katup kontrol). Beban bergerak lebih perlahan.

Fluida lebih dari pompa sekarang dapat mengalir melalui katup pembatas tekanan. Berdasarkan kondisi tekanan pada unit tersebut : Tekanan antara pompa dan katup cekik adalah tekanan maksimum yang disetel pada katup pembatas tekanan. Tekanan antara katup cekik dan silinder tergantung dari beban.



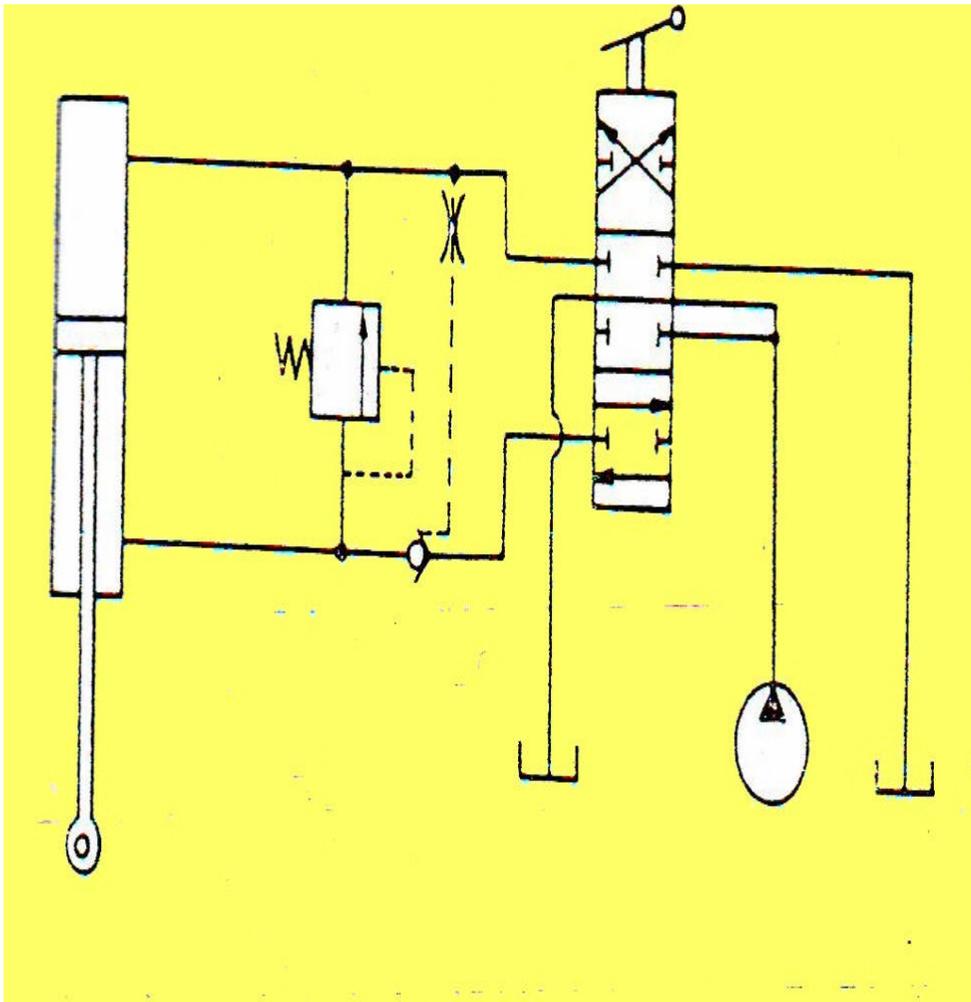
Gambar 3.23. Katup cekik pada sistem hidrolis sederhana

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

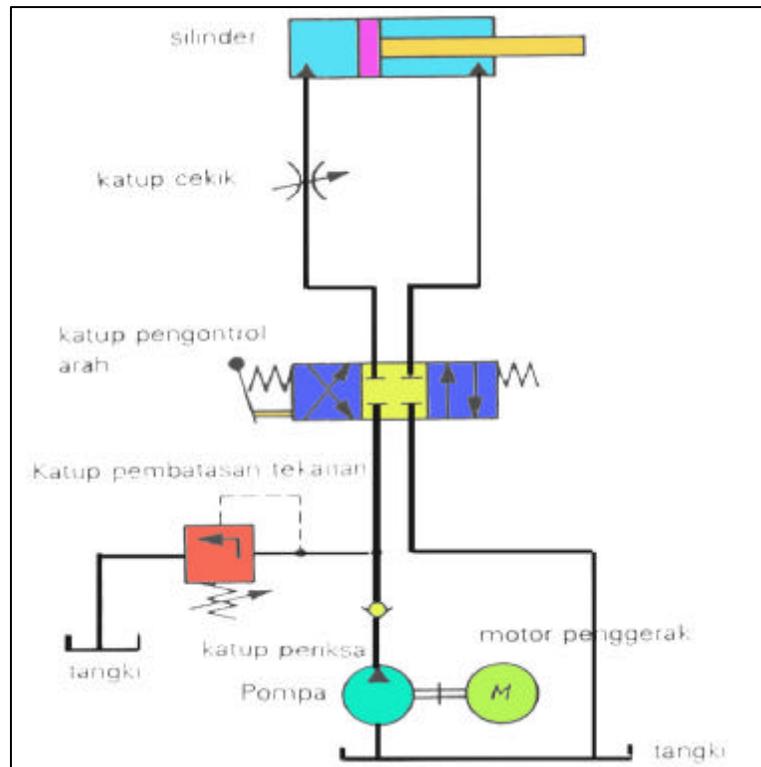
#### 3.3.5. Diagram Dasar sebuah sirkuit hidrolis

Biasanya sirkuit hidrolis tidak diperlihatkan dengan representasi grafik seperti pada gambar 3.22 dan gambar 3.23. Penampang yang sederhana diganti dengan simbol. Gambaran sebuah sirkuit hidrolis dengan simbol-simbol seperti ini disebut diagram sirkuit (*circuit diagram*). Diagram dan pengertian serta fungsi masing-masing alat diperlihatkan pada *DIN-ISO 1219 standart* Simbol-simbol akan diperlihatkan sehubungan dengan penjelasan komponen. Lihat gambar 3.24 dan 3.25.



Gambar 3.24 Diagram dasar sirkuit hidrolis

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.25. Diagram skema sistem hidrolis dasar

### 3.4. Hidrodinamika

#### 3.4.1. Fluida Ideal

Agar pembahasan-pembahasan yang akan kita lakukan lebih sederhana dan mudah dimengerti, maka fluida yang dimaksud dalam hal ini adalah fluida khusus yang disebut fluida ideal. Sebenarnya fluida ideal adalah suatu model, jadi bukan suatu fluida yang sebenarnya (pada kenyataannya fluida ideal tidak ada). Bagaimana sifat-sifat model fluida ideal itu ?

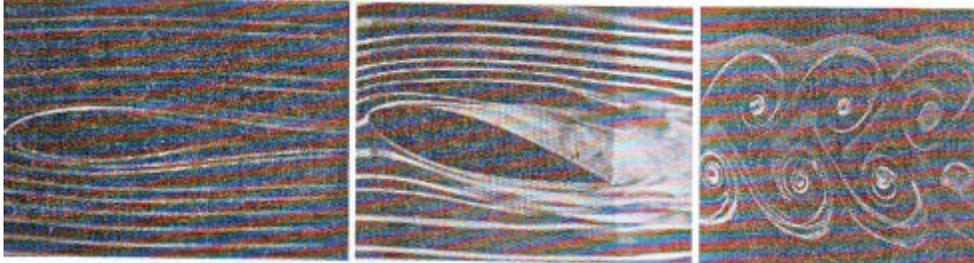
#### 1. Fluida bersifat tidak kompresibel

Yang dimaksud tidak kompresibel adalah bahwa massa jenis fluida tidak tergantung pada tekanan. Pada umumnya, fluida (terutama gas) bersifat kompresibel, yaitu bahwa massa jenis fluida bergantung pada tekanannya. Ketika tekanan gas diperbesar, misalnya dengan memperkecil volumenya, massa jenis gas bertambah.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

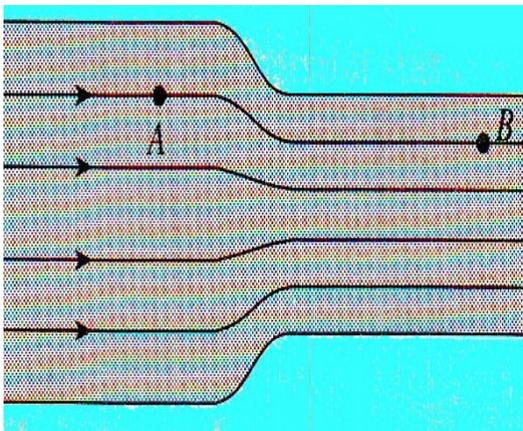
#### 2. Aliran fluida tidak turbolen

Yang dimaksud aliran turbolen, secara sederhana adalah aliran yang berputar-putar, misalnya asap rokok yang mengepul merupakan aliran turbolen. Lawan dari aliran turbolen adalah aliran laminar (*streamline*).



Gambar 3.26 Aliran laminar dan turbolen

#### 3. Aliran fluida bersifat stasioner (tunak)



Gambar 3.27 Kecepatan di titik A dan B sama dalam fluida ideal

Pengertian stasioner di sini hampir sama dengan pengertian stasioner pada gelombang stasioner. Aliran bersifat stasioner bila kecepatan pada setiap titik sembarang selalu konstan. Ini tidak berarti bahwa kecepatan aliran fluida di titik A sama dengan di titik B. Yang dimaksud di sini adalah kecepatan aliran di titik A, selalu konstan, misalnya  $v_A$ , tetapi tidak harus  $v_A = v_B$  (lihat gambar 3.27).

#### 4. Fluida tidak kental (non-viskos)

Seperti yang telah kita bahas sebelumnya mengenai viskositas, maka adanya kekentalan fluida menyebabkan timbulnya gesekan pada fluida. Dalam fluida ideal, kita mengabaikan semua gesekan yang muncul, yang berarti mengabaikan gejala viskositas. Dengan berdasarkan keempat asumsi inilah kita akan melakukan pendekatan-pendekatan untuk menentukan persamaan-persamaan gerak dalam fluida.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

#### 3.4.2. Kontinuitas

Dalam subbab 3.3.3 kita mengasumsikan bahwa fluida ideal memiliki aliran yang stasioner, yaitu fluida yang mengalir melalui suatu titik tertentu dengan memiliki kecepatan yang sama. Disamping itu, fluida ideal memiliki aliran yang bersifat laminar (*streamline*). Pada gambar 3.19 ditunjukkan bagaimana bentuk aliran laminar yang stasioner, yaitu aliran asap pada terowongan uji terhadap bentuk mobil.



Gambar 3.28 Garis aliran laminar yang stasioner pada pengujian desain mobil

Karena aliran fluida ideal bersifat stasioner, maka kita bisa simpulkan bahwa jumlah elemen massa fluida yang melewati suatu titik tertentu selalu sama tiap satuan waktunya. Banyaknya elemen massa fluida yang melalui suatu luas permukaan tertentu dalam waktu tertentu, sudah pasti juga sama. Inilah yang kita

sebut dengan debit. Misalnya, orang menyebutkan debit air di suatu bendungan adalah  $x$  liter per sekon, atau debit air dari kran adalah 0,1 liter/sekon. Rumus untuk debit  $Q$  dapat kita turunkan dengan cara berikut: Debit = ukuran banyaknya volume fluida yang mengalir per satuan waktu

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Karena  $\Delta V = A \Delta x$ , dimana  $A$  adalah luas penampang, dan  $\Delta x$  adalah jarak yang ditempuh fluida, maka :

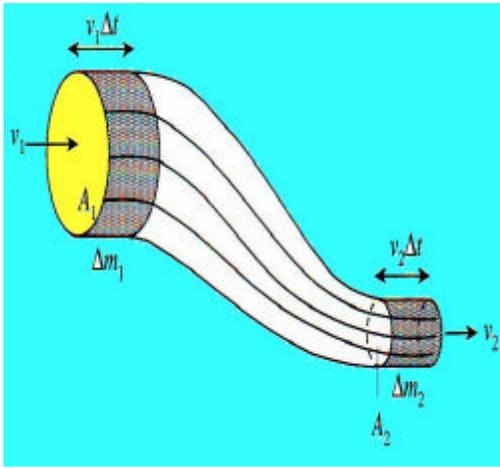
$$Q = \frac{A \Delta x}{\Delta t}$$

Besaran  $\frac{A \Delta x}{\Delta t} = v$ , sehingga secara umum dinyatakan, debit  $Q$  fluida

dengan kecepatan aliran  $v$  melalui pipa berpenampang  $A$  adalah

$$Q = v A$$

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis



Pada gambar 3.29 ditunjukkan suatu fluida yang bergerak di dalam suatu pipa dengan luas penampang yang berubah dari  $A_1$  ke  $A_2$  sepanjang pipa tersebut. Pada kasus ini kita hanya akan meninjau dua lokasi, yaitu di ujung kanan dan kiri pipa. Berdasarkan konsep aliran stasioner, kita bisa menyimpulkan bahwa banyaknya fluida yang masuk ke ujung kiri pipa sama dengan banyaknya fluida yang keluar dari ujung kanan pipa.

Gambar 3.29 Debit fluida dalam waktu  $\Delta t$

Dengan demikian, dalam kasus ini massa fluida kekal. Misalkan kecepatan pada ujung kiri adalah  $v_1$  dan kecepatan pada ujung kanan adalah  $v_2$ , sementara massa jenis fluida adalah  $\rho$ . Dalam waktu  $\Delta t$  fluida di ujung kiri telah bergerak sejauh  $v_1 \Delta t$ . Banyaknya massa fluida yang telah bergerak melewati ujung kiri pipa tersebut sama dengan volume yang diraster dikalikan dengan massa jenisnya. Volume sama dengan  $v_1 \Delta t$  dikalikan dengan luas permukaan  $A_1$ .

$$\Delta m_1 = \rho V$$

$$\Delta m_1 = \rho v_1 \Delta t A_1$$

Kecepatan massa fluida yang mengalir melalui ujung kiri pipa adalah

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \rho v_1 A_1$$

Pada ujung kanan pipa, kecepatan fluida adalah  $v_2$ , sedangkan massa jenisnya tetap  $\rho$  karena fluidanya merupakan fluida ideal. Dalam waktu  $\Delta t$ , maka banyaknya massa yang keluar dari ujung kanan pipa yang memiliki luas permukaan  $A_2$  adalah

$$\Delta m_2 = \rho v_2 \Delta t A_2$$

Kecepatan massa fluida yang mengalir melalui ujung kanan pipa adalah

$$\frac{\Delta m_2}{\Delta t} = \rho v_2 A_2$$

Seperti telah disebutkan di depan, karena aliran fluida bersifat stasioner, maka jumlah massa fluida yang mengalir melalui kedua ujung pipa sama besar.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Dengan demikian

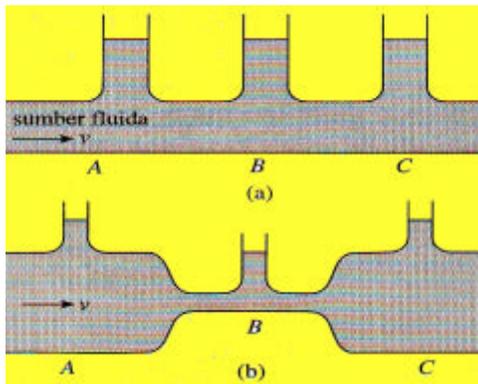
$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t}$$
$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \text{ atau } vA = \text{konstan} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Persamaan (3.1) diatas disebut persamaan kontinuitas. Perhatikan bahwa persamaan ini hanya berlaku untuk fluida ideal. Dengan persamaan ini pula kita bisa menjelaskan perumpamaan : “air beriak tanda tak dalam”. Air beriak berarti bahwa air tersebut bergerak dengan kecepatan tertentu. Dengan demikian, dibandingkan dengan air yang tenang, yaitu air yang tidak bergerak, maka air yang beriak akan memiliki luas permukaan yang lebih kecil (lebih dangkal). Ingat luas permukaan di sini adalah pada bidang vertikal, bukan horizontal.

#### 3.4.3. Asas dan Persamaan Bernoulli

Untuk fluida yang tak bergerak, telah kita pelajari bahwa tekanan fluida sama pada semua titik yang memiliki tekanan yang sama. Bagaimana dengan fluida yang bergerak ? Ternyata, tekanan fluida yang bergerak tergantung juga pada luas permukaan, seperti ditunjukkan oleh ketinggian fluida dalam gambar 3.21.



Pada gambar 3.30 (a) terlihat bahwa ketinggian dalam fluida berkurang seiring dengan semakin jauhnya gerakan fluida. Ini berarti tekanan fluida berkurang seiring dengan semakin jauhnya suatu titik dari sumber fluida (misalnya tangki air). Jelas bahwa sifat ini berbeda dengan fluida diam.

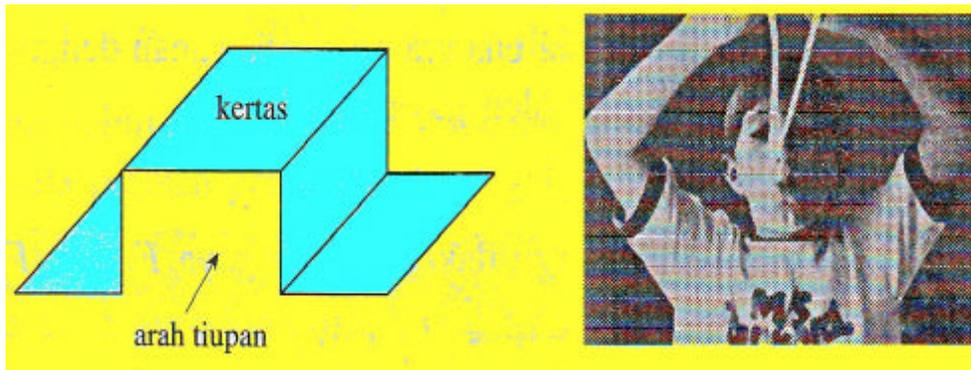
Gambar 3.30 Tekanan dalam fluida yang mengalir

Pada gambar 3.30 (b), tekanan fluida berkurang ketika fluida mengalir melalui pipa yang diameternya lebih kecil. Dari persamaan kontinuitas kita tahu bahwa banyaknya fluida yang mengalir melalui pipa besar dan pipa

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

kecil adalah sama. Oleh karena itu kecepatan aliran fluida di pipa kecil (titik B) pasti lebih besar daripada kecepatan aliran fluida di pipa yang lebih besar (titik A dan C).

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan fluida, semakin kecil tekanan. Sifat seperti ini dinamakan asas Bernoulli. Asas Bernoulli juga dapat ditunjukkan dengan percobaan terowongan kertas dan meniup dua kertas seperti ditunjukkan pada gambar 3.31.



Gambar 3.31 Terowongan kertas dan meniup dua kertas

Dalam sehari-hari pun, cukup banyak peristiwa yang menunjukkan berkurangnya tekanan akibat bertambahnya kecepatan pada fluida ini (asas Bernoulli). Sebagai contoh, ketika kita sedang bersepeda atau mengendarai sepeda motor, lalu tiba-tiba ada sebuah mobil yang menyalip, kita akan merasakan suatu tarikan ke samping ke arah mobil tersebut bila jarak kita dengan mobil itu cukup dekat. Inilah sebabnya, selalu dianjurkan untuk tidak menyalip kendaraan lain bila ruang jalannya terlalu sempit, karena akan menimbulkan tekanan yang tiba-tiba berkurang. Kejadian serupa juga terjadi pada balapan perahu motor dan balapan mobil.

Sampai sejauh ini kita telah menemukan hubungan antara kecepatan fluida dengan luas penampang yang dilalui oleh fluida tersebut, yang pada intinya menunjukkan adanya kekekalan massa dalam aliran fluida. Secara kualitatif kita juga telah membahas hubungan antara kecepatan fluida dengan tekanan fluida. Sekarang kita akan menggabungkan kedua hasil yang telah kita peroleh tersebut dalam suatu persamaan. Konsep yang akan kita gunakan untuk menurunkan persamaan ini (nantinya disebut persamaan Bernoulli) adalah konsep kekekalan energi.

Perhatikan gambar 3.32 yang menunjukkan suatu pipa berisi fluida yang mengalir dengan ketinggian dan luas penampang bervariasi. Kita tinjau

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

gerak fluida yang diarsir. Mula-mula keadaan fluida adalah seperti gambar yang atas, dimana elemen volume fluida pada pipa yang berdiameter  $A_1$  berada pada ketinggian  $y_1$ . Setelah selang waktu tertentu, elemen volume fluida bergerak ke kanan sehingga fluida yang kita tinjau bergeser ke kanan, menghasilkan suatu elemen volume fluida pada pipa yang berdiameter  $A_2$  yang berada pada ketinggian  $y_2$ . Pada masing-masing penampang  $A_1$  dan  $A_2$  bekerja gaya  $F_1$  dan  $F_2$  yang arahnya berlawanan seperti ditunjukkan pada gambar.

Sekarang akan kita hitung usaha yang dilakukan masing-masing gaya  $F_1$  dan  $F_2$ . Dari definisi usaha sebagai gaya dikalikan perpindahan, besar usaha yang dilakukan gaya  $F_1$  adalah :

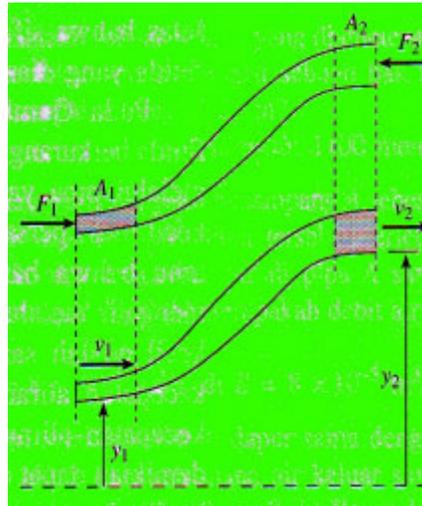
$$W_1 = F_1 \Delta l_1$$

Sementara itu, karena arah  $F_2$  berlawanan dengan arah  $F_1$ , maka besar usaha yang dilakukan gaya  $F_2$  adalah :

$$W_2 = -F_2 \Delta l_2$$

Total usaha yang dilakukan gaya  $F_1$  dan  $F_2$  adalah

$$W = W_1 + W_2 \\ = F_1 \Delta l_1 - F_2 \Delta l_2$$



Gambar 3.32 Gerakan fluida pada sebuah pipa

Dengan menggunakan hubungan  $F = pA$  dan  $\Delta V = A\Delta l$ , dimana  $p$  adalah tekanan dan  $A$  luas penampang,  $\Delta V$  perubahan volume dan  $\Delta l$  perubahan perpindahan, maka

$$W = F_1 \Delta l_1 - F_2 \Delta l_2 \\ = p_1 A_1 \Delta l_1 - p_2 A_2 \Delta l_2 \\ = p_1 \Delta V_1 - p_2 \Delta V_2$$

Sesuai dengan persamaan kontinuitas, maka  $V_1 = V_2 = \Delta V$ , sehingga

$$W = (p_1 - p_2) \Delta V \dots\dots\dots (i)$$

Persamaan inilah yang menyatakan gaya total yang dilakukan oleh gaya  $F_1$  dan  $F_2$

Usaha yang dilakukan oleh  $F_1$  dan  $F_2$  tersebut pada akhirnya akan mengakibatkan perubahan energi kinetik dan energi potensial yang dimiliki oleh fluida. Perubahan energi kinetik  $\Delta EK$  terjadi seiring perubahan

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

kecepatan dari  $v_1$  menjadi  $v_2$

$$\Delta EK = \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 - \Delta m v_1^2$$

$$\Delta EK = \frac{1}{2} \Delta m (v_2^2 - v_1^2)$$

Sementara itu, perubahan energi potensial  $\Delta EP$  terjadi seiring dengan perubahan posisi fluida dari  $y_1$  menjadi  $y_2$

$$\Delta EP = \Delta m g y_2 - \Delta m g y_1$$

$$\Delta EP = \Delta m g (y_2 - y_1)$$

Perubahan energi mekanik yang dimiliki fluida  $\Delta EM$  sama dengan

$$\Delta EM = \Delta EK + \Delta EP$$

$$\Delta EM = \frac{1}{2} \Delta m (v_2^2 - v_1^2) + \Delta m g (y_2 - y_1) \dots\dots (ii)$$

Akhirnya dengan menyamakan usaha yang dilakukan oleh  $F_1$  dan  $F_2$  (persamaan (i) dengan terjadinya perubahan energi mekanik (ii) diperoleh

$$W = \Delta EM$$

$$(p_1 - p_2) \Delta V = \frac{1}{2} \Delta m (v_2^2 - v_1^2) + \Delta m g (y_2 - y_1)$$

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{\Delta V} (v_2^2 - v_1^2) + \frac{\Delta m}{\Delta V} g (y_2 - y_1)$$

Kita tahu bahwa  $\frac{\Delta m}{\Delta V} = \rho$ , yaitu massa jenis fluida. Dengan demikian,

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1)$$

Dengan mengelompokkan besaran-besaran yang memiliki indeks yang sama, akhirnya kita peroleh persamaan

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots\dots (3.2)$$

Persamaan inilah yang disebut persamaan Bernoulli.

Sama seperti yang pernah dilakukan pada persamaan kontinuitas,

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

persamaan Bernoulli dapat kita tuliskan sebagai

$$p + \rho g y + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstanta}$$

Perhatikan bahwa jika kita aplikasikan untuk fluida diam, yaitu  $v = 0$ , persamaan diatas menjadi

$$p + \rho g y = \text{konstanta}$$

Persamaan ini sama dengan persamaan yang telah kita turunkan untuk fluida tak bergerak, yaitu persamaan (2.1).

#### 3.4.4. Aplikasi Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli banyak diaplikasikan pada kehidupan manusia, mulai yang sederhana sampai yang canggih, mulai dari alat penyemprot obat nyamuk sampai pesawat terbang.

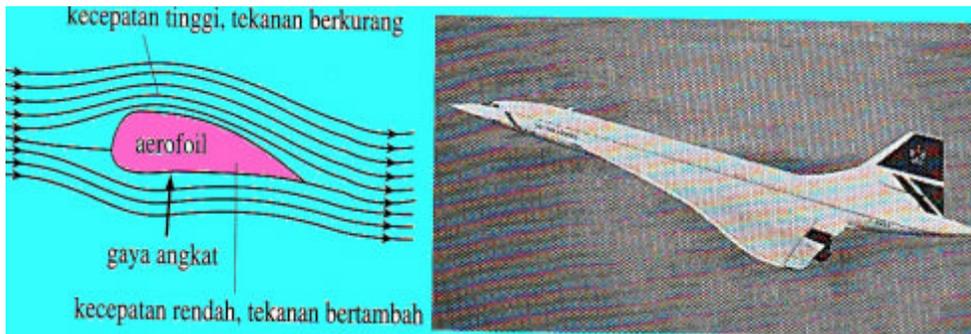
Alat penyemprot

Persamaan Bernoulli menyiratkan bahwa untuk fluida yang mengalir dimana perubahan energi potensialnya sangat kecil, misalnya dalam pipa horizontal, tekanan  $p$  berkurang ketika kecepatan aliran bertambah. Kita bisa menambah kecepatan fluida dengan cara memperkecil luas penampang dimana fluida mengalir. Semakin cepat kita memperkecil luas penampang, semakin besar penurunan tekanan kita peroleh. Prinsip inilah yang digunakan dalam berbagai alat penyemprot seperti penyemprot obat nyamuk, *pylox*, pengharum ruangan, penyemprot parfum, dan geretan korek api dengan bahan bakar bensin.

Gaya angkat sayap pesawat

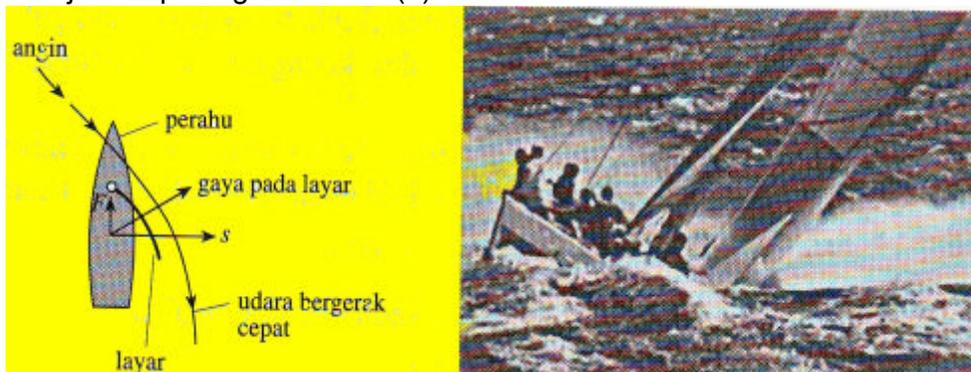
Aerofoil adalah alat yang didesain sedemikian rupa sehingga gerak relatif antara alat ini dengan fluida di sekitarnya menghasilkan gaya yang tegak lurus dengan arah aliran. Contoh aerofoil adalah sayap pesawat terbang dan baling-baling pada turbin.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik



Gambar 3.33 (a) Prinsip sebuah aerofoil, (b) sayap pesawat merupakan sebuah aerofoil

Pada gambar 3.33(a), sebuah aerofoil dibuat sedemikian rupa sehingga aliran fluida pada bagian atas aerofoil lebih cepat dibandingkan aliran fluida pada bagian bawah. Sesuai dengan persamaan Bernoulli, tekanan fluida di bagian atas aerofoil berkurang, sedangkan tekanan fluida di bagian bawah aerofoil bertambah. Perbedaan tekanan ini akan menghasilkan suatu gaya ke atas yang tegak lurus dengan arah aliran fluida. Gaya inilah yang disebut gaya angkat, yang berperan mengangkat pesawat terbang ke atas. Contoh lain dari aerofoil adalah layar pada sebuah kapal laut. Kapal laut dapat bergerak melawan arus karena adanya gaya yang dihasilkan oleh perbedaan tekanan antara bagian luar dan bagian dalam layar, seperti ditunjukkan pada gambar 3.34(a).



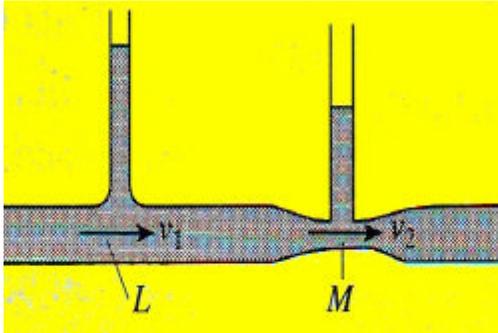
Gambar 3.34 Layar pada kapal layar merupakan aerofoil

Aliran udara menyebabkan tekanan pada bagian dalam layar bertambah dan tekanan bagian luar layar berkurang. Akibatnya, muncul gaya pada layar yang tegak lurus dari arah angin bertiup. Gaya pada layar ini bisa kita uraikan menjadi gaya ke depan  $F$  dan gaya ke samping  $S$ . Bila gaya ke samping kita imbangi, maka total gaya pada kapal adalah ke depan, sehingga kapal bisa bergerak menentang angin.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

#### 3.4.5. Pengukur kecepatan aliran fluida

Alat ini mengukur kecepatan aliran fluida yang melalui pipa, disebut juga *flowmeter*. Dua jenis diantaranya adalah venturimeter dan tabung pitot.



#### Venturimeter

Venturimeter terdiri dari sebuah tabung horizontal dengan dua pipa vertikal yang mencatat tekanan fluida yang mengalir di dua bagian pipa yang berbeda, pipa normal dan pipa yang menyempit, seperti tampak pada gambar 3.35.

Gambar 3.35 Prinsip venturimeter

Jika tekanan dan kecepatan pada titik L adalah  $p_1$  dan  $v_1$ , sedangkan pada M adalah  $p_2$  dan  $v_2$ , sesuai dengan persamaan Bernoulli berlaku :

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Factor  $\rho g y$  hilang karena ketinggian kedua titik sama. Sesuai dengan persamaan kontinuitas

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Oleh karena itu, persamaan Bernoulli bias kita tuliskan dengan :

$$2p_1 + \rho v_1^2 = 2p_2 + \rho \left( \frac{A_1}{A_2} v_1 \right)^2$$

$$v_1^2 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}$$

$$v_1^2 = \frac{2(p_1 - p_2) A_2^2}{\rho (A_1^2 - A_2^2)} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Jika besaran-besaran  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  dan  $\rho$  diketahui, kita bisa menghitung kecepatan aliran fluida di titik L dan titik M. Disamping itu, bila selisih ketinggian fluida di dalam kedua pipa vertikal bisa kita ukur, kita bisa menghitung kecepatan aliran fluida tanpa harus mengukur tekanan  $p_1$  dan  $p_2$ . Perlu diingat bahwa mengukur ketinggian lebih mudah dibandingkan dengan mengukur tekanan.

Kita misalkan ketinggian kedua tabung vertikal adalah  $h_1$  dan  $h_2$ . karena fluida dalam tabung ini tidak bergerak, maka tekanannya sama dengan

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

$$p_1 = \rho g h_1 \text{ dan } p_2 = \rho g h_2$$

Selisih tekanan diantara kedua tabung adalah

$$p_1 - p_2 = \rho g (h_1 - h_2)$$

Dengan memasukkan nilai  $p_1 - p_2$  ke dalam persamaan (3.3), kita dapatkan :

$$v_1^2 = \frac{2\rho g A_2^2 (h_1 - h_2)}{\rho (A_1^2 - A_2^2)}$$

$$v_1^2 = \frac{2 g A_2^2 (h_1 - h_2)}{A_1^2 - A_2^2} \dots\dots(3.4)$$

Tampak di sini bahwa pengukuran lebih sederhana, karena tidak melibatkan besaran  $\rho$ , sehingga tidak perlu tahu fluida apa yang ada di dalam pipa.

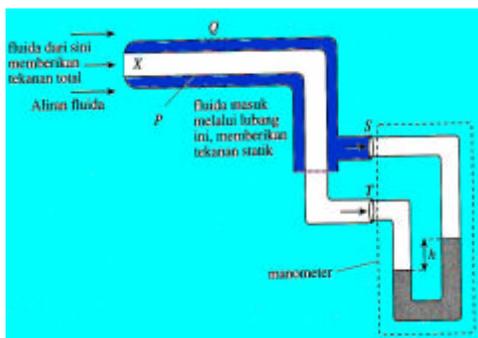
#### Tabung Pitot

Pada suatu aliran fluida dalam sebuah pipa horizontal, berlaku persamaan Bernoulli

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstan}$$

Faktor  $\rho g h$  dalam persamaan Bernoulli (persamaan 3.2) hilang karena ketinggian semua titik sama. Faktor  $p$  dalam persamaan di atas merupakan persamaan statik, sedangkan  $p + \frac{1}{2} \rho v^2$  merupakan tekanan dinamik atau

tekanan total. Dengan menggunakan persamaan Bernoulli ini kita bisa menghitung kecepatan fluida dalam satu pipa horizontal, yaitu dengan menggunakan alat yang disebut dengan tabung pitot.



Pada gambar 3.36 tampak bahwa tabung pitot terdiri dari dua tabung, yaitu tabung luar (tabung statik) dan tabung dalam (tabung pitot). Kita telah mengetahui bahwa tekanan fluida di S adalah tekanan statik, yaitu  $p$ , sedangkan tekanan fluida di T adalah tekanan dinamik, yaitu

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2$$

Gambar 3.36 Diagram tabung pitot yang dihubungkan dengan manometer

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

Oleh karena itu, manometer akan mengukur selisih antara kedua tekanan itu. Jadi selisih tekanan yang diukur oleh manometer ini adalah :

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 - p = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Selisih tekanan dalam manometer ini akan menyebabkan ketinggian zat cair dalam kedua pipa manometer berbeda sebesar  $h$ . Bila massa jenis zat cair dalam manometer adalah  $\rho'$ , maka selisih tekanan yang terukur oleh manometer adalah  $\rho'gh$ . Dengan demikian

$$\frac{1}{2} \rho v^2 = \rho'gh$$

$$v = \frac{2\rho'gh}{\rho}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\rho'gh}{\rho}}$$

Inilah persamaan yang kita gunakan untuk mengukur kecepatan fluida dengan menggunakan tabung pitot.

#### 3.5. Fluida hidrolik

Fluida hidrolik yang berwujud minyak di merupakan bagian yang sangat penting pada satu sistem hidrolik. Sesungguhnya pembahasan lengkap dari fluida hidrolik merupakan cabang ilmu pengetahuan tersendiri, dan dalam buku ini hanya akan membahas secara praktisnya saja, meliputi jenis fluida hidrolik, sifat-sifatnya, dan perawatan dalam pemilihan fluida dan penggunaannya secara tepat.

##### 3.5.1. Jenis-jenis cairan yang digunakan

Ada dua jenis utama cairan yang digunakan dalam sistem hidrolik:

1. Cairan berdasarkan oli mineral yang umum digunakan pada sebagian besar sistem hidrolik dan
2. Cairan anti api yang dispesifikasi untuk sistem yang digunakan di area bersuhu tinggi dan dalam industri penerbangan.

##### Cairan Hidrolik Standard ISO

Cairan mineral yang dimurnikan secara khusus dispesifikasi untuk pengoperasian sistem hidrolik. Cairan ini diidentifikasi sesuai standard ISO (International Standards Organisation) yang berdasarkan pada kekentalan (viskositas) rata-rata dalam centistokes  $40^{\circ}C$ .

Contoh: ISOVG 46 = oli hidrolik dengan viskositas rata-rata 46 Cst @  $40^{\circ}C$ .

#### Oli Transmisi dan Oli Mesin

Berbagai peralatan alat berat untuk pemindahan tanah dan pertanian akan membutuhkan spesifikasi penggunaan oli mesin dan transmisi untuk sistem mesin hidroliknya.

#### 3.5.2. Sifat-sifat oli hidrolis dan zat aditif

Untuk pengoperasian sistem hidrolis yang tepat dan terus menerus, zat aditif khusus dan sejumlah aditif lainnya dicampurkan dalam oli murni. Paragraph dibawah ini menjelaskan tentang istilah-istilah yang paling umum dan zat aditif yang biasa dipakai pada fluida hidrolis.

##### 1. Kekentalan (*Viskositas*)

Viskositas adalah ukuran kemampuan fluida hidrolis untuk mengalir. Pengujian viskositas dengan viscosimeter, kuantitas ukuran cairan yang akan diuji dipanaskan terlebih dahulu untuk menguji temperaturnya (40<sup>o</sup> C untuk cairan hidrolis) dan waktu yang dihabiskan cairan tersebut untuk mengalir melalui orifice yang telah diukur akan dicatat. Penghitungan besaran viskositas dalam Cst (centistokes) atau SUS (kadang-kadang ditulis SSU - Saybolt Universal Seconds). Satuan viskositas ini ditentukan oleh pabrik pembuat sesuai spesifikasi komponen hidrolis dan dengan berdasarkan pada kekentalannya, oli bisa diberi kadar oleh perusahaan oli itu sendiri dengan ISOVG atau dengan sistem penomoran SAE.

Viskositas secara umum dianggap sesuatu yang paling penting dalam sifat-sifat fisik dari oli hidrolis, karena viskositas akan mempengaruhi kemampuan untuk mengalir dan melumasi bagian-bagian bergesekan. Viskositas akan menentukan tahanan dalam fluida hidrolis untuk mengalir. Nilai viskositas suatu fluida rendah jika fluida tersebut mengalir dengan mudah, selanjutnya disebut fluida ringan atau encer. Nilai viskositas suatu fluida tinggi jika fluida tersebut mengalir sukar, selanjutnya disebut fluida berat atau kental. Jenis fluida yang dipakai dalam sistem hidrolis adalah oli.

Dalam praktek pemakaiannya, memilih oli dengan viskositas tertentu adalah suatu hal yang sangat disarankan dan dianjurkan, seringkali pemilihan ini telah ditentukan oleh pembuat pompa hidrolis. Sehingga pemilihan oli dengan spesifikasi tertentu akan memenuhi sifat dan karakteristik perangkat hidrolis yang telah direncanakan. Viskositas oli yang tinggi memberikan pengisian yang baik antara celah (gap) dari pompa, katup, dan motor. Tetapi apabila nilai viskositas oli terlalu tinggi, hal ini akan memberi akibat seperti berikut di bawah.

- Karena hambatan untuk mengalir besar, menyebabkan seretnya gerakan elemen penggerak (actuator) dan kavitasi pompa (udara masuk ke pompa).

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

- Pemakaian tenaga bertambah, karena kerugian gesekan.
- Penurunan tekanan bertambah melalui saluran-saluran dan katup-katup.

Tetapi sebaliknya apabila viskositas oli terlalu rendah, akan mengakibatkan hal-hal:

Kerugian-kerugian kebocoran dalam berlebihan.

- Aus berlebihan oleh karena pelumasan tidak mencukupi pada pompa dan motor.
- Menurunkan efisiensi motor dan pompa.
- Suhu oli naik atau bertambah karena kerugian-kerugian kebocoran bagian dalam.

#### *Penentuan viskositas*

Ada beberapa metode dalam penentuan nilai viskositas oli, dalam urutan menurun tepatnya adalah: Viskositas absolut (Poise); Viskositas Kinematik (Centistoke = cSt); Viskositas relatif (Saybolt Universai Second = SUS); dan angka koefisien SAE. Syarat-syarat viskositas fluida hidrolis (oli) cenderung untuk ditentukan dalam SUS, SAE, Viskositas kinematik (untuk SI), dan derajat Engler.

#### *Viskositas absolut*

Dengan mempertimbangkan viskositas sebagai hambatan ketika bergerak satu lapis cairan di atas lapisan lainnya, adalah dasar metode penentuan untuk mengukur viskositas absolut. Viskositas poise ditentukan sebagai gaya per satuan luas yang diperlukan untuk menggerakkan satu permukaan paralel pada kecepatan satu centimeter per detik melewati permukaan paralel lainnya dipisahkan oleh lapisan fluida setebal satu centimeter (lihat Gambar 2.14 pada halaman 80).

Selanjutnya dalam sistem metrik, gaya dinyatakan dalam dyne, dan luas dalam centimeter kuadrat. Dapat dinyatakan dalam cara lain, poise adalah perbandingan antara tegangan geser dan angka geser dari fluida.

$$\text{Viskositas absolut} = \frac{\text{Tegangan geser}}{\text{Angka geser}}$$

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{Dyne. detik}}{\text{Centimeter kuadrat}}$$

Satuan viskositas absolut yang lebih kecil adalah centipoise, dan 1

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolitik

poise = 100 centipoise atau 1 centipoise = 0,01 poise.

#### *Viskositas kinematik*

Konsep dasar viskositas kinematik adalah perkembangan dari penggunaan cairan untuk menghasilkan aliran melalui suatu tabung kapiler. Koefisien viskositas absolut, apabila dibagi oleh kerapatan fluidanya disebut viskositas kinematik. Dalam sistem metrik satuan viskositas disebut Stoke dan mempunyai satuan centimeter kuadrat per detik. Biasanya didapatkan satuan perbandingan yang lebih kecil yaitu centistoke dan besarnya sama dengan seperseratus stoke.

Apabila dikonversikan antara viskositas absolut dan kinematik didapatkan perbandingan :

$$\text{Viskositas kinematik (Vk)} = \frac{\text{Viskositas absolut } (\mu)}{\text{Kerapatan } (\rho)}$$

Dinyatakan dalam sistem SI, viskositas kinematik adalah :

$$\text{Viskositas kinematik (Vk)} = \frac{\text{Dyne.detik/cm}^2}{\text{Dyne.detik}^2/\text{cm}^4} = \text{cm}^2/\text{detik}$$

Dinyatakan sebagai satuan Stoke (S) setelah Gabriel Stoke (1819 - 1903), menemukan dasar tentang dinamika fluida.

Satuan stoke adalah terlalu besar untuk jenis fluida yang digunakan dalam hidrolika industri, dan viskositas kinematik yang dinyatakan dalam satuan S1 diberikan dalam skala yang lebih kecil yaitu centistoke.

$$\text{Vk} = \text{mm}^2/\text{detik}, \text{ disebut centistoke (cSt)}$$

Apabila diturunkan dari harga viskositas absolutnya maka didapatkan

$$\text{centistoke} = \frac{\text{centipoise}}{\text{kerapatan}}$$

Klasifikasi viskositas ISO menggunakan centiStoke (cSt) dan berlaku pada pengujian atau pengukuran pada suhu 40°C. Ia terdiri dari 18 golongan viskositas antara 1,98 cSt sampai 1650,0 cSt masing-masing ditentukan oleh angka. Angka-angka itu menyatakan seluruh angka terdekat, dan merupakan titik tengah viskositas pada golongannya (lihat Tabel 7 di halaman 78).

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Tabel 7 Angka viskositas ISO

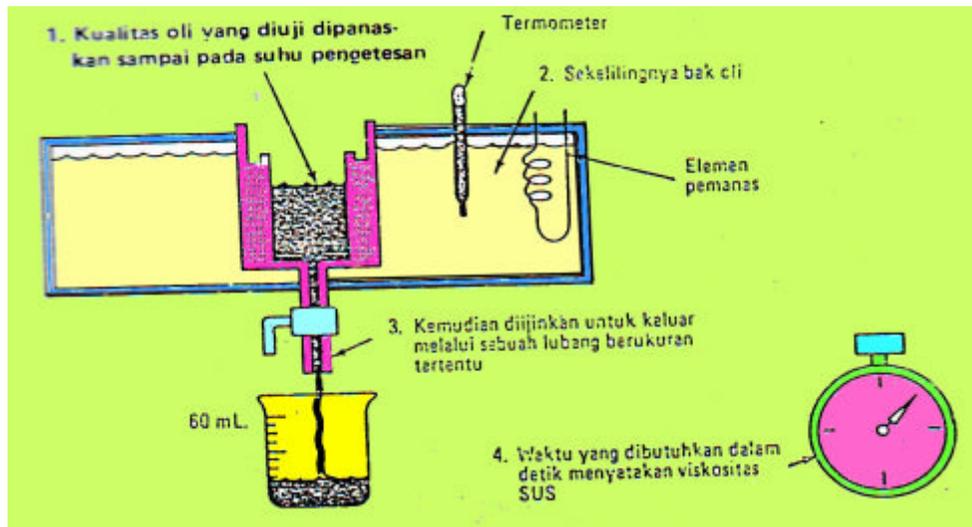
Kelas Viskositas ISO	Titik tengah viskositas cSt pada 40°C	Batas viskositas kinematik pada 40°C	
		Min	Mak
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48
ISO VG 10	10	9.00	11.00
ISO VG 15	15	13.50	16.50
ISO VG 22	22	19.80	24.20
ISO VG 32	32	28.80	35.20
ISO VG 46	46	41.40	50.60
ISO VG 68	68	61.20	74.80
ISO VG 100	100	90.00	110.00
ISO VG 150	150	135.00	165.00
ISO VG 220	220	198.00	242.00
ISO VG 320	320	288.00	352.00
ISO VG 460	460	414.00	506.00
ISO VG 680	680	612.00	748.00
ISO VG 1000	1000	900.00	1100.00
ISO VG 1500	1500	1350.00	1650.00

Beberapa kelas viskositas produk SHELL (Belanda) tidak menyesuaikan dengan klasifikasi standar ISO. Sebagai contoh angka-angka 37, 78 dan 800 merupakan angka-angka SHELL "jenis ISO" yang telah direncanakan untuk memenuhi persyaratan viskositas tertentu yang tidak dijumpai oleh angka-angka standar ISO.

#### Viskositas SUS

Untuk tujuan-tujuan yang paling praktis, akan memberi standar viskositas fluida dalam viskositas relatif. Viskositas relatif ditentukan oleh waktu yang diperlukan untuk mengalir sejumlah fluida yang diberikan melalui lubang lintasan standar pada suhu tertentu. Sebenarnya ada beberapa metode dalam penggunaannya, tetapi metode yang paling banyak dan diakui di segala penjuru dunia adalah Viskometer Saybolt. (lihat Gambar 3.28).

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

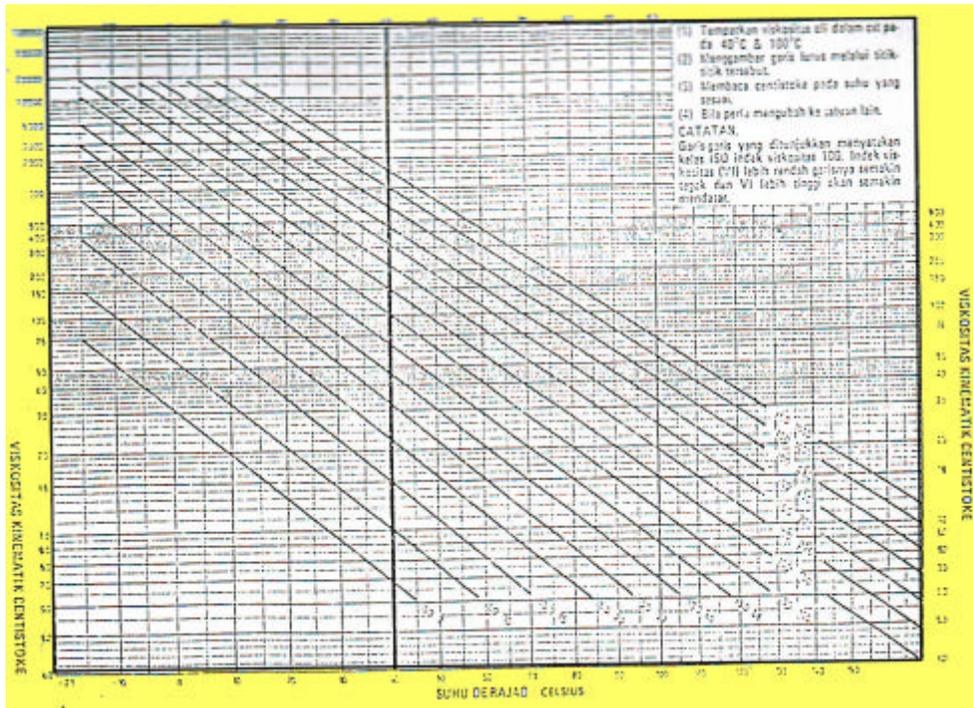


Gambar 3.37 Viscometer Saybolt

Waktu yang diperlukan untuk mengalir sejumlah fluida tertentu melalui lubang lintasan diukur dengan stopwatch, dan viskositas dalam Saybolt Universal Second (SUS) sama dengan waktu yang berlalu dalam lintasan itu. Fluida yang kental akan mengalir secara lambat, dan viskositas SUS akan menjadi lebih tinggi jika dibandingkan dengan zat cair yang encer yang mengalir lebih cepat. Oli menjadi lebih kental (pekat) pada suhu rendah dan menjadi encer ketika berada pada suhu tinggi, nilai viskositas harus diutamakan dalam berbagai tingkat SUS pada suhu yang bervariasi. Biasanya percobaan dilaksanakan pada suhu 100°F atau 210°F.

Untuk pemakaian di industri, viskositas oli hidrolis biasanya berada di antara 150 SUS pada suhu 100°F. Aturan umum ialah viskositas tidak akan pernah berada di bawah 45 SUS atau di atas 4000 SUS, tanpa menghiraukan suhunya. Pada saat ditemui atau dijumpai, suhu ekstrim, fluida harus mempunyai indek viskositas yang tinggi (lihat grafik Gambar 3.38).

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolisk



Gambar 3.38 Grafik indeks viskositas

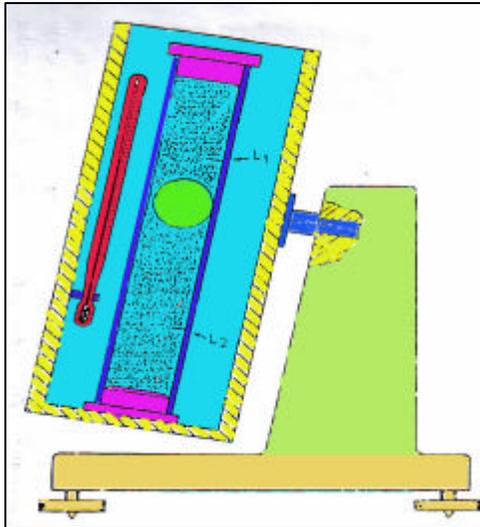
#### Viskometer

Alat yang dipakai untuk mengukur viskositas zat cair dinamakan viskometer. Beraneka ragam jenis viskometer yang digunakan untuk mengukur viskositas oli hidrolisk. Dua jenis viskometer yang umum dipakai yaitu jenis bola miring dan viskometer kapiler.

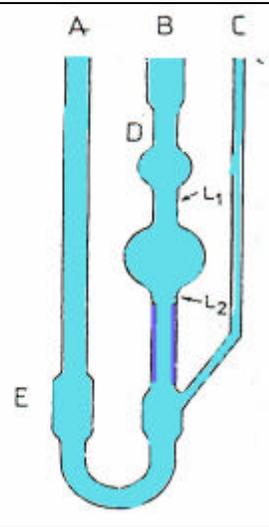
Pada jenis bola miring fluida ditempatkan dalam tabung gelas, yang selalu dikontrol suhunya, yang mempunyai dua saluran kalibrasi. Bola dibiarkan untuk tenggelam di dalam dan menerobos fluida. Waktu yang diperlukan bola untuk turun sepanjang jarak antara saluran-saluran kalibrasinya diukur dan jarak inilah yang bertalian dengan viskositas (Gambar 3.39).

Pada viskometer kapiler fluida hidrolisk dituangkan melalui saluran masuk A ke dalam tabung E, tabung ini suhunya selalu dikontrol (Gambar 3.40). Kemudian dihisap melalui tabung kapiler ke benjolan D bagian tepi atas, dengan saluran ke luar C tertutup. Lubang-lubang A, B, dan C kemudian ditutup, dan pengukuran diambil dari waktu yang diperlukan fluida untuk menetes dari L1 ke L2. Waktu yang diperlukan untuk menetes akan menentukan nilai viskositas fluida yang diukur.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolisk



Gambar 3.39 Viscometer bola miring



Gambar 3.40 Viscometer Kapiler

#### Angka SAE

Angka-angka SAE telah ditetapkan oleh Society of Automotive Engineers untuk mengkhususkan kelas-kelas viskositas SUS oli pada suhu tes SAE. Angka-angka SAE yang tepat ditentukan dengan membandingkan waktu yang diperlukan oli untuk melewati alat tes dengan sebuah grafik oleh Society of Automotive Engineers.

Angka-angka musim dingin (5 W, 10 W, 20 W) ditentukan dengan tes-tes pada 0°F. Dan oli untuk musim panas dengan angka-angka (20, 30, 40, 50, dan seterusnya) menyatakan tingkatan SUS pada 210°F.

#### Indeks viskositas

Indeks viskositas adalah suatu tanda perubahan dari perubahan rata-rata viskositas fluida sesuai dengan perubahan pada suhu tertentu. Suatu fluida yang mempunyai viskositas secara relatif stabil pada perbedaan suhu yang besar, fluida tersebut mempunyai indeks viskositas yang tinggi. Oli hidrolisk harus mempunyai indeks viskositas sekitar 100. Dan hampir semua jenis oli mempunyai bahan-bahan tambah yang disebut "penambah indeks viskositas" untuk meningkatkan angka indeks viskositas lebih dari 100. Akhir-akhir ini, pemberian bahan tambahan secara kimia melalui penyulingan telah terbukti meningkatkan indeks viskositas berjenis-jenis oli hingga mencapai di atas angka 100. Indeks viskositas sangatlah diperlukan apabila perangkat hidrolisk beroperasi pada suhu-suhu yang sangat ekstrim.

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Sehingga suatu mesin yang bekerja pada suhu yang relatif konstan indeks viskositas fluidanya kurang begitu kritis.

Sedangkan fluida (oli) dikatakan mempunyai indek viskositas rendah apabila oli tersebut pada suhu rendah cepat membeku atau bertambah besar viskositasnya, dan cepat menjadi encer apabila berada pada suhu tinggi. Oli jenis ini tidaklah baik apabila dipakai pada sistem hidrolis, apalagi untuk lingkungan sekitarnya terjadi perubahan suhu yang sangat ekstrim.

Dalam lingkungan yang mempunyai suhu sangat bervariasi dan ekstrim, sehingga praktis perlu menggunakan pendingin dan pemanas untuk menjaga variasi suhu oli minimum, dan viskositas tetap stabil tidak mengalami perubahan yang sangat berarti. Untuk indeks viskositas dan karakteristik suhu bervariasi, lihat pada Gambar 3.38 akan didapat viskositas kinematik yang dicapai sehubungan dengan perubahan suhu yang mengelilinginya.

Dengan demikian dapatlah dikatakan bahwa untuk jenis oli yang mempunyai indeks viskositas tinggi akan didapatkan garis mendekati vertikal atau sejajar dengan sumbu y. Sedangkan untuk jenis oli yang mempunyai indeks viskositas rendah garisnya akan mendekati sejajar sumbu x. Untuk lebih jelasnya lihatlah grafik pada Gambar 3.38.

#### *Viskositas Engler dan Redwood*

Derajat viskositas Engler dinyatakan dalam "derajat Engler" atau derajat E, dengan menggunakan air sebagai standarnya. Waktu yang diperlukan untuk mengalir air sejumlah  $200 \text{ cm}^3$  pada  $20^\circ\text{C}$  harus mendekati 52 detik. Kemudian viskositas dalam derajat E didapatkan dengan membagi waktu dalam detik untuk mengalir  $200 \text{ cm}^3$  oli dengan waktu yang diperlukan untuk mengalir  $200 \text{ cm}^3$  air pada suhu  $20^\circ\text{C}$ .

Standar viskositas yang dipakai Redwood adalah waktu yang diperlukan  $50 \text{ cm}^3$  oli untuk mengalir melewati corong yang berdiameter dalam 1,62 mm sepanjang 10 mm. Suhu tes yang biasa diambil adalah pada  $70^\circ$ ,  $140^\circ$ , dan  $200^\circ\text{F}$ . Pada standar tes awalnya Laboratorium Redwood mengambil  $50 \text{ cm}^3$  oli dan waktu yang diperlukan 535 detik untuk mengalir pada suhu  $60^\circ\text{F}$ . Dan akhirnya alat ini dikalibrasikan pada National Physical Laboratory terhadap viskometer standar Redwood.

Sehingga akhirnya antara Redwood, Engler dan Saybolt perlu dan dapat dikonversikan ke viskositas kinematik dalam centistoke (cSt), lihat tabel pada lampiran. Dalam tabel itu didapatkan konversi dari keempatnya. Apabila ditemukan suatu standar viskositas oli dalam derajat E misalnya, maka dengan mudah dapat dicari nilai viskositas oli dalam standar yang lain.

Viskositas-viskositas oli pelumas telah dikutip atau dipetik dalam satu atau istilah-istilah lain berikut di bawah tergantung pada alat yang

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

digunakan untuk menentukan nilai viskositas. Pada umumnya untuk peralatan-peralatan baru menganjurkan dan memakai standar viskositas ISO untuk oli pelumas ataupun hidroliknya. Tetapi untuk mesin-mesin lama dan sebagian mesin-mesin baru masih ada yang menggunakan standar viskositas bukan ISO, seperti Engler, Redwood, maupun SUS. Kebanyakan pemakaian di industri dijumpai batas-batas normal toleransi viskositasnya. Tabel konversi viskositas akan memberikan konversi viskositas langsung yang dinyatakan dalam satu bentuk pengukuran ke bentuk pengukuran viskositas lain, bahkan konversi atau perbandingan itu selalu mempunyai dasar pengukuran pada kondisi suhu serupa.

Kinematik	Viskositas dalam centistoke (Vk. cSt)
Redwood 1	Viskositas dalam second (RI")
Saybolt Universal	Viskositas dalam second (SU")
Engler	Viskositas dalam derajat (°E)

#### 2. Indeks Kekentalan (VI)

Kekentalan/viskositas oli hidrolik berubah-ubah tergantung suhu oli sendiri. Oli yang lebih panas, viskositasnya akan lebih rendah dari pada oli yang lebih dingin maka viskositasnya akan lebih tinggi. Tergantung pada campuran oli murni dan kuantitas zat aditif yang digunakan. *Jumlah perubahan viskositas bersama dengan perubahan temperatur akan berubah-ubah.* Jumlah perubahan ini diidentifikasi oleh suatu nomor dengan nomor yang lebih tinggi yang mengindikasikan perubahan terendah. Untuk sistem hidrolik, indeks kekentalan minimum adalah 90 bersama dengan aplikasi-aplikasi yang memerlukan 100+ Indeks Kekentalan. Untuk memperoleh Indeks Kekentalan yang lebih tinggi dari oli murni, maka bahan peningkat Indeks Kekentalan ditambahkan. Zat aditif ini terdiri dari zat khusus yang memiliki sifat-sifat untuk meningkatkan kekentalan bersama dengan peningkatan temperatur sehingga dapat melawan penurunan kekentalan oli murni.

#### 3. Pelumasan

Kemampuan suatu oli untuk mengurangi gesekan (friksi) diantara komponen yang bergerak diklasifikasi sebagai pelumasan. Zat aditif khusus ditambahkan ke oli untuk meningkatkan sifat-sifat ini.

#### 4. Anti-foam

Oli mengandung kuantitas udara yang terserap pada saat oli digetarkan, maka oli tersebut akan memunculkan udara dalam gelembung-gelembung kecil. Udara dapat menyebabkan adanya masalah dalam pengoperasian sistem, sehingga zat aditif biasanya ditambahkan untuk mengurangi penyerapan volume udara yang ada dalam oli dan mempercepat

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

pembuangan udara yang terperangkap selama masa digetarkan.

#### 5. Resistansi Oksidasi

Oksigen dalam atmosfer bercampur dengan oli murni membentuk lumpur, asam dan minyak rongsang. Peristiwa ini disebut dengan oksidasi dan pada saat oli dipanaskan dan digetarkan, proses oksidasi dipercepat. Zat kimia tambahan dalam oli yang disebut dengan *inhibitor oksidasi* membentuk suatu penghalang untuk mencegah atau paling tidak mengurangi terjadinya *breakdown*.

#### 6. Penghambat Korosi

Zat kimia tambahan dimasukkan ke oli murni untuk memberikan perlindungan pada permukaan bagian dalam komponen permesinan. Zat aditif ini juga digunakan untuk meningkatkan pemisahan kelembaban dari oli (*demulsifier*) karena air adalah merupakan penyebab utama terjadinya korosi.

#### 7. Kompatibilitas

Suatu cairan diukur kompatibilitasnya dengan seal, metal dan material lain yang digunakan dalam sistem hidrolik. Spesifikasi cairan akan menjelaskan material-material yang cocok dan yang tidak cocok.

#### 3.5.3. Jenis-jenis Fluida Hidrolik

Sistem hidrolik dapat dioperasikan dengan menggunakan media oli. Jenis-jenis fluida hidrolik yang digunakan adalah :

- Oli yang berasal dari mineral (mineral oil)
- Oli yang berasal dari tumbuhan (vegetable oil)
- Oli yang berasal dari bahan Sintetis (Full synthetic)
- Oli yang tahan terhadap panas (Fire resistant)
- Air murni (pure water).

Pada umumnya fluida hidrolik menggunakan oli yang berasal dari mineral (mineral oil), hal ini disebabkan karena mineral oli mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya adalah :

- Tahan terhadap tekanan tinggi
- Kenaikan (perubahan) viskositasnya kecil, walaupun temperatur kerja dan tekanannya tinggi.
- penambahan bahan aditifnya kecil

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolitik

- kandungan air (kelembabannya) rendah
- tahan terhadap korosi dan oksidasi.

Sampai saat ini oli mineral masih merupakan bahan dasar oli hidrolitik yang terbaik. Karakteristik atau sifat oli mineral tergantung pada 3 faktor :

1. Jenis bahan mentah oli yang digunakan
2. Derajat dan metode penyulingan
3. Bahan tambah yang digunakan.

Pada umumnya oli mineral mempunyai daya lumas yang sangat baik. Oli mineral mempunyai sifat anti keausan dan pelumasan yang lebih baik. Dan sifat ini sangat tergantung pada pembuatannya, beberapa oli mineral dapat memberikan daya campur terhadap bahan lain lebih tinggi, lebih tahan oksidasi pada suhu lebih tinggi atau indeks viskositasnya lebih tinggi jika dibandingkan dengan lainnya. Secara alami oli melindungi terhadap karat, menyekat baik, menyerap panas dengan mudah, dan mudah untuk menjaga tetap bersih dengan penyaringan atau pemisahan terhadap kontaminasi (pencemaran). Sifat-sifat yang sangat diinginkan suatu fluida hidrolitik, jika tidak terdapat bahan oli mentah yang dicampurkan melalui penyulingan atau penambahan. Suatu prinsip kelemahan oli mineral adalah mudah terbakar. Apalagi pemakaian dalam lingkungan-lingkungan yang berbahaya seperti dalam perlakuan panas baja, pengelasan hidroelektrik, penuangan, dan penempaan. Untuk tujuan-tujuan ini terdapat oli khusus tahan terhadap kebakaran atau justru oli yang tidak bisa terbakar sama sekali.

#### 8. Titik alir

Pada temperatur tertentu dimana fluida membeku disebut titik alir. Secara praktisnya semua minyak hidrolitik terutama minyak dari tambang mengandung lilin. Pada suhu rendah, komponen-komponen lilin cenderung untuk mengkristal dan mengikat sebagian fluida tidak bergerak. Untuk permesinan hidrolitik pengoperasian pada suhu dingin, titik alirnya harus 10 - 15°C di bawah suhu awal yang mendahului, ini akan menjamin bahwa oli akan mengalir mengisi sisi saluran masuk pompa.

#### 9. Kemampuan melumasi

Sangatlah diperlukan sekali pada bagian-bagian bergerak sistem hidrolitik mempunyai cukup jarak antara, untuk memberi kesempatan pergerakan lapisan film minyak yang cukup banyak. Lapisan-lapisan film yang berada di antara dua bidang yang bergerak dan melakukan gesekan akan memberikan sifat pelumasan yang baik. Keadaan semacam ini disebut pelumasan film-penuh. Selama fluida (oli) mempunyai viskositas cukup, sedikit ketidaksempurnaan karakteristik permukaan-permukaan

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

sebagian bergesekan tidak akan tersentuh, karena sudah terisi lapisan film.

Fluida hidrolik yang berkualitas baik harus mempunyai sifat pelumasan yang baik untuk mencegah gesekan langsung antara bagian-bagian yang bergerak seperti; pompa, motor, katup dan elemen-elemen penggerak. Penambahan tekanan (gaya) dan kecepatan, dua kali lipat dengan jarak antara lebih kecil menyebabkan lapisan film dari fluida yang mengisi jarak kerenggangan tertekan menjadi sangat tipis. Kondisi seperti ini disebut "batas pelumasan" sudah terjadi. Seandainya hal semacam ini telah terjadi, oli tidak lama lagi melumasi dengan baik dan sempurna, lapisan film akan rusak dan hancur. Dan akhirnya terjadi gesekan langsung antara bagian-bagian yang bergerak dan bergesekan. Akan tetapi sebagian besar oli hidrolik mengandung bahan tambah anti aus yang dapat mengurangi keausan dan memberikan pelumasan yang cukup, bahkan pada kondisi tekanan yang ekstrim sekalipun. Sebagai contoh bahan tambah tersebut adalah seng dithiosphate yang akan tahan terhadap tekanan kerja pada pompa tekanan tinggi.

#### 10. Ketahanan untuk berbuih

Pengoperasian yang tepat dari berbagai sistem hidrolik berdasarkan pada fakta bahwa dalam kondisi biasa sistem fluida tidak dapat terkompresi oleh tekanan. Sehingga dapat dikatakan, gumpalan fluida itu bagaikan baja kaku yang terbuat dari zat cair. Gaya yang bekerja didorongkan pada satu ujung, dan akan dipindahkan ke ujung yang lain tanpa ada pengurangan sedikit pun akibat dari kompresi. Meskipun demikian, fluida gas yang dapat terkompresi akan dapat diserap oleh fluida cair. Dalam berbagai sistem bak penampung, fluida secara langsung berhubungan dengan atmosfer, sehingga dengan leluasa udara masuk ke dalam fluida.

Di samping itu udara dapat memasuki sistem melalui sambungan-sambungan yang rusak, saluran-saluran bocor, atau jika batas permukaan fluida dalam bak penampung terlalu rendah. Ditemukan pula pada berbagai sistem hidrolik, aliran turbulen cenderung membentuk campuran antara udara dan fluida zat cair sehingga menimbulkan pembuihan.

Fluida yang baik mempunyai kemampuan untuk "melarutkan" sejumlah kecil campuran udara. Jumlah atau volume udara yang dapat dilarutkan bertambah sebagaimana tekanan dan suhunya naik. Campuran udara ini tidak mempunyai efek merusak pada operasinya. Tetapi apabila jumlah udara yang memasuki dan bercampur dengan fluida cair lebih besar daripada kapasitas fluida untuk mencampurnya, maka akan membentuk gelembung-gelembung. Dan karena udara dapat terkompresi, akan menimbulkan pembentukan semacam bubur, dan pengoperasiannya tidak memuaskan. Lagi pula, udara dalam campuran mempunyai tekanan, akan

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

terlepas dan campuran apabila tekanannya dihilangkan. Udara ini akan membentuk semacam buih dan dengan serius mempengaruhi ketepatan kerja, khususnya pelumasan.

Oli yang disuling dengan baik bukannya menimbulkan kelebihan pembuihan, oli hidrolis paling baik mengandung tambahan penghambat pembuihan yang menambah kecepatan menghentikan gelembung-gelembung. Sehingga memperbaiki kemampuan fluida untuk melakukan kerjanya dengan tepat dan untuk menambah kemampuan untuk melumasi bagian-bagian bergerak dengan cukup.

#### 11. *Ketahanan terhadap oksidasi*

Setiap orang mengenal efek daripada udara pada sebatang besi yang licin mengkilap, khususnya kehadiran air padanya. Air bercampur dengan udara yang membentuk udara lembab dan bergabung dengan oksigen untuk membentuk karat dan bahan-bahan luar lainnya. Demikian juga sifat-sifat kimianya juga berubah. Sepertinya logam besi, semua minyak oli bergabung beberapa tingkat dengan oksigen dalam udara, dan akan mengubah-ubah komposisi kimia daripada oli. Pembentukan asam organik dapat merusak bagian-bagian logam yang berkontak langsung dengan oli, demikian juga sampai ke perapat dan penutup (*seal and packing*) dalam sistem. Di samping asam, endapan juga sering terbentuk melalui reaksi antara fluida cair dan udara. Kedua reaksi dipercepat oleh hadirnya air dan pencemar atau pengotor lain seperti: kotoran-kotoran, debu, dan partikel-partikel logam dalam fluida. Hal ini merupakan alasan mengapa sistem penyaringan begitu penting dalam berbagai sistem hidrolis. Panas juga faktor yang sangat penting pada proses oksidasi. Sudahlah ditentukan, bahwa setiap kenaikan suhu 18°F oksidasi rata-rata akan menjadi dua kali lipat. Karena hal ini, setiap sistem hidrolis memiliki pendingin untuk menjaga suhu yang timbul berada pada batas yang aman.

Dengan majunya sistem pengolahan minyak mineral, penyulingan oli yang sangat baik mesih ditambahkan beberapa bahan-bahan kimia khusus, secara penuh dan sempurna menghambat proses oksidasi.

Dengan mencegah masuknya debu dan barang-barang kotoran lain, kebanyakan oli hidrolis dapat beroperasi dalam jumlah jam yang banyak tanpa efek rusak akibat oksidasi. Demikian juga dengan metode sering mengganti fluida (oli), membuang endapan air di bagian bawah bak penampung secara periodik, dan menghindari terhadap panas oli yang berlebihan, adalah merupakan cara yang terbaik untuk mengatasi oksidasi dan efek serius ketahanannya. Oksidasi akan dapat menjadi masalah yang serius jika terjadi kesalahan pemilihan jenis oli, maka sangat dianjurkan untuk menggunakan jenis oli sesuai dengan jenis oli yang ditentukan oleh pabrik pembuat komponen hidrolis. Karena oli tersebut telah diuji

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

kesesuaiannya dan beberapa kemungkinan yang terjadi apabila komponen hidrolik itu digunakan oleh berbagai konsumen pada kondisi yang berbeda. Tentunya kemungkinan yang terjadi di sini tidak menyimpang dad sebab dan akibat dari jenis oli yang dipakai dan karakteristik komponen hidroliknya.

#### 12. Pencegahan karat dan korosi

Karat dan korosi keduanya adalah rentetan dari oksidasi, dan fluida hidrolik (yang kondisinya tetap bersih) dengan kualitas antioksidasi dimaksudkan untuk menahan karat dan korosi. Walau demikian kemungkinan-kemungkinan berkembangnya karat dan korosi selalu tetap muncul dan keduanya itu tidak dapat dihindarkan.

Karat dan korosi berbeda dalam pembahasannya. Pengkaratan terhadap logam dapat membuat bagian berkarat itu menjadi lebih besar, sedang korosi adalah disebabkan oleh asam atau sel elektro kimia lokal yang merusak logam. Kedua kondisi itu tentunya akan sangat merusak pada bagian-bagian mekanik daripada sistem hidrolik. Karat akan menyebabkan bintik-bintik kasar yang dapat merusak bagian-bagian penyekat (perapat) pada pengepasan teliti. Kerusakan seperti ini mungkin terbentuk selama dalam penyimpanan, pembongkaran atau pengiriman. Korosi akan mempengaruhi ketepatan bagian-bagian yang teliti pengepasannya dan akan memberi kesempatan adanya kebocoran yang sama sekali tidak diinginkan. Karat dan korosi menyebabkan operasi yang tidak semestinya dan keausan yang terlalu cepat, atau bahkan menyebabkan macetnya bagian-bagian bergerak. Oli hidrolik yang baik mengandung bahan-bahan tambah yang dapat menetralsir pembentukan korosi dan asam, mampu melapisi bagian-bagian logam untuk melindungi terhadap karat dan korosi.

Kemudian, karat dan korosi itu sendiri dapat dihalangi dengan menggabungkan bahan tambah pada oli, dan semacam penempelan lembaran plat pada permukaan logamnya untuk mencegah kerusakan secara kimia.

Sekali lagi bahwa cara yang paling baik untuk mencegah korosi. (kontaminasi) adalah dengan menggunakan oli yang sesuai, penyimpanan yang baik, pengangkutan atau pengiriman dengan metode yang tepat, penyaringan baik, dan pembersihan secara periodik dengan baik pada seluruh sistem hidrolik.

#### 13. Ketahanan oli terhadap api

Kelemahan utama oli mineral adulah dapat terbakar. Apabila sistem hidrolik itu berada di dekat bagian-bagian bersuhu tinggi, atau sumber-

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

sumber lain yang dapat memercikkan api pada oli hidrolis. Penggunaan oli hidrolis tahan terhadap api adalah suatu syarat yang tidak boleh tidak harus dipenuhi. Ada tiga jenis dasar fluida tahan api, yakni :

1. glycol-air
2. campuran oli-air
3. oli sintetis.

#### ***Kemampuan oli untuk memisahkan dari air***

Bertentangan dengan opini umum bahwa oli dan air akan bercampur. Campuran ini disebut "emulsifikasi" atau campuran baru. Hampir tidak mungkin untuk membuat semua air yang ada keluar dari sistem hidrolis. Uap air memasuki bak penampung (reservoar) dan akan mengembun dalam bentuk tetesan-tetesan kecil.

Hal ini juga mungkin dapat masuk melalui lubang-lubang kebocoran dalam sistem. Karena pergolakan yang kuat, pengadukan, dan resirkulasi terus-menerus dalam suatu sistem hidrolis serupa, oli dan air akan cepat membuat campuran dalam bentuk emulsi. Apabila jumlah kandungan air dalam oli cukup besar, akan merusak sistem itu sendiri. Emulsi akan mendatangkan karat, menambah proses oksidasi yang membentuk asam dan endapan, sehingga akan mengurangi ketepatan daya lumas bagian-bagian yang bergerak. Juga emulsi sering membentuk semacam lumpur, melengket, atau kental seperti bubur yang mempengaruhi kenormalan operasi katup-katup atau bagian-bagian lainnya.

#### ***Fluida glycol - air***

Fluida glycol - air pada dasarnya terdiri dari campuran (1) 35-40% air untuk memberikan sifat tahan terhadap pembakaran, (2) glycol (suatu bahan kimia sintetis dari kelompok yang sama sebagai ethylene anti-beku permanen atau jenis glycol yang lain), dan (3) campuran air yang lebih pekat (kental) untuk menambah angka viskositas. Fluida ini juga mengandung bahan tambah untuk mencegah pembuihan, karat dan korosi, juga untuk meningkatkan sifat pelumasannya.

Secara umum glycol - air mempunyai sifat tahan aus sangat baik, asalkan kecepatan tinggi dan pembebanan berat dihindarkan. Fluida ini mempunyai gaya berat yang tinggi (lebih berat daripada oli), yang akhirnya dapat membuat kevakuman yang lebih tinggi pada saluran masuk pompa. Logam-logam tertentu seperti seng, cadmium, dan magnesium dapat bereaksi dengan fluida glycol-air dan tidak dapat digunakan apabila terjadi kesesuaian cat dan lapisannya harus menggunakan fluida jenis ini.

Kebanyakan bahan penyekat sintetis yang baru cocok dengan fluida glycol-air. Asbestos, kulit, dan bahan pengisi gabus harus dihindarkan pada penyekat-penyekat yang bergerak, karena akan cenderung untuk

---

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

menyerap/ atau meredam air.

Beberapa kelemahan-kelemahan yang ada pada fluida ini, antara lain: (1) perlunya secara kontinyu mengetahui kandungan air dan membuat penguapan untuk menjaga angka viskositas yang diperlukan, (2) penguapan juga dapat menyebabkan kerugian dari bahan-bahan tambah tertentu, dengan cara demikian akan mengurangi umur fluida dan komponen-komponen hidrolis. Juga (3) suhu operasi harus dijaga tetap rendah, dan (4) harga dan ongkos (untuk saat ini) lebih besar daripada oli-oli konvensional.

Apabila dalam sistem diubah dari oli mineral ke glycol-air, seluruhnya harus dibersihkan dan dibilas. Anjuran termasuk penggantian cat aslinya pada bagian dalam bak penampung, penggantian bagian-bagian berlapis seng dan cadmium, dan penggantian pada penyekat-penyekat tertentu. Perlu juga kiranya untuk mengganti bagian-bagian aluminium jika dilakukan dengan tepat, demikian juga peralatan instrumentasi lainnya yang sekiranya tidak cocok dengan fluida.

Fluida glycol-air memberikan sifat tahan api yang sangat baik. Apabila dinyalakan kandungan air akan mendidih dan residu akan terbakar. Tetapi dalam kondisi itu tidak ada kemungkinan api untuk menyala, dan selalu merupakan waktu yang sangat berarti, selisih waktu ketinggalan antara kontak dengan menjalarnya api. Ketika api terjadi, sifat pembakarannya menunjukkan api yang lemah.

#### ***Campuran oli dalam air***

Dalam prakteknya jenis emulsi fluida adalah fluida tahan api yang mahal. Seperti glycol-air juga tergantung pada kandungan air untuk sifat-sifat tahan api. Di samping oli dan air, campuran mengandung pelarut, penstabil dan bahan-bahan tambah lainnya untuk menyatukan dua zat cair bersama-sama.

Larutan oli dalam air mengandung tetesan-tetesan kecil khususnya sulingan oli yang telah memencar ke dalam air. Dapat dikatakan bahwa air adalah fase yang terus-menerus, dan karakteristik fluidanya lebih menyerupai air daripada di larutan ini betul-betul tahan api, viskositasnya rendah dan mempunyai sifat pendinginan yang sangat bagus. Bahan-bahan tambah dapat dicampurkan pula di dalamnya untuk memperbaiki sifat pelumasannya yang sangat miskin dan untuk melindungi terhadap karat. Fluida jenis ini digunakan terutama untuk pompa-pompa yang besar tetapi kecepatan rendah. Dan akhir-akhir ini pompa-pompa hidrolis konvensional juga menggunakan fluida serupa.

#### **Larutan air dalam oli**

Larutan air dalam oli adalah lebih umum dalam penggunaannya. Tetesan-tetesan air kecil dipencarkan terus-menerus ke dalam fase perubahan oli. Sepertinya oli, fluida ini juga mempunyai sifat pelumasan dan kepekatan yang baik. Tambahan pula, pencaran air memberikan sifat fluida menjadi lebih baik dalam kemampuannya untuk menyerap panas. Penghalang munculnya karat digabungkan atau dicampurkan untuk kedua fase perubahan air dan oli. Bahan tambah anti buih juga dicampurkan dengan tidak mengalami kesulitan.

Campuran air dalam oli biasanya mengandung 40% air yang digunakan dalam sistem. Namun demikian, beberapa pembuat fluida ini menyediakan dalam bentuk sari fluidanya, kemudian pemakai tinggal menambahkan air apabila fluida itu akan dipakai. Seperti dalam fluida glycol-air, perlu kiranya untuk mengisi air untuk menjaga ketepatan viskositasnya.

Suhu pengoperasian harus betul-betul dijaga rendah dengan campuran air dalam oli untuk menghindarkan penguapan dan oksidasi. Fluida harus bersirkulasi dan tidak boleh berulang kali mencair dan membeku atau mungkin kedua tahap itu terpisah. Kondisi saluran masuk harus dipilih secara hati-hati karena kerapatan fluida yang lebih tinggi dan viskositas yang tinggi telah menjadi sifatnya.

Campuran atau emulsi kelihatan mempunyai daya tarik-menarik yang lebih besar untuk kontaminasi dan memerlukan perhatian tambahan untuk penyaringannya, termasuk sumbat magnet untuk menarik partikel-partikel besinya.

Secara umum emulsi fluida ini cocok untuk semua logam dan penyekat yang didapatkan dalam sistem hidrolis.

Apabila dalam sistem mengalami penggantian fluida ke campuran air-oli, seluruhnya harus dikeluarkan, dibersihkan dan dibilas. Penting pula kiranya untuk mengusir kontaminasi (seperti glycol-air) yang mungkin menyebabkan fluida baru yang dapat merusak.

Sebagian besar penyekat dapat ditinggalkan dalam keadaan tidak terganggu dan cacat. Butyl dynamic (penyekat yang bergerak) harus diganti. Dalam penggantian fluida sintetis ke oli mineral (petroleum) penyekat juga harus diganti, sehingga sesuai dengan fluida baru.

#### **Fluida tahan api sintetis**

Fluida jenis ini dipadukan secara laboratorium kimia, dan fluida itu sendiri tidak dapat terbakar jika dibandingkan dengan oli mineral. Bahan-bahan yang sejenis itu adalah: (1) ester phosphat; (2) chlorinat (halogenat) hidro-carbon, (3) fluida sintetis hasil campuran dari (1) dan (2) dapat juga membuat campuran bahan baru.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

Semenjak fluida sintetis tidak mengandung air atau bahan lain yang mudah menguap, fluida itu akan beroperasi sangat baik pada suhu tinggi tanpa mengalami kerugian dari elemen-elemennya. Fluida ini juga cocok untuk sistem-sistem bertekanan tinggi. Fluida tahan api sintetis tidak dapat beroperasi baik pada sistem bersuhu rendah. Pemanasan awal mungkin sangat diperlukan pada lingkungan-lingkungan sekitar yang dingin.\

Indeks viskositas fluida sintetis pada umumnya rendah, daerahnya mulai dari 80 sampai serendah minus 400. Dengan demikian fluida ini tidak digunakan, kecuali suhu operasinya relatif konstan. Barangkali fluida sintetis adalah fluida yang paling mahal untuk fluida hidrolis yang digunakan saat ini.

Fluida sintetis tidak begitu cocok dengan penyekat Nitrile (Buna) dan Neoprene yang digunakan pada umumnya. Dengan demikian penggantian fluida dari oli mineral, glycol-air atau air oli membutuhkan pembongkaran untuk melakukan penggantian semua penyekatnya. Penyekat khusus terbuat dari bahan yang sesuai dan tersedia untuk penggantian semua komponen produk Vickers. Penyekat ini dapat dibeli secara satu-satu atau dalam satu paket, atau dapat juga dipasang langsung dalam unit baru khususnya untuk jenis fluida tahan api.

Ester fosfat sering disebut sebagai "sintetis" atau fluida tiruan, pada dasarnya fluida ester fosfat adalah ester fosfat triaryl. Bahan-bahan tambah dicampurkan untuk memberikan sifat perlindungan terhadap karat, kepasifan logam, anti buih, dan tahan oksidasi. Meskipun demikian sifat terbakar masih ada, tetapi hanya dapat terjadi pada suhu yang sangat tinggi. Fluida ini tidak dapat membesarkan atau menjalankan api yang sudah hidup, tetapi malah akan memadamkan dengan sendirinya sewaktu sumber nyala api dimatikan.

#### Kesesuaian sifat fluida dan sistem

Tabel 8 Kesesuaian bahan sintetis

	Glycol-air	Ester fosfat dan campuran oli sintetis	Ester As/Di
Dat :			
Tahan pada oksidasi	TC	TC	TC
Erosi dan Phosfat	C	C	C
Logam :			
Ferro	C	C	C
Tembaga, kuningan	C	C	C
Alumina, baja, stainless	TC	C	C
Alumina, Sinter	C	C	C
Seng	TC	C	C
Penyekat (oli)			
Teflon	E	C	C
Urea	C	C	C
Nitrone	C	TC	C
Buna "N"	C	TC	C
Karet Butyl	C	C	TC
Karet E.P.	C	C	TC
Karet Silica	C	C	C

Ket : - TC = tidak cocok  
 C = cocok  
 - Di mineral adalah sama dengan nilai As/Di

Beraneka ragam fluida tahan api, disusun menjadi komponen-komponen kimia yang kompleks, sehingga menimbulkan efek-efek yang bervariasi pada penggunaan bahan dalam sistem hidrolis. Variasi dari bahan-bahan sintetis terhadap sistem hidrolis itu dapat dilihat pada tabel.

Sedangkan kesesuaian bahan sintetis dalam fluida hidrolis terhadap sifat-sifatnya seperti yang telah diterangkan pada bahasan di atas dapat dilihat

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolis

pada tabel 8.

#### 3.5.4. Pemeliharaan fluida hidrolis

Seperli telah diuraikan berulangkali, kotoran debu dan pencemar lain adalah musuh yang paling buruk dalam sistem hidrolis. Pengoperasian yang lama (terus-menerus) pada efisiensi yang tinggi sangat tergantung pada ketepatan pemeliharaan fluidanya.

Tabel 9 kesesuaian sifat fluida hidrolis

	JENIS FLUIDA				
	Oli mineral	Glycol-air	Ester phosphat	Oli dalam air	Oli sintetis
Tahan api	K	SB	B	C	C
Viskositas	B	SB	C	B	C-B
Kesesuaian penyekat	B	SB	C	B	C
Kualitas pelumasan	SB	C-B	SB	C-B	SB
Batas suhu (°C) di atas idcal	65	50	65	50	65
Perb. harga relatif terhadap oli	1	1	8	1,5	4

Ket : SB = sangat baik;  
B = baik  
C = cukup  
K = kurang cocok

Hanya dengan fluida yang dianjurkan dari pembuat sistem hidrolis seharusnya digunakan, dan harus diperiksa pada interval batas permukaan fluida yang disarankan. Juga, penyaringan yang baik dan bersih, penggantian fluida hidrolis pada selang waktu yang dianjurkan pula.

Pengeluaran fluida dari seluruh sistem hidrolis sangatlah penting. Hal ini merupakan satu cara untuk menghilangkan pencemaran dari benda-benda yang tidak

diinginkan, hasil oksidasi seperti endapan dan asam, serta partikel-partikel lain yang mungkin dapat melukai atau merusak sistem. Sebenarnya, dalam sistem hidrolis yang baru (modern) menggunakan fluida-fluida yang telah disetujui oleh berbagai negara maju, periode pengeluaran tidak begitu sering, dan tidaklah terlalu kaku untuk selalu mengikuti petunjuk-petunjuk pabrik pembuat.

Kebanyakan fluida hidrolis modern telah betul-betul disuling, disaring dengan baik, dan diperkuat atau diperbaiki dengan bahan tambah, sehingga pembilasan fluida pada bak penampungan tidak diperlukan lagi. Meskipun demikian, apabila pembilasan dianjurkan oleh pabrik pembuat, maka dianjurkan untuk selalu mengikuti aturan-aturan sehingga tidak mencemarkan oli baru dengan oli pembilasnya yang tidak dapat dikeluarkan dari sistem.

### 3. prinsip-prinsip dasar hidrolik

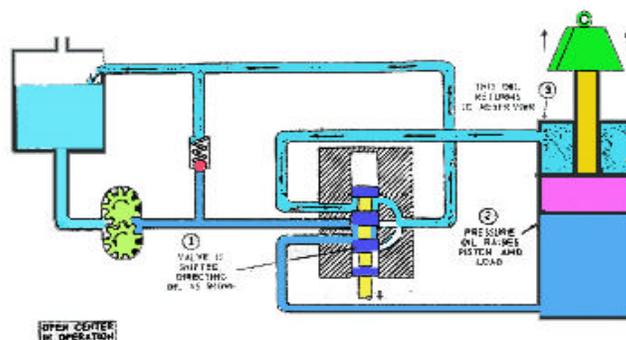
Fluida-fluida hidrolik yang baik, yang dikirimkan atau disimpan dalam kaleng atau drum, biasanya pengiriman itu betul-betul bersih dan bebas dari kontaminasi (benda-benda luar yang dapat menimbulkan karat dan oksidasi). Ketika tempat penampungnya dibuka atau disimpan masalah-masalah yang berkenaan dengan oli di dalamnya terjadi.

Sewaktu membuka kaleng atau drum, harus betul-betul yakin bahwa lingkungan di sekitar drum atau kaleng itu bebas dari debu, kotoran, lepasan-lepasan kain kapas atau air. Jika kaleng, corong penuang, atau selang karet/ pipa diperlukan untuk mengisi sistem, yakinkan bahwa peralatan itu tidak bernoda sedikit pun. Dengan kata lain apabila akan mengisi oli baru ke dalam sistem harus menggunakan alat atau perlengkapan yang betul-betul bersih. Ada baiknya untuk pengisian oli baru menggunakan pompa strainer dan filtrasi khusus. Apabila memungkinkan, sewaktu menyimpan fluida hidrolik harus di dalam, dalam arti harus bebas dari sinar matahari dan hujan. Dan paling tidak harus tertutup dan penutup salurannya harus kencang. Jika penyimpanan drum terkena sinar matahari dan pengikatan pada penutupnya tidak kencang, fluida di dalamnya akan mengembang, akhirnya akan mendorong penutupnya. Kemudian apabila fluida dingin kembali, fluida menyusut, dan akibatnya akan menyerap air hujan, embun, atau kotoran-kotoran lain ke dalam drum dan fluida. Kerusakan oli hidrolik karena efek air telah dibahas di depan. Untuk mengatasi hal ini, drum disimpan dalam keadaan tutupnya sekeras mungkin, dan sedapat mungkin pada tutup drum dan sekitar lubang pengisinya tidak tertutup atau tergenang air.

#### 3.6. Sistem Hidrolik

##### 3.6.1. Komponen sirkuit dasar

Komponen-komponen dalam sirkuit dasar sistem hidrolik (sesuai gambar 3.41) agar dapat bekerja dengan sempurna adalah sebagai berikut



Gambar 3.41 Sistem hidrolik untuk menaikkan beban

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

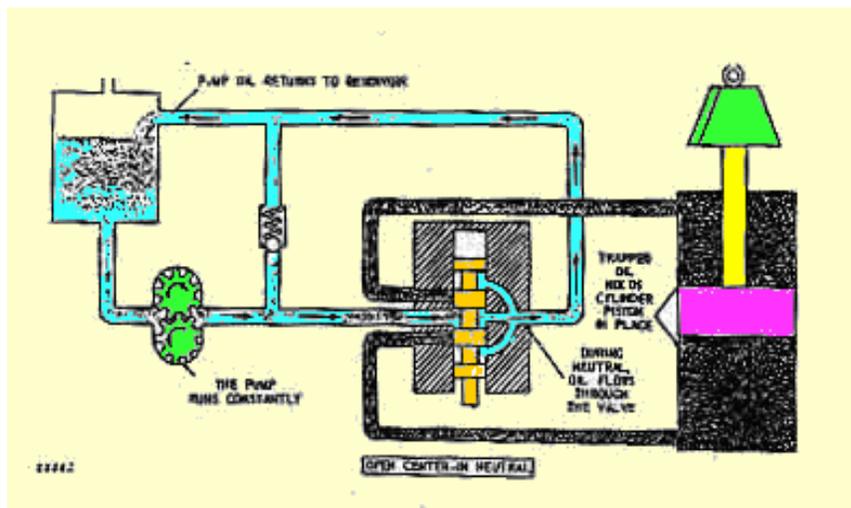
1. TANGKI HIDROLIK (*HYDRAULIC TANK*) adalah sebagai tempat penampung oli dari sistem. Selain itu juga berfungsi sebagai pendingin oli yang kembali.
2. POMPA HIDROLIK (*HYDRAULIC PUMP*) sebagai pemindah oli dari tangki ke dalam sistem. Dan bersama komponen lain menimbulkan hydraulic pressure (tenaga hidrolis).
3. *CONTROL VALVE* gunanya untuk mengarahkan jalannya oli ke tempat yang diinginkan.
4. *ACTUATOR (HYDRAULIC CYLINDER)* adalah sebagai perubah dari tenaga hidrolis menjadi tenaga mekanik.
5. *MAIN RELIEF VALVE* gunanya untuk membatasi tekanan maksimum yang diijinkan dalam *hydraulic system*, agar sistem sendiri tidak rusak akibat *over pressure*.

Selain itu juga diperlukan filter untuk menyaring kotoran-kotoran seperti gram-gram agar tidak ikut bersirkulasi kembali.

Dewasa ini ada dua jenis sistem hidrolis yang dikembangkan untuk dipakai di unit-unit traktor :

#### 1. OPEN CENTER SYSTEM

Dalam sistem, bila *control valve* keadaan neutral, maka aliran oli disuplai oleh pompa langsung dikembalikan ke tangki hidrolis lagi. Pada saat itu, *flow*-nya maximum sedangkan *pressure*-nya nol.



Gambar 3.42 Sirkuit dasar *open center*

---

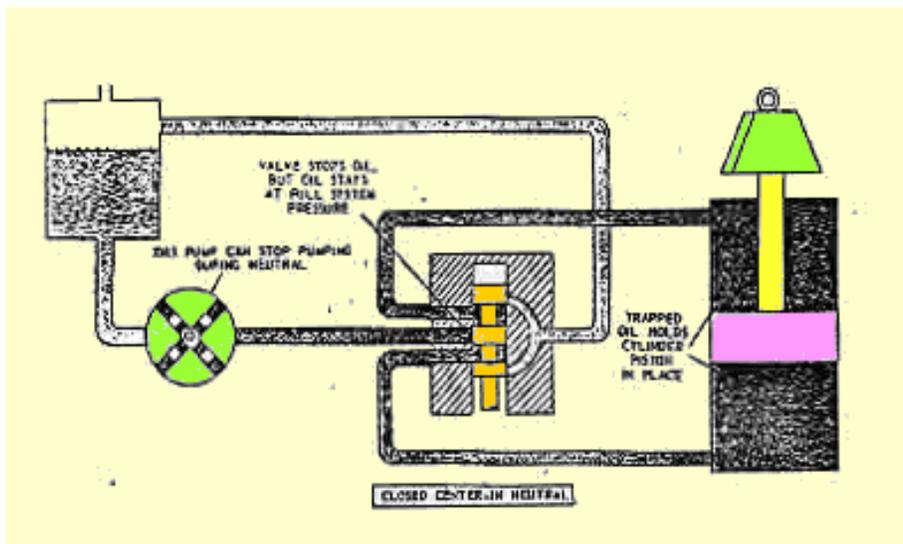
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

#### 2. CLOSE CENTER SYSTEM

Bila *control valve* dalam keadaan neutral maka saluran dari pompa tertutup. Dengan demikian maka tekanan antara pompa *control valve* akan naik sampai batas tertentu kemudian pompa berhenti mensuplai oli ke sistem. Jadi bila *control valve* neutral (tertutup ditengah) maka pompa akan neutral (tidak mensuplai oli).

Dalam hal ini bila *control valve* neutral maka pompa akan mensuplai oli sampai tekanan naik pada batas yang sudah ditentukan kemudian *pressure* tersebut dimanfaatkan atau menghentikan sama sekali untuk menjaga agar tekanan kerja sistem konstan.

Pada keadaan lain akan sama kejadiannya bila *control valve* digerakkan dan piston bergerak sampai akhir langkah piston *hydraulic cylinder*. Dengan demikian maka tekanan sistem akan naik dan bila sudah mencapai batas yang sudah ditentukan maka suplai pompa dikurangi atau dihentikan sama sekali untuk menjaga tekanan dalam sistem agar tetap pada tekanan maksimum sistem.



Gambar 3.43 Sirkuit dasar *closed center system*.

### 3.6.2. Simbol-simbol dan istilah-istilah sistem hidrolis

#### ***Jenis-jenis simbol yang umum digunakan pada diagram rangkaian untuk sistem fluid power.***

- a) Simbol-simbol bergambar sangat berguna dalam menunjukkan interkoneksi komponen. Simbol-simbol ini susah distandarisasi dari fungsi dasarnya.
- b) Simbol potongan menekankan tentang konstruksi. Simbol-simbol ini kompleks untuk digambar dan fungsinya sangat tidak jelas.
- c) Simbol grafik menekankan tentang fungsi dan metode pengoperasian komponen. Simbol-simbol ini sangat sederhana untuk digambar.

#### ***Peraturan-peraturan simbol***

- 1. Simbol-simbol menunjukkan sambungan, arah aliran dan fungsi komponen-komponen yang ditunjukkan. Mereka dapat menunjukkan kondisi-kondisi yang terjadi selama transisi dari satu arah aliran ke arah aliran yang lain. Simbol tidak menunjukkan konstruksi, maupun nilai, mis. tekanan, jumlah aliran, dan penentuan komponen-komponen lain.
- 2. Simbol tidak menunjukkan lokasi port, arah perubahan spool, atau posisi aktuator pada suatu komponen secara nyata.
- 3. Simbol bisa dirotasi atau dibalik tanpa merubah maknanya kecuali jika dari
  - a) Selang ke reservoir
  - b) Vented manifold
  - c) Selang yang menyilang - Teknik Pengselangan

#### ***Beberapa simbol yang umum digunakan***

Garis tebal - Konduktor utama :



Garis putus-putus - Pilot atau drain :



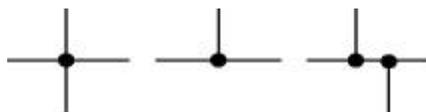
Garis sumbu - batas komponen dalam suatu unit :



Garis silang :



Garis yang menyambung :



---

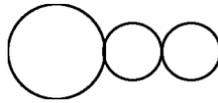
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Simbol dasar bisa ditunjukkan dalam ukuran yang sesuai. Ukuran bisa berubah-ubah tergantung penekanan atau kejelasannya. Ukuran relatif harus dijaga.

Lingkaran dan semi lingkaran (Pompa, motor, alat ukur)



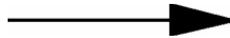
Lingkaran besar dan kecil bisa digunakan untuk memberikan tanda bahwa satu komponen adalah "utama dan yang lainnya adalah pembantu".



Segi tiga (Transmisi power dan energi):



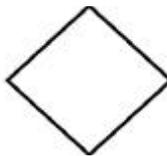
Tanda panah (simbol arah aliran) :



Bujur sangkar (katup dengan satu bujur sangkar untuk setiap posisi katup) :



Diamond (unit penkondisian cairan - filter, cooler, drain) :



Empat persegi panjang (silinder, reservoir, dan beberapa katup) :



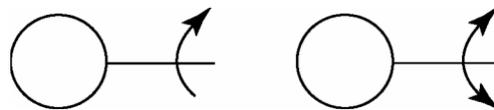
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Setiap simbol digambar untuk menunjukkan kondisi komponen yang normal atau netral, kecuali jika diagram multiple diperlengkapi dengan menunjukkan berbagai macam tahap operasi rangkaian. Menunjukkan simbol aktuator untuk setiap kondisi arah aliran yang dimiliki oleh komponen.

Sebuah tanda panah melalui simbol kira-kira 45 derajat menunjukkan bahwa komponen-komponen dapat disetel atau dirubah.



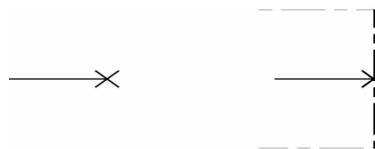
Poros yang berputar disimbolkan dengan suatu tanda panah yang menunjukkan arah perputaran (katakanlah tanda panah dekat poros) :



Garis fleksibel :



Port yang disumbat :



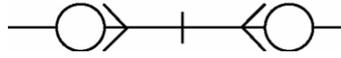
Pemutusan cepat tanpa Check



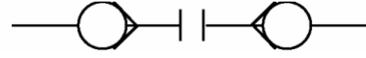
---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

Pemutusan cepat dengan dua Check  
Tersambung



Putus



Reservoir Vented Diberi tekanan



Simbol digunakan sebagai bagian dari rangkaian yang lengkap. Simbol ini sama dengan simbol pentanahan (ground) pada gambar listrik. Beberapa simbol bisa digunakan dalam satu gambar untuk menunjukkan reservoir yang sama.

Selang pembalik dibawah level cairan (Reservoir)



Selang pembalik diatas level cairan (Reservoir)

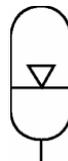


Akumulator

(a) Akumulator, Dibebani dengan pegas



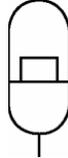
(b) Akumulator, Diisi dengan gas



---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

(c) Akumulator, Diberi berat



Energi Simbol ini digunakan untuk menunjukkan sumber power cairan yang mana bisa berupa pompa, kompresor, atau sistem lain yang berhubungan.

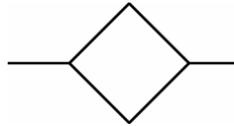


Hydraulic

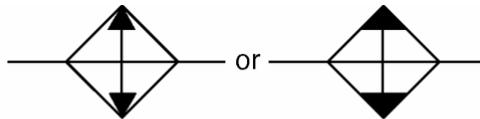


Pneumatic

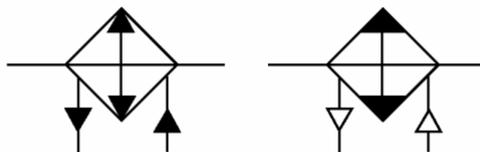
Kondisioner cairan



Alat pengubah panas (pendingin)

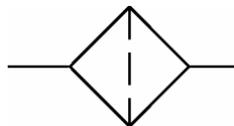


Inside Triangles Indicate Heat Dissipation



(corners may be filled in to represent triangles)

Filter - Strainer

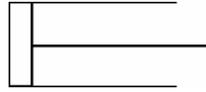


---

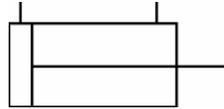
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Silinder, Hidrolis dan Pneumatik

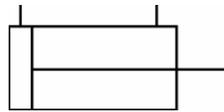
(a) Gerakan tunggal



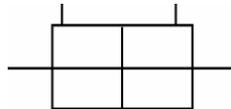
(b) Gerakan ganda



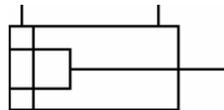
(c) Single End Rod



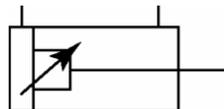
(d) Double End Rod



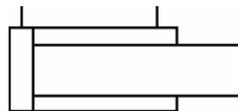
(e) Cushion tetap, maju dan mundur



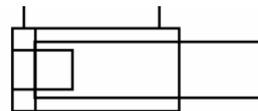
(f) Cushion yang dapat disetel, hanya maju



Gunakan simbol ini apabila diameter batang yang dibandingkan dengan diameter lubang adalah cukup (silinder diferensial).



Non Cushion



Cushion, maju dan Mundur

---

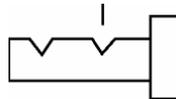
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

#### Aktuator dan kontrol

Pegas



Kancingan penahan

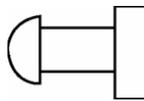


(Menunjukkan notch untuk setiap kancingan pada komponen yang diberi simbol. Garis pendek menunjukkan yang mana kancingan tersebut digunakan.) Kancingan bisa diposisikan pada ujung simbol yang lain.

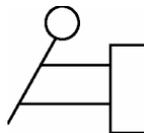
Manual



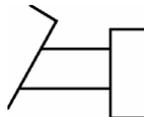
Tombol tekan



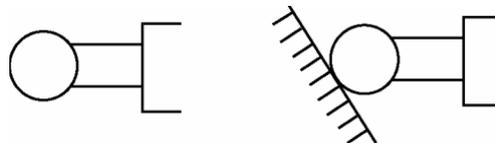
Lever



Pedal atau injakan



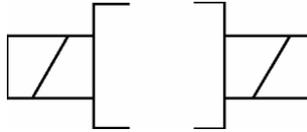
Mekanis



---

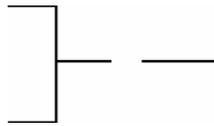
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Solenoid listrik (lilitan tunggal)

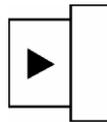


Tekanan pilot

(a) Remote Supply



(b) Internal Supply



(c) Aktuasi dengan tekanan yang dilepaskan

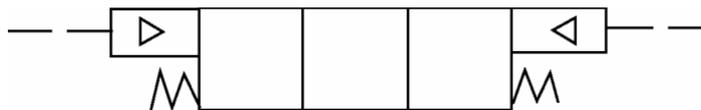


Remote Exhaust dengan pembalik internal

(d) Pilot yang terkontrol, senter pegas



simbol yang telah disederhanakan

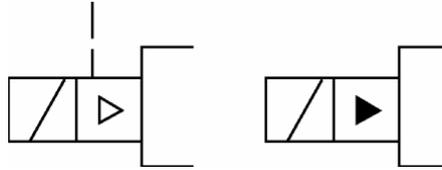


Simbol yang lengkap

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

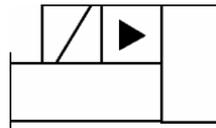
Pilot solenoid

Solenoid dan Pilot



Penggabungan aktuator

Solenoid dan pilot atau manual override yang menyebabkan alat beroperasi.

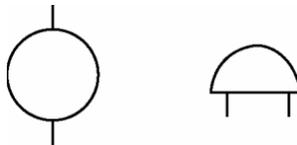


Alat yang berputar

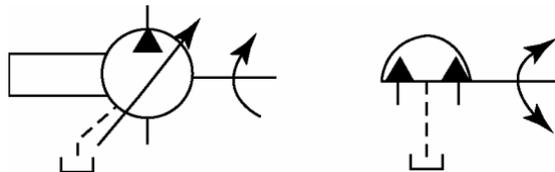
Simbol dasar



(a) Dengan Port



(b) Dengan poros yang berputar, Dengan kontrol dan dengan Drain



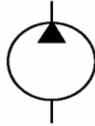
---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

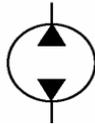
Pompa hidrol i k

(a) Displacement tetap

Unidirectional



Bidirectional



(b) Displacement variabel

Unidirectional

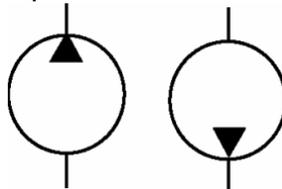


Bidirectional



Motor hidrol i k

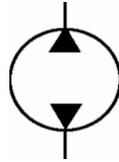
(a) Displacement tetap



---

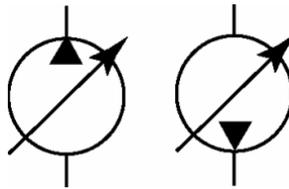
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

(b) Bidirectional



(c) Displacement variabel

Unidirectional



Bidirectional



Silinder semi-rotari



Motor, Engine

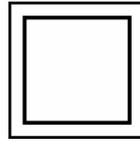
(a) Motor listrik



---

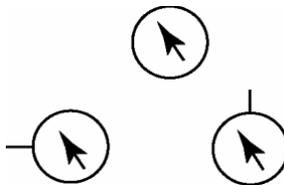
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

(c) Engine panas (mis. Mesin Dengan Pembakaran Internal)

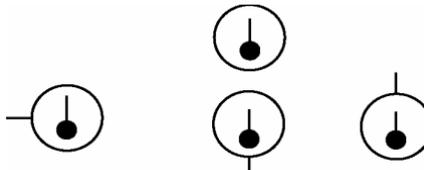


Instrument dan Asesori

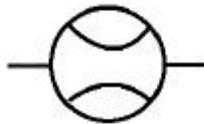
(a) Tekanan



(b) Temperatur

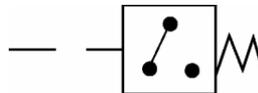


(c) Alat ukur aliran



Asesori

Sakelar tekanan



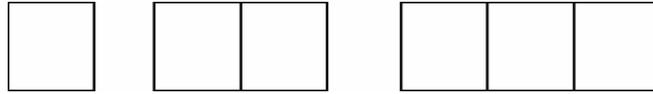
Katup (Valve)

Simbol dasar katup tersusun dari satu atau lebih kotak dengan garis di bagian dalam kotak tersebut yang bertujuan menunjukkan arah aliran dan kondisioner diantara port-port. Sistem tiga simbol digunakan untuk menunjukkan jenis-jenis katup: kotak sederhana, posisi tetap dan tidak tetap, kontak multiple, posisi tidak tetap.

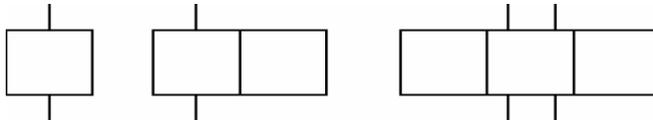
---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

1. Kotak



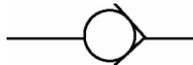
2. Port



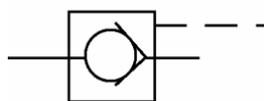
Katup dua arah (Katup 2 Ported)  
On-Off (Shut Off secara manual)



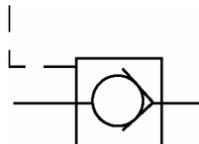
Check



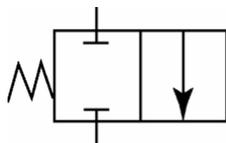
Check, Pilot-Operated sampai Terbuka



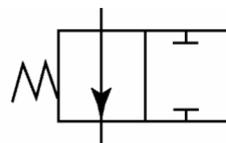
Check, Pilot-Operated sampai tertutup



Katup Dua Arah  
(a) Dua posisi



Secara normal tertutup

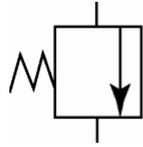


Secara normal terbuka

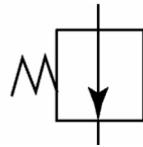
---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

(b) Posisi tidak tetap



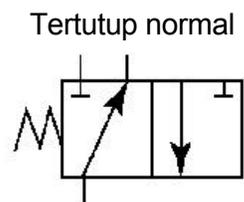
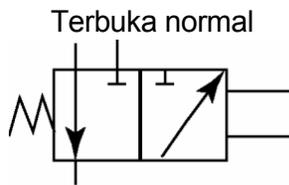
Terbuka normal



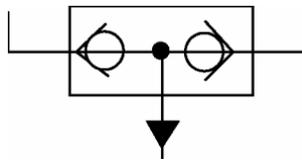
Tertutup normal

Katup Tiga Arah

(a) Dua Posisi

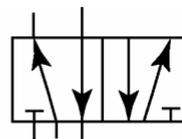
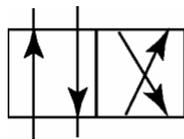


Check valve ganda



Katup empat arah

(a) Dua posisi



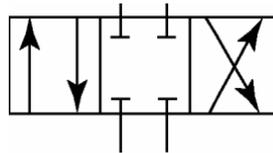
Normal

3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

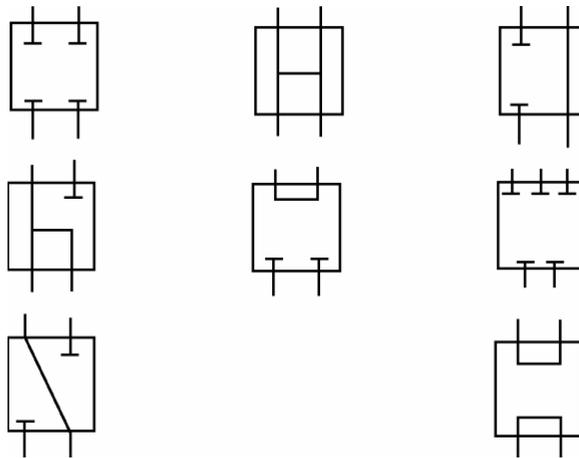


Digerakkan

(b) Tiga posisi

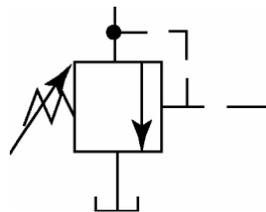


(c) Arah aliran untuk kondisi senter katup tiga posisi.



Katup Kontrol Tekanan

(a) Relief Tekanan

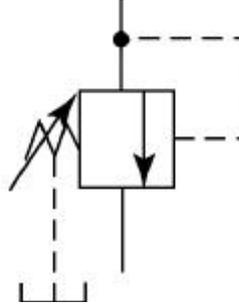


Simbol yang disederhanakan

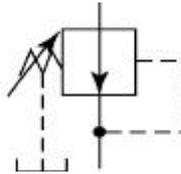
---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

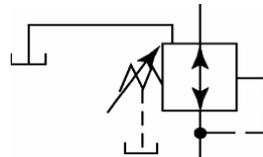
(b) Programa/rangkaian



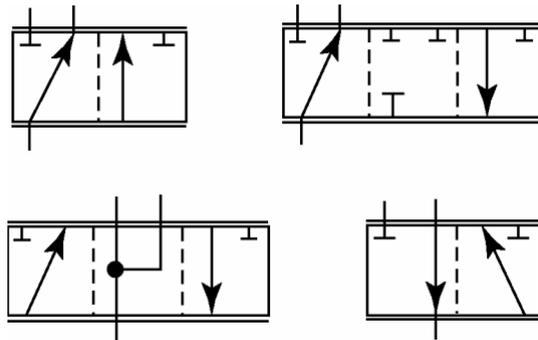
(c) Pengurang Tekanan



(d) Pengurang dan Pembuangan Tekanan

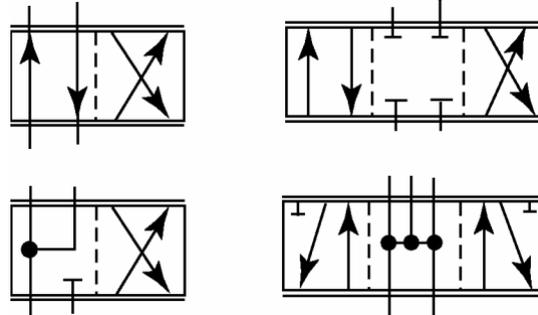


Posisi Tidak Tetap Pada Katup Tiga Arah



### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

#### Posisi Tidak Tetap Pada Katup Empat Arah

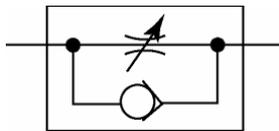


#### Katup Kontrol Aliran

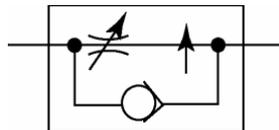
- (a) Dapat disetel, Nonkompensasi (Kontrol Aliran pada masing-masing Arah)



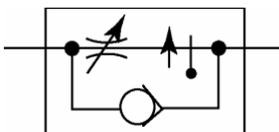
- (b) Dapat disetel dengan Bypass



- c. Dapat disetel dan Tekanan yang Terkompensasi dengan bypass



- d. Dapat disetel, Temperatur dan Tekanan yang terkompensasi



---

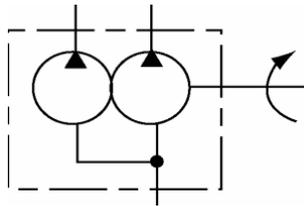
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Simbol komposit yang ditunjukkan  
Ruang komponen tertutup



Ruang komponen tertutup bisa dikelilingi oleh simbol yang sempurna atau sekelompok simbol yang menunjukkan suatu assembly. Simbol ini biasa digunakan untuk memberikan lebih banyak informasi tentang sambungan dan fungsi komponen. Ruang tertutup menunjukkan ujung komponen atau assembly. Port eksternal diasumsikan dalam garis tertutup dan menunjukkan sambungan komponen.

Pompa, Displacement ganda, displacement tetap, Satu Isap dan Dua Pembuang



---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

#### ***Latihan 1. Konstruksi Rangkaian:***

Mesin hidrolik harus mampu mengangkat platform berat secara vertikal. Apabila sudah berada pada posisinya, platform ini harus dikunci secara hidrolik untuk mencegah jangan sampai roboh. Apabila platform diturunkan, maka harus ada kontrol kecepatan maksimum.

#### ***Latihan 2 Konstruksi rangkaian :***

Sebuah mesin hidrolik mengelem sebuah pipa dan kemudian memotongnya. Operasi yang lengkap dikontrol dari satu katup yang dioperasikan dengan lever. Gaya pengeleman silinder disesuaikan dan kecepatan pemotongan juga disesuaikan. Alat pemotong dan pengelem akan kembali ke posisi start secara bersamaan tanpa ada kontrol kecepatan atau gaya.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

#### ***Latihan 3. Konstruksi Rangkaian :***

Sebuah motor hidrolis digunakan untuk memutar sebuah poros yang sudah diberi beban. Kecepatan poros harus dapat disetel. Ketentuan harus diikuti dalam rangkaian untuk memberikan perlindungan tekanan pada motor. Motor harus dicegah jangan sampai bekerja secara berlebihan dengan beban yang dapat menyebabkan terjadinya cekungan.

#### ***Latihan 4. Konstruksi rangkaian:***

Sebuah mesin hidrolis menopang platform yang harus bisa disetel ketinggiannya. Apabila posisinya sudah tersetel, maka harus dikunci secara hidrolis. Platform akan mengarah ke beban impact dan akumulator akan digunakan untuk menyerap spike tekanan yang tercipta. Sehingga tidak perlu lagi mengontrol kecepatan turun atau naik.

#### 3.7. Sirkuit Penyuplai Tenaga

##### 3.7.1. Pompa Hidrolik

Dari bermacam-macam komponen yang ada dalam sistem hidrolik, boleh dikatakan bahwa pompa adalah komponen yang paling dominan. Fungsi daripada pompa adalah untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik dengan cara menekan fluida hidrolik ke dalam sistem.

Dalam sistem hidrolik, pompa merupakan suatu alat untuk menimbulkan atau membangkitkan aliran fluida (untuk memindahkan sejumlah volume fluida) dan untuk memberikan gaya sebagaimana diperlukan.

Apabila pompa digerakkan oleh motor (penggerak utama), pada dasarnya pompa melaksanakan dua fungsi utama: (1) pompa menciptakan kevakuman sebagian pada saluran masuk pompa. Vakum ini memungkinkan tekanan atmosfer untuk mendorong fluida dari tangki (reservoir) ke dalam pompa, (2) gerakan mekanik pompa mengisap fluida ke dalam rongga pemompaan, dan membawanya melalui pompa, kemudian mendorong dan menekannya ke dalam sistem hidrolik.

Apabila pompa dapat menarik kevakuman yang sempurna pada saluran masuknya, maka tekanan (absolut) 101,3 kPa (~1 bar) tersedia untuk mendorong fluida ke dalam pompa. Dengan demikian untuk menghindari kavitasi dalam pompa "tekanan dasar" harus jauh lebih kecil. Kavitasi adalah ruangan kosong dalam pompa yang terisi udara, dan seharusnya seluruh ruangan ini terisi fluida oli. Pada dasarnya kavitasi dapat merusak pompa, akibat dari gesekan langsung antara rotor dan stator atau antara rotor-rotornya. Kavitasi disebut juga keronggaan, dan biasanya dinyatakan dalam persen terhadap seluruh ruangan pemompaan. Kurang lebih 10% udara (terhadap volume) dalam larutan atau campuran fluida hidrolik. Apabila tekanan vakum pada saluran masuk pompa melebihi tekanan "penguapan" fluida, udara akan lepas dari campuran dan membentuk gelembung-gelembung penguapan. Gelembung-gelembung ini terbawa melalui pompa, dan mengempis dengan cepat ketika terbuka ke tekanan tinggi pada saluran keluarannya. Pengempisan atau penyedotan tiba-tiba seperti ini akan menyebabkan kavitasi. Atau dapatlah dikatakan bahwa kavitasi adalah akibat dari penyedotan pompa secara tiba-tiba dan cepat, sehingga fluida cair belum sempat masuk ke dalamnya tapi sudah keburu terisi oleh udara. Kavitasi mudah diketahui dengan suara gemercik yang tajam dan menjerit, bila pompa dalam kondisi jalan dapat menyebabkan erosi logam pada saluran keluar pompa. Akibat pompa mengalami demikian akan memperpendek umur kerja pompa. Cara sederhana untuk mencegah kavitasi adalah:

- (1) Menaikkan reservoir (tangki), maka kolom fluida hidrolik mengisi pompa dengan tekanan positif dan tekanan vakum pada saluran masuk terhindar.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

- (2) Pengangkatan minimal pada saluran masuk pompa untuk menjaga tekanan vakum (tekanan penyedotan) rendah atau sekurang-kurangnya di atas batas tekanan penguapan.
- (3) Saluran masuk pompa harus cukup lebar untuk menjaga kecepatan aliran di bawah 1 m/detik, dan harus cukup pendek untuk membuat penurunan tekanan minimal.

Baut-baut penyambung khususnya pada ulir dan saluran-saluran pada saluran masuk pompa tidak menyambung dengan baik, udara pada tekanan atmosfer dapat tersedot ke dalam aliran dan akan terbawa melalui pompa (prosesnya sama dengan gelembung-gelembung udara yang mengakibatkan kavitasi). Campuran udara dan oli menyebabkan pompa bersuara berisik berlebihan dan dapat mengerosi logam tetapi agak sedikit berbeda dengan kavitasi. Udara yang masuk dan terkompresi pada saluran keluar pompa, membentuk suatu peredaman udara dalam fluida hidrolis yang tak dapat teratasi oleh fluida, tetapi meneruskannya ke sistem. Buih pada fluida hidrolis sebagai hasil dari masuknya udara ke dalam sistem akan menyebabkan kerugian pada kontrol elemen penggerak serta panas lebih.

Ada beberapa cara untuk mengatasi hal itu seperti :

- mengeraskan sambungan-sambungan yang kendur dan mengganti pipa saluran masuk yang bocor atau retak-retak sehingga udara masuk ke saluran terhindarkan,
- batas permukaan fluida hidrolis tetap dijaga di atas batas saluran masuk untuk mencegah pusaran fluidanya,
- menghindarkan pembuihan dari saluran kembali ke tangki (reservoir )
- penyekatan yang baik terutama pada penyekat poros pompa untuk mencegah udara terisap ke dalam pompa.

*Pompa adalah pembangkit aliran bukannya tekanan*

Seringkali dianggap bahwa pompa adalah pembangkit tekanan fluida, tetapi sebenarnya tujuan utama pemakaian pompa hidrolis adalah untuk memproduksi aliran. Sedang tekanan adalah gaya persatuan luas dan ditimbulkan oleh adanya hambatan untuk mengalir. Pompa direncanakan sebagai mekanik pembangkit untuk menghasilkan aliran, sesuai dengan peningkatan tekanannya. Tetapi pompa sendiri tidak bisa menghasilkan tekanan, karena pompa tidak dapat memberikan perlawanan terhadap alirannya.

Tekanan akan hilang apabila seluruh aliran dan pompa ke luar melalui torak pada elemen penggerak. Begitu pula kebocoran pada torak akan mempengaruhi kecepatan torak elemen penggerak, karena dua pertiga aliran pompa akan kembali ke tangki tanpa melakukan kerja. Dengan demikian, kecepatan torak yang dimaksudkan juga berkurang dua pertiganya.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Perangkat pompa hidrolis dibuat dalam berbagai ukuran dan bentuk, dengan berbagai mekanik penggerak dan tujuan pemakaian yang berbeda pula. Akan tetapi seluruh jenis pompa dapat dibedakan menjadi dua kategori dasar yaitu hidrodinamik dan hidrostatik.

Jenis pompa hidrodinamik atau disebut juga : pompa pemindahan non-positif seperti : pompa sentrifugal atau turbin, digunakan terutama dalam pemindahan fluida. Perlawanan atau hambatan yang dijumpai ditimbulkan oleh berat dan gesekan fluidanya sendiri. Hampir semua jenis pompa pemindahan non-positif bekerja dengan gaya sentrifugal, maka sering disebut dengan pompa sentrifugal.

Fluida yang masuk ke dalam rumah pompa dilempar ke luar (menjauhi poros) dengan memakai impeler. Pada jenis pompa ini tidak menggunakan penyekat yang menahan antara lubang saluran masuk dan ke luar, kemampuan tekanannya adalah fungsi dari kecepatan berputarnya.

Karena jenis non-positif memberikan aliran terus-menerus yang halus, maka aliran keluarannya berkurang akibat perlawanan yang bertambah. Dan sangat memungkinkan untuk menutup seluruh aliran keluarannya sementara pompa dalam keadaan bekerja (jalan). Karena alasan ini serta alasan-alasan lainnya pompa-pompa pemindahan non-positif jarang digunakan dalam sistem hidrolis seperti ada di pasaran akhir-akhir ini.

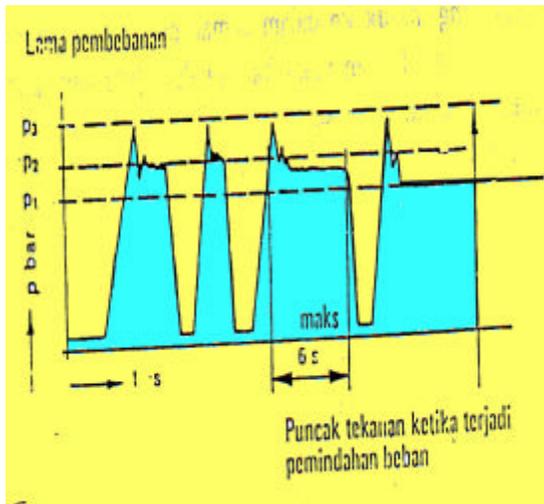
Sedangkan untuk jenis hidrostatik atau pompa pemindahan positif seperti apa yang dinyatakan pada istilahnya adalah adanya sejumlah fluida untuk setiap langkah, putaran atau siklus yang diberikan. Volume fluida yang mengalir per-satuan waktu kecuali kerugian-kerugian kebocoran tidak tergantung pada tekanan pengeluarannya sehingga sangat cocok untuk penggunaan dalam transmisi tenaga.

#### 3.7.2. Kelas pompa

Tekanan operasi (kerja) maksimum (kPa atau bar), volume aliran (liter/menit) pada kecepatan putar poros pompa (rpm), dan pemindahan geometris per putaran poros pompa ( $m^3$ ) adalah tiga faktor utama yang menentukan kelas pompa. Kelas ini ditentukan oleh pabrik pembuat. Apabila dalam penggunaan melebihi ketentuan-ketentuan di atas akan dapat menyebabkan berkurangnya umur pemakaian pompa, atau kerusakan fatal pada pompa dan sistem hidrolis. Sehingga kelas-kelas pompa diberikan untuk membedakan kondisi kerja, seperti:

- tekanan pelepasan maksimum untuk operasi terus-menerus,
- tekanan maksimum untuk operasi sebentar (sementara),
- tekanan puncak maksimum, hanya untuk puncak-puncak pendek

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



Perhatikan gambar 3.44. Volume aliran (pemindahan) suatu pompa dapat dinyatakan dengan volume alirannya setiap putaran poros pompa ( $L$ ), atau dapat dikatakan juga aliran nominal rata-rata dalam  $L$ /menit. Kelas pompa ini secara luas telah banyak digunakan. Pemindahan (kadang-kadang juga disebut pemindahan geometris) adalah volume fluida hidrolis yang dipindahkan melalui pompa dalam satu putaran poros pompa.

Gambar 3.44 Variasi tek maks kelas pompa

Pompa bisa direncanakan untuk volume pemindahan variabel (dapat diubah-ubah) atau tetap, tergantung pada perencanaan dan penggunaannya dalam sistem hidrolis. Arah aliran dari pompa pemindahan variabel kadang-kadang dapat juga dibalik tanpa mengubah arah putaran poros pompa.

Sebenarnya pompa-pompa hidrolis tidak pernah dipilih berdasarkan pada empiris. Faktor-faktor penting seharusnya ditentukan dan dipertimbangkan sebelum pompa sebenarnya dapat ditentukan. Faktor-faktor itu adalah :

- tekanan maksimum yang diperlukan sistem untuk menghasilkan gaya ke luar yang cukup dengan elemen penggerak,
- aliran maksimum (puncak) atau aliran rata-rata yang diperlukan, apabila sistem menggunakan akumulator,
- daya guna pompa, kesesuaian operasi, pemeliharaan ringan, harga pembelian awal, dan kebersihan pompa.
- kontrol aliran pompa selama sistem berada dalam tahap tak bergerak, pemindahan tetap, dan pemindahan tak tetap.

Pompa-pompa pemindahan tak tetap dengan kontrol kompleks lebih banyak dipakai pada perindustrian. Harga pembelian pompa ini dapat sepuluh kali lipat harga pompa pemindahan tetap. Walau demikian keuntungan-keuntungan itu mengimbangi harga yang mahal jika perawatan terjaga dan kerumitan sistem dapat disederhanakan.

Semua pompa hidrolis merupakan pembangkit aliran. Pompa itu bekerja pada prinsip yang disebut dengan "pemindahan". Fluida cair

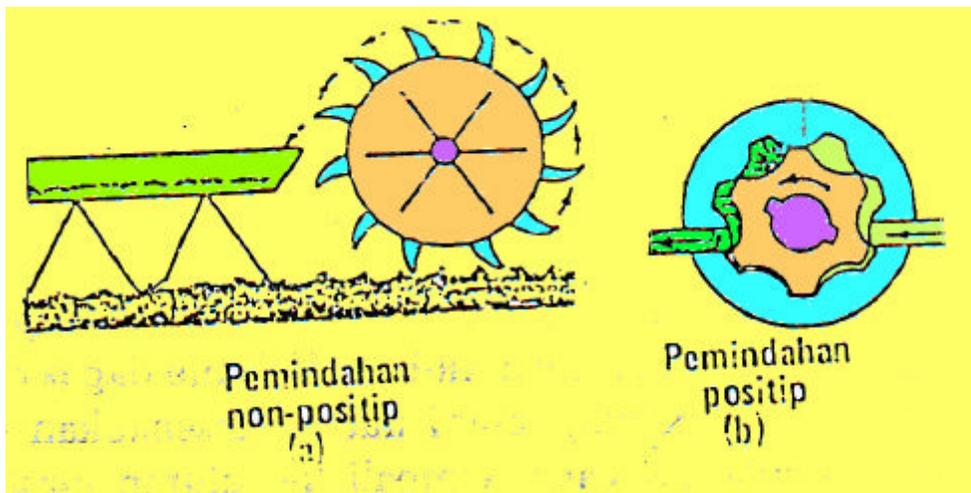
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

disedot ke dalam dan kemudian dipindahkan ke lain titik atau tempat. Oleh karena itu istilah "hidrolis" berarti suatu hal yang mempelajari tentang gerakan fluida atau fluida yang bergerak khususnya fluida cair. Oleh karena itu setiap pompa yang memindahkan fluida dari satu titik ke titik yang lain dinamakan pompa hidrolis. Tetapi sekarang, "hidrolis" berarti suatu ilmu yang mempelajari tekanan fluida dan aliran fluida dalam gerakan positif untuk melakukan kerja.

Sebagaimana telah disinggung di depan bahwa sistem pemindahan pompa dapat dibedakan menjadi dua macam cara:

- Pemindahan non-positif
- Pemindahan positif.

Bagaimana sistem itu bekerja dapat dilihat pada Gambar 3.57.



Gambar 3.45 Sistem pemindahan pompa

Seperti terlihat pada Gambar 3.45 bagian (a) sudu-sudu air menunjukkan aspek pemindahan non-positif. Sistem ini memperlihatkan bahwa fluida hanya sekedar terbawa bebas dan dipindahkannya. Sehingga volume dan tekanan hasil pemindahannya tidak dapat dipastikan. Dan biasanya sistem ini hanya dipakai pada alat-alat pertanian. Tetapi gambar bagian (b) menunjukkan pompa dengan sistem pemindahan positif. Mengapa demikian? Pompa sistem ini adalah yang belakangan ini banyak digunakan dalam sistem hidrolis modern. Pompa hidrolis bukan hanya membangkitkan aliran, tetapi juga mendorong aliran tersebut. Sekat (seal) di sekeliling roda gigi menjerat sejumlah fluida dan menahannya kemudian bergerak. Karena fluida mengalir keluar menuju sisi gigi yang lain, fluida tertutup kemudian meluap. Penyekatan (*sealing*) adalah bagian "positif" dari pemindahan. Tanpa penyekat fluida tidak akan pernah mengatasi perlawanan atau hambatan dari bagian-bagian lain dari sistem. Ketika

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

dibutuhkan tekanan tinggi dalam suatu rangkaian, pompa pemindahan positif merupakan keharusan.

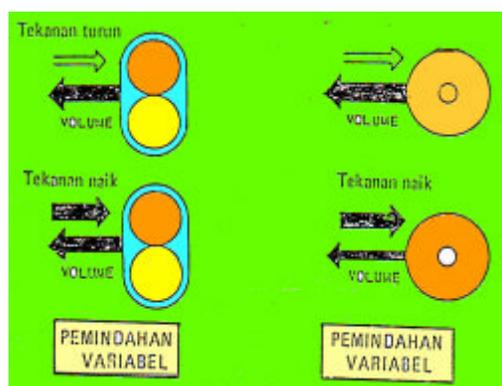
Hal ini yang dipakai dalam seluruh sistem hidrolis modern yang menggunakan tenaga fluida. Dalam sistem tekanan rendah seperti pendinginan air atau untuk penyiraman/ penyemprotan, penggunaan sistem pemindahan positif merugikan, tetapi lebih banyak digunakan sistem pemindahan non-positif. Dan dalam buku ini hanya akan membahas sistem pemindahan positif.

Kemudian dilihat dari segi volume pemindahan yang dihasilkan, pompa hidrolis dibedakan menjadi dua bagian pula, yaitu:

- Pompa pemindahan tetap (fixed).
- Pompa pemindahan berubah-ubah (variable).

Pada pompa pemindahan tetap, pompa akan menggerakkan atau memindahkan sejumlah volume oli yang sama dalam setiap putaran (cycle). Volume ini hanya akan berubah apabila kecepatan putar pompa (rpm) juga diubah. Volume dapat dipengaruhi oleh tekanan dalam sistem, tetapi hal ini disebabkan oleh suatu penambahan kebocoran yang kembali ke saluran masuk pompa.

Biasanya terjadi pada waktu tekanan bertambah. Karena kebocoran ini maka pompa dengan pemindahan tetap biasa ditemukan dalam sistem tekanan lebih rendah atau sebagai pembantu pompa yang lain dalam suatu sistem tekanan yang lebih tinggi. Pada pompa dengan pemindahan tidak tetap (variabel) dapat memberikan volume pemindahan olinya bervariasi dalam setiap putaran, bahkan pada kecepatan putaran yang sama sekalipun. Pompa jenis ini mempunyai suatu mekanik di bagian dalam yang mengubah hasil pemompaan (out-put) oli, dan biasanya dipakai untuk menjaga tekanan konstan dalam suatu sistem. Seperti terlihat dalam Gambar 3.46, ketika tekanan sistem menurun, volume akan bertambah. Dan sewaktu tekanan bertambah, volume akan menurun.



Gambar 3.46 Perbandingan sistem pemindahan pompa

Sistem pemindahan dalam suatu pompa hidrolis sangat berguna dalam menentukan jenis katup pengarah yang akan dipakai dalam suatu rangkaian hidrolis. Sistem mana yang cocok dipakai juga akan sangat tergantung bagaimana sistem rangkaian hidrolis itu bekerja, dan untuk apa serta berapa tekanan yang diperlukan merupakan pertimbangan yang sangat menentukan.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Hal yang perlu diingat bahwa pompa hidrolis tidak menimbulkan tekanan, tetapi memproduksi atau menimbulkan aliran. Tekanan disebabkan oleh hambatan atau perlawanan dalam aliran.

#### 3.7.3. Jenis-jenis pompa hidrolis

Telah diuraikan di muka tentang apa itu pompa hidrolis, apa yang dapat mereka lakukan, dan bagaimana pompa bekerja. Berikut akan diuraikan jenis-jenis pompa beserta cara kerjanya.

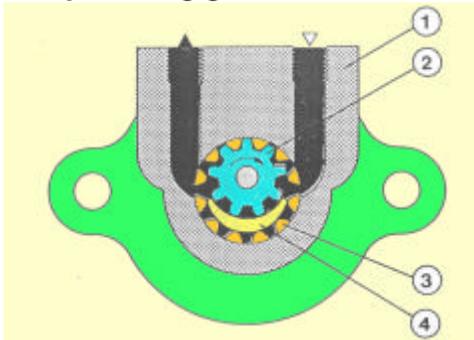
##### **Pompa roda gigi**

Penggunaan pompa roda gigi sangat luas, dan belakangan ini banyak sekali dipakai oleh kalangan industri baik menengah maupun berat. Banyak orang mengatakan bahwa pompa roda gigi adalah "bungkusan tenaga kuda" dari sistem hidrolis, karena memang pompa jenis ini terkenal dengan bentuknya yang sederhana dan hemat digunakan. Apalagi bila memerlukan tempat yang sedikit tetapi harus mampu memproduksi tekanan yang tinggi maka pompa roda gigi lah yang tepat dipakai. Karena pada prinsipnya pompa jenis rotasi akan lebih sedikit makan tempat jika dibandingkan dengan pompa langkah (pompa torak). Pompa jenis roda gigi tidak bisa untuk memenuhi kebutuhan yang memerlukan pemindahan berubah-ubah. Pompa ini dapat memproduksi volume pemindahan yang diperlukan oleh hampir setiap sistem yang menggunakan pemindahan tetap. Seringkali pompa ini digunakan sebagai pompa-pompa pengisi untuk sistem pompa yang lebih besar dari jenis-jenis yang lain. Pompa dengan prinsip mekanik roda gigi sebagai pencatu aliran fluida, dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

- Pompa roda gigi dalam
- Pompa roda gigi luar.

Untuk lebih jelasnya berikut ini akan dikupas satu persatu.

##### **Pompa roda gigi dalam**

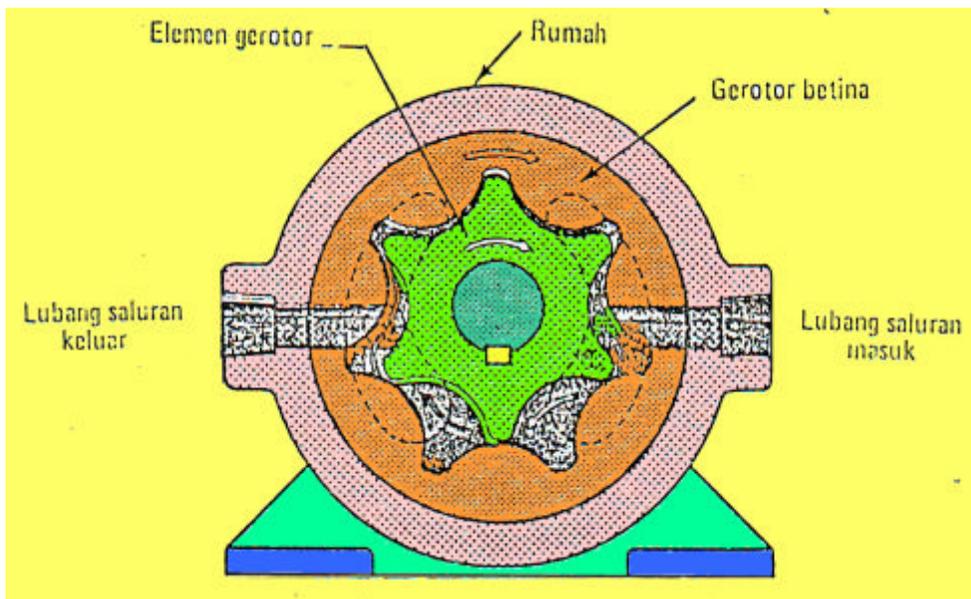


Jenis pompa roda gigi dalam ini biasanya mempunyai dua roda gigi yang berpasangan. Profil gigi yang dipakai adalah profil gigi lurus, dan roda gigi kecil terletak di dalam roda gigi besar. Pasangan roda gigi harus berada pada satu sisi roda gigi yang lebih besar, dan pasangan kedua roda giginya terbagi pada sisi-sisi yang lain dengan pemisah berbentuk bulan sabit (4).

Gambar 3.47 Pompa roda gigi dalam

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Poros pemutar memutar roda gigi kecil, yang selanjutnya memutar roda gigi yang lebih besar. Kedua roda giginya berputar searah. Jenis pompa ini mempunyai rumah (1) yang mana sepasang roda gigi berputar dengan ayunan aksial dan radial yang sangat kecil (sempit). Mulut pengisapan (saluran masuk pompa) dihubungkan ke tangki penampung oli, dan saluran ke luar (tekan) dihubungkan ke sistem hidrolis. Roda gigi dalam (2) digerakkan dalam arah seperti arah anak panah, kemudian memutar roda gigi pasangannya (3) searah. Gerakan memutar menyebabkan roda gigi terpisah, sehingga ruangan antara keduanya bebas. Tekanan negatif (vakum) disebabkan oleh ruang bebas ini, dan tekanan atmosfer pada batas permukaan oli (fluida) dalam tangki menyebabkan fluida tersebut bergerak tersedot dari tangki menuju pompa. Dan banyak orang pada umumnya menyebut "isapan pompa". Fluida mengisi ruangan antara kedua roda gigi yang membentuk ruangan mendekati bentuk bulan sabit (4), selama gerakan (putaran) berlangsung, kemudian didorong menuju sisi tekan. Gigi-gigi yang ikut berputar di belakangnya menahan (membawa) fluida kemudian mendorongnya menuju sisi tekan, demikian seterusnya. Jadi sewaktu pasangan gigi lepas, fluida terjat di antara gigi-giginya (sela-sela gigi). Kemudian setelah pasangan gigi lepas lagi, hambatan terbentuk yang mencegah fluida untuk kembali. Aliran fluida yang terus-menerus menuju saluran tekan mendorong fluida sebelumnya ke dalam rangkaian sistem. Jenis lain dari pompa roda gigi dalam adalah pompa gerotor seperti terlihat pada Gambar 3.60.



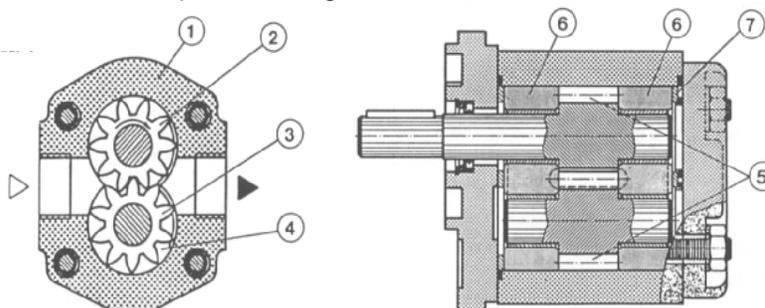
Gambar 3.48 Pompa gerotor

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Pasangan antara roda gigi bagian dalam berpasangan dengan roda gigi dalam bagian luar yang mana keduanya bersifat sebagai rotor dan berputar di dalam stator atau disebut juga rumah pompa. Titik pusat stator (rumah) dengan titik pusat rotor tidak sama, sehingga sewaktu rotornya berjalan akan membentuk putaran ayunan yang berfungsi sebagai isapan dan tekanan (lihat Gambar 3.48). Apabila diperhatikan pada kedua rotornya mempunyai selisih satu gigi (lobe). Rotor dalam mempunyai gigi lebih sedikit, sehingga hanya satu gigi dalam posisi bergenggaman penuh dengan ring luarnya pada setiap saat. Posisi seperti ini akan memberi kesempatan gigi-gigi yang lain untuk meluncur pada gigi ring luarnya yang merapat sehingga mencegah fluidanya untuk kembali mundur. Karena gigi ring dalam meluncur dan bergerak maju pada gigi ring luarnya, fluida akan terus menerus tersedot. Dan sewaktu gigi berada pada rongga (salman) ringnya, fluida akan tertekan ke luar.

#### **Pompa roda gigi luar**

Sama halnya dengan pompa roda gigi dalam, pada jenis ini juga mempunyai dua gigi yang berpasangan dan keduanya terpasang dalam satu rumah. Poros pemutar menggerakkan salah satu roda gigi dan kemudian menggerakkan roda gigi pasangannya. Operasinya sangatlah sederhana dan mudah, perhatikan gambar 3.49.



Gambar 3.49 Pompa roda gigi luar

Kedua roda gigi terpasang dalam satu rumah yang mempunyai saluran masuk dan saluran ke luar. Titik pusat atau sumbu roda gigi tidaklah sama (tidak seporos). Kelonggaran yang terjadi pada kedua roda gigi terhadap rumahnya akan sangat mempengaruhi terhadap kebocoran maupun efisiensi. Sewaktu gigi penggerak berputar searah anak panah (Gambar 3.49), maka gigi pasangannya akan berputar berlawanan. Dengan demikian sejumlah oli yang berada pada sela-sela pasangan kedua gigi pada saluran masuk akan terlempar masuk dan terbawa oleh gigi-gigi itu menuju saluran ke luar. Roda gigi terus berputar dan akhirnya fluida itu akan tertampung pada saluran keluar sehingga terdorong dan mengalir

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

keluar. Faktor yang sangat mempengaruhi volume fluida yang dapat dipompa adalah ukuran dari profil gigi, diameter nominal roda gigi, beserta kebocoran-kebocoran. Untuk itu dalam pompa roda gigi luar penyekat (seal) memegang peranan dalam mengatasi kebocoran-kebocoran. Beberapa pompa roda gigi menggunakan rumah pompa yang dipadukan, untuk menaikkan angka efisiensi. Paduan rumah pompa di sini dimaksudkan untuk memudahkan dalam pemasangan roda-roda giginya, demikian pula penyekat yang berfungsi sebagai penahan atas kebocoran. Karena demikian sudah jelas bahwa efisiensi akan bertambah. Jarak antara diameter kepala gigi terhadap rumahnya juga akan mempengaruhi kebocoran. Sehingga besar ruang antara ini mempunyai harga-harga toleransi tertentu. Dan biasanya tergantung pada negara pembuat dan untuk apa pompa itu digunakan. Apabila toleransi ayunan terlalu besar maka akan mengakibatkan kebocoran yang tinggi dan gesekan rendah. Tetapi sebaliknya apabila toleransi telah kecil maka akan menimbulkan gesekan yang tinggi, dan kebocoran yang sangat rendah. Kebanyakan ditemui dan direncanakan toleransi ayunan (arah aksial maupun radial roda gigi) dalam kondisi jarak antara (space) yang membentuk ruangan kecil dan terpasang tetap. Sehingga kebocoran akan meningkat paralel dengan penambahan ausnya.

Akibat kebocoran volume per satuan waktu (debit) juga akan menurun, hal ini juga sejalan dengan keausan yang timbul. Bantalan yang menahan pada kedua sisi roda gigi akan dipengaruhi oleh tekanan sistem. Oleh karena itu akan menyebabkan derajat efisiensi yang tinggi, bebas pada tekanan dan kecepatannya. Pada jenis pompa ini akan dapat memindahkan volume fluida 3,5 - 100 cm<sup>3</sup>/ putaran, dan mampu memproduksi tekanan sampai 250 bar.

#### ***Pompa sudu-sudu***

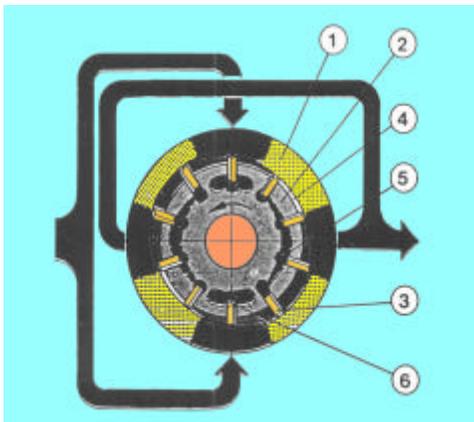
Jenis pompa sudu-sudu adalah pompa serba guna dan dapat direncanakan sebagai pompa tunggal, dobel, atau bahkan ganda tiga dalam satu unit pompa. Semua pompa sudu-sudu memindahkan fluida dengan menggunakan suatu alur memutar yang berfungsi sebagai rotor dengan sudu-sudu yang terpasang di dalamnya (di dalam alur). Pompa sudu-sudu jenis ini terdiri dari dua macam pompa yang banyak digunakan:

- Pompa sudu-sudu seimbang (balanced)
- Pompa sudu-sudu tidak seimbang (unbalanced)

Pompa sudu-sudu seimbang bekerja dengan sistem pemindahan tetap. Dan pompa sudu-sudu tidak seimbang dapat berupa pemindahan tetap atau pemindahan variabel.

#### **Pompa sudu-sudu seimbang**

Di dalam pompa sudu-sudu seimbang rotor digerakkan oleh poros penggerak dan berputar di dalam cincin rotor. Sudu-sudu yang terpasang di dalam alur-alur rotor bebas untuk bergerak ke arah radial ke luar maupun ke dalam. Bagian seimbang dari pompa jenis ini ditunjukkan oleh posisi saluran di (lihat Gambar 3.50). Pompa mempunyai dua saluran masuk, dan terpasang berhadapan satu sama lain. Demikian juga saluran keluarnya juga dua buah dalam posisi saling berhadapan. Kedua saluran masuk dan saluran keluarnya dihubungkan ke pusat saluran masuk dan keluarnya. Dan setiap poros berputar  $90^\circ$  akan mengalami pergantian dari saluran masuk dan saluran keluar atau sebaliknya.



Gambar 3.50 Pompa sudu seimbang

Pada pompa sudu-sudu seimbang ini terutama terdiri dari rumah, bubungan (1) dan rotor (2) dengan sudu-sudu atau lazim disebut daun pompa (3). Bubungan (1) mempunyai suatu permukaan lunturn dalam pada desain dubel eksentrik. Rotor sebagai poros penggerak. Pada kelilingnya, dua sudu-sudu (3) atau sudu-sudu dubel, yang dapat ditekan satu terhadap lainnya, terpasang secara radial pada alur-alur beraturan.

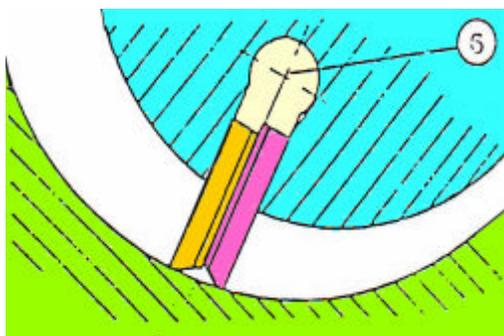
Sewaktu rotor diputar, gaya sentrifugal dan tekanan sistem di belakang sudu-sudu mendorong sudu-sudu yang dapat bergerak secara radial ke arah luar. Sudu-sudu telentang dengan tepi luarnya menekan lunturn dalam bubungan. Alur (ruangan pembawa) terbentuk oleh dua pasang sudu-sudu, rotor, bubungan dan cakram pengontrol pada bagian tepi. Sedangkan penyedotan (suction) dan pengeluaran (sisi bertekanan) fluida berlangsung dengan memakai cakram pengontrol (tidak terlihat).

Untuk mempermudah dalam pemahamannya dapat dilihat pada Gambar 3.50. Pelepasan aliran (flow delivery), rotor digerakkan sesuai arah anak panah. Mendekati saluran masuk (bagian bawah dan atas), sudu-suda (4) masih terlalu sempit. Jika rotor diputar lebih lanjut, ruangan yang terbentuk (sudu-sudu) akan bergeser keluar atau mengembang dan akan terisi oleh oli. Apabila ruangan penekan ini sudah mencapai ukuran maksimum (jarak terbesar dari ruangan lunturn dalam menuju titik pusat rotor), ruangan itu terpisah dari sisi penyedotan dengan memakai cakram pengontrol (pengatur). Kemudian ruangan itu terhubung dengan sisi tekanan (saluran keluarnya). Sudu-sudu terdorong menuju alurnya oleh

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

bentuk lengkungan pada bubungan. Volume ruang antara bertambah sekali lagi, dengan demikian fluida tertekan menuju sisi tekan. Karena lingkungan bubungan dirancang sebagai dobel eksentrik setiap sudu-sudu terlibat dalam prosos pelepasan sebanyak dua kali setiap putaran. Pada waktu yang sama, dua ruangan isap, dan dua ruangan tekan terbentang berhadapan satu sama lain dengan demikian poros penggerak secara hidrolis tak berbeban. Tekanan dipakai pada bagian belakang vane (sudu-sudu) (5). Akan tetapi dobel penyekatan selalu dipenuhi di samping dobel sisi penyekatan.

Seperti terlihat pada Gambar 3.51, supaya gesekan tidak begitu besar, kedua sudu-sudu dalam satu alur rotor mempunyai pinggulan yang berhadapan satu sama lainnya.



Pinggulan pada sudu-sudu menyebabkan tekanan seimbang antara luncuran maju dan mundur. Permukaan melingkar sudu-sudu tetap sebagai permukaan singgung untuk tekanan. Tekanan singgung lebih tinggi pada sisi isap tidak perlu. Oleh karena itu sisi belakang sudu-sudu (6) tak berbeban terhadap tangki.

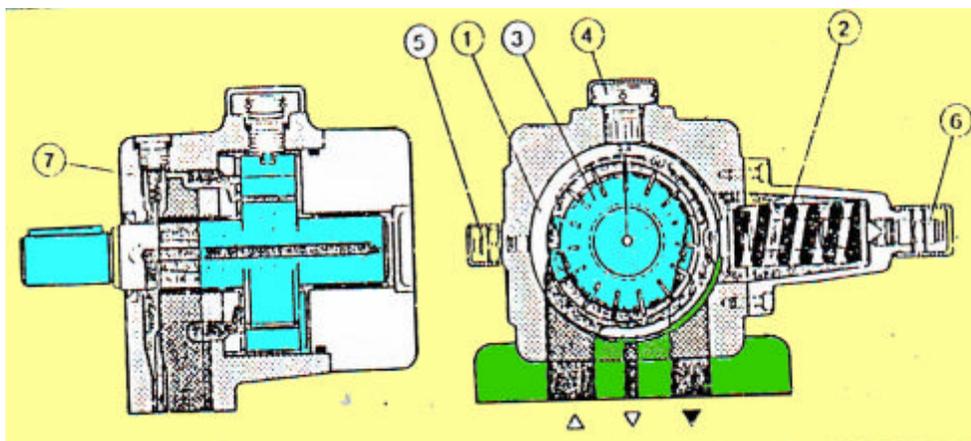
Gambar 3.51 Sudu-sudu pompa hidrolis

Dengan menggunakan dua elemen pompa (rotor, bubungan) cakram pengatur pada satu poros dalam satu rumah, pompa dobel dengan satu saluran masuk dan dua saluran tekanan sering digunakan pada pompa-pompa hidrolis untuk industri.

Pompa sudu-sudu dengan tekanan dan pemindahan berubah-ubah. Jenis pompa ini volume pemindahan (pelepasan) dapat diatur pada tekanan operasi maksimum. Proses hantaran mengikuti prinsip pada pompa pemindahan tetap yang telah diuraikan di depan. Dalam jenis ini bubungan adaiah cincin melingkar konsentris. Pegas (2) mendorong bubungan ke dalam posisi saluran keluar terhadap rotor (lihat Gambar 3.52).

Eksentrisitas maksimum dan volume pemindahan maksimum dapat diatur dengan memakai baut (5). Gaya penekanan pegas juga dapat diatur dengan memakai baut (6). Untuk mengatur gerak tangensial bubungan memakai sekrup pengatur (4). Tekanan yang terbentuk oleh karena perlawanan kerja (silinder dengan beban pemakai) mempengaruhi permukaan luncuran dalam bubungan pada sisi tekanan.

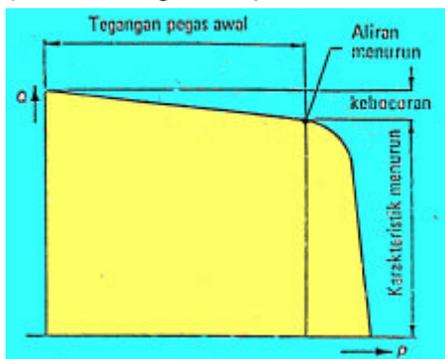
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.52 Pompa sudu dengan tekanan & pemindahan variabel

Hal ini menyebabkan suatu gaya horisontal komponen yang beroperasi melawan pegas. Apabila gaya tekanan melebihi gaya penyetelan pegas (tekanannya sama), cincin bubungan bergerak dari eksentrik menuju posisi nol. Kemudian eksentrisitas berkurang. Hantaran aliran menyesuaikan sendiri dengan batas yang diperlukan oleh pemakai. Apabila tidak ada fluida diambil oleh pemakai dan tekanan penyetelan dicapai, pompa mengatur aliran hampir menuju nol. Tekanan operasi terjaga, dan hanya kebocoran oli dilepaskan. Karena demikian, rugi tenaga dan panas dari fluida tetap berada pada batas minimum.

Kurva  $Q - p$  menunjukkan kelakuan dari pada pompa. Sewaktu tegangan pegas awal dicapai, cincin bubungan bergerak. Aliran menurun, dan tekanan tetap. Gradien daripada kurva sangat tergantung pada karakteristik pegas, dengan mana gradien dengan pegas tertentu dan tekanan berbeda akan berubah-ubah. Untuk memperbaiki sensitifitas tanggapan, pompa dapat dipasang dengan empat pegas yang berbeda (sesuai dengan empat batas tekanan).

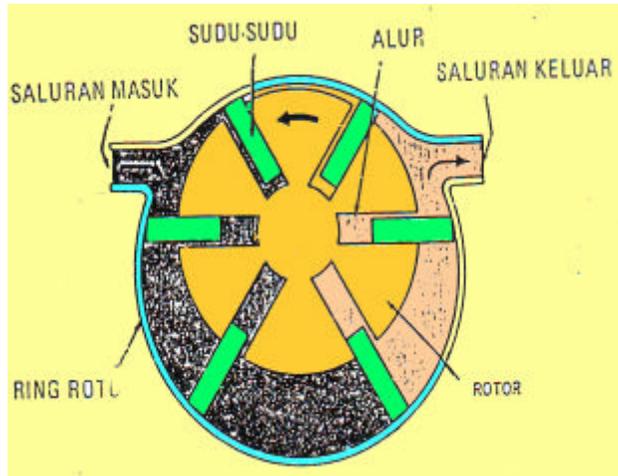


Gambar 3.53 Kurva  $Q-p$

Katup popet (poppet valve) terdorong kembali oleh pegas, dan katup terbuka. Katup tetap terbuka udara keluar pada waktu menghidupkan awal. Apabila fluida mengalir melalui katup, popet tertekan melawan pegas dan hubungan tertutup rapat-rapat. Jenis pompa ini mampu mencapai volume pelepasan sampai  $47 \text{ cm}^3/\text{putaran}$  dan tekanan operasi sampai 100 bar.

#### *Pompa sudu-sudu tidak seimbang*

Pada pompa jenis ini menggunakan prinsip yang sama seperti putaran rotor dengan sudu-sudu bekerja di dalam ring rotor tetap. Meski demikian siklus operasi hanya terjadi sekali pada setiap putaran (lihat Gambar 3.58). Dengan demikian pompa ini hanya mempunyai satu saluran masuk dan satu saluran ke luar.



Gambar 3.58 Pompa sudu tidak seimbang

Juga alur-alur pada rotor terpasang pada cincin melingkar. Dalam operasinya, ruangan oli mulai mengembang pada saluran masuk, dan berakhir mengecil pada saluran ke luar pompa. Oli tersedot masuk oleh vakum parsial (sebagian), dan terdorong keluar oleh penyusutan ruangan, sama halnya pada pompa sudu-sudu seimbang.

Meski demikian, rancangan pompa sudu-sudu tidak seimbang berbeda dengan jenis seimbang.

Sudu-sudu berputar sesuai arah panah pada Gambar 3.66, dari ruangan yang sempit kemudian mengembang akan terjadi tekanan lebih kecil dari tekanan atmosfer. Dengan demikian oli dari saluran masuk akan tersedot ke dalam. Karena gaya sentrifugal sudu-sudu akan terlempar ke luar pada waktu berputar. Sehingga akan membawa fluida yang tersedot dari saluran masuk. Fluida akan terbawa sudu-sudu menuju saluran ke luar. Konstruksi daripada pompa mengecil pada saluran keluarnya bertujuan untuk menaikkan tekanan dan juga kecepatan alirannya. Lain daripada itu juga menghendaki agar fluida yang terbawa oleh sudu-sudu tidak kembali lagi ke saluran masuk karena hal ini termasuk rugi-rugi karena kebocoran.

#### ***Perbandingan pompa sudu-sudu seimbang dan tidak seimbang.***

Pada pompa sudu-sudu tidak seimbang cenderung untuk mempercepat rusaknya bantalan akibat beban yang tidak seimbang dan tidak merata. Penyebabnya diperlihatkan pada penekanan poros dan bantalan dari tekanan balik oli yang dibuang pada sisi saluran keluar pompa. Tidak pernah dialami gaya yang sama terbawa pada sisi

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

berlawanan, semenjak saluran masuk oli berada di bawah atau tak bertekanan sama sekali.

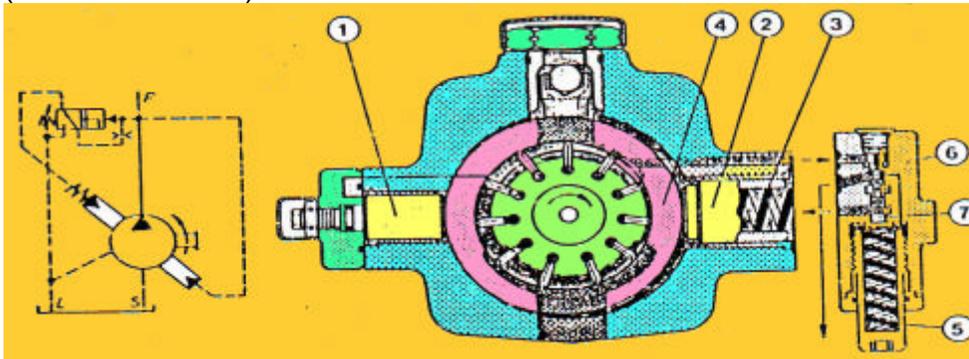
Pompa sudu-sudu seimbang adalah pemecahannya. Untuk menghilangkan ketidakseimbangan tekanan ke luar pada poros, dua saluran keluar digunakannya dan peletakan lubang-lubang tersebut saling berhadapan (membentuk sudut  $180^\circ$ ). Persamaan gaya yang diterima pada poros memperpanjang umur kerja bantalan, dan membuat umur kerja pompa juga lebih lama.

Sementara pompa sudu-sudu seimbang memecahkan satu masalah, tetapi hanya dapat digunakan pada pemindahan tetap. Posisi saluran ke luar tidak dapat diubah atau mungkin keseimbangan menjadi terganggu.

Jenis pompa tidak seimbang dapat digunakan baik untuk pemindahan tetap atau pemindahan variabel. Dengan rancangan khusus, posisi cincin rotor dan saluran oli dapat diubah sehubungan dengan keseimbangan rotornya. Perubahan ukuran ruangan ini terbentuk oleh sudu-sudu yang meluncur pada alumnya, sehingga mempengaruhi volume oli yang terbawa. Hasilnya adalah pemindahan variabel. Sehingga dua pompa sudu-sudu memberikan pilihan: (1) umur pemakaian lebih lama atau; (2) pengoperasian yang lebih luwes. Pilihan kedua untuk beberapa sistem hidrolis tergantung pada kerja yang harus dilakukan.

#### **Pompa sudu-sudu jenis V4**

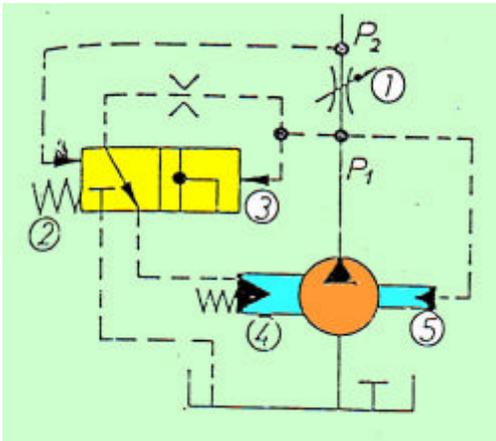
Rancangan dasar model V4 serupa dengan pompa-pompa seimbang sebelumnya, terpasang dengan pemindahan variabel. Proses pengisapan dan hantaran secara bersamaan. Pada pompa jenis ini menggunakan sudu-sudu ganda. Sama halnya dengan pompa pemindahan tetap, juga mempunyai dua sudu-sudu pada setiap alur rotornya. Sehingga menyebabkan dua penyekatan tepi dan kontak tekanan rendah, karena hidrolis tak berbeban pada daerah transisi. Perbedaan kedua adalah pada jenis kontrolnya. Cincin bubungan terpasang antara torak (1) dan (2) di bawah tekanan sistem dengan perbandingan luas penampang kira-kira 1:2 (lihat Gambar 3.59).



Gambar 3.59 Pompa sudu-sudu jenis V4

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Pegas (3) relatif lemah pada torak yang lebih besar untuk melindungi fungsinya ketika menghidupkan awal. Ia menekan cincin bubungan (4) sewaktu diam dan menggerakannya ke dalam posisi eksentrik pada awal bekerja (hidup). Tekanan operasi maksimum yang diperlukan disetel pada pegas (5) pada katup pengatur tekanan (6). Pegas (5) sekarang menahan batang silindris (7) dalam posisi saluran ke luar seperti ditunjukkan pada Gambar 3.67. Sewaktu penyetelan tekanan tercapai, batang silindris dalam katup pengontrol terdorong dan ruangan di belakang torak yang besar (2) dihubungkan ke tangki melalui lubang saluran L. Torak kecil (1) sekarang dapat menggerakkan cincin bubungan. Pompa hanya menghantarkan sejumlah yang diperlukan. Karena bubungan diatur secara hidrolis, dan bukan memakai pegas, kurva Q-p secara praktis menjadi vertikal. Ia bergerak tetap paralel, ketika disetel tekanan yang lebih tinggi. Peralatan kontrol yang lain dapat juga dipasang, sesuai penyetelan hidrolis daripada bubungannya. Sebagai contoh adalah pengontrol aliran dengan sistem mekanik.



Perbedaan tekanan ( $p_1-p_2$ ) dari katup penutup (1) dihubungkan dengan saluran P bekerja melawan gaya pegas (2) pada batang silindris katup pengatur (3). Batang pengatur silindris dengan ini bekerja sebagai penyeimbang tekanan dari suatu katup pengontrol aliran (lihat Gambar 3.60).

Gambar 3.60 Diagram Pengatur Aliran

Ia akan menahan perbedaan tekanan tetap antara 6 - 8 bar sesuai dengan gaya lawan pegas. Sebagai contoh bagian aliran pada katup penutup menurun, perbedaan tekanan bertambah dan menekan batang silindris pengatur dalam arah pegasnya. Kontrol masuk kemudian terbuka yang menyebabkan pinggulan di belakang batang pengatur silindris besar (4) menjadi tak berbeban ke reservoir dan cincin bubungan terdorong oleh batang pengatur silindris yang lebih kecil (5) ke eksentrisitas yang lebih kecil. Ini membawa sampai aliran pompa berkurang ke derajat yang perbedaan tekanan kontrolnya 6 - 8 bar tercapai kembali.

Unit-unit kontrol tambahan berikut dapat dipasang :

- pengontrol tekanan dengan jenis kontrol yang berbeda
- pengatur (pengontrol) tekanan aliran
- pengontrol tenaga.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Jenis pompa ini mampu mencapai volume pemindahan sampai 125 cm<sup>3</sup>/putaran dan tekanan operasi sampai 160 bar.

Karakteristik yang paling penting dari pompa-pompa jenis V3 dan V 4 adalah :

1. Penambahan keseimbangan energi secara optimum dan pengaturan aliran otomatis terhadap persyaratan pemakai.
2. Pada umumnya menyebabkan pengurangan suhu operasi dengan pengaruh (efek) yang menguntungkan, misal pada umur pelayanan fluida dan penyekat.
3. Menggunakan reservoir oli yang lebih kecil sangat memungkinkan
4. Penyederhanaan rangkaian hidrolis, karena memungkinkan untuk bekerja tanpa menggunakan katup pelepas (relief valve) atau katup penutup (shut-off valve).

#### **Pompa torak**

Pada umumnya pompa torak mempunyai kemampuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis pompa yang lain. Pemakaiannya pun sangat luas seperti di industri-industri berat maupun pada automobil/automotif. Pompa torak radial mampu memproduksi tekanan minyak sampai 65 MPa, sedangkan pompa sudu-sudu dan pompa roda gigi hanya mampu mencapai tekanan 15 - 20 MPa. Pompa torak pada umumnya tidak cocok untuk tekanan rendah, dan pompa torak rancangan terbaru mempunyai efisiensi yang sangat tinggi yaitu 95% atau bahkan lebih dari itu.

Pompa torak ini sangat cocok sekali untuk sistem hidrolis tekanan tinggi yang menggunakan kecepatan tinggi pula. Oleh karena itu pompa torak lebih kompleks dan lebih mahal jika dibandingkan pompa sudu-sudu dan pompa roda gigi. Pompa torak dapat dirancang baik pemindahan tetap maupun berubah-ubah (variabel). Bila diklasifikasikan pompa torak mempunyai dua jenis :

- Pompa torak aksial
- Pompa torak radial

Pompa torak aksial berarti bahwa torak terpasang dalam garis paralel dengan sumbu poros pompanya. Jadi torak melakukan gerak sejajar dengan sumbu poros pompa. Sedangkan pompa torak radial, apabila torak terpasang dan melakukan gerak radial atau tegak lurus terhadap sumbu pompa. Torak melakukan gerak maju dan mundur, menjauhi dan mendekati sumbu pompa. Kedua jenis pompa tersebut bekerja dengan menggunakan torak yang mengisap dan membuang fluida dengan gerakan maju dan mundur di dalam lubang silinder. Istilah lain yang lazim dipakai pada jenis ini adalah gerakan resiprokal (gerakan garis lurus). Pemakaian jenis pompa ini hanya pada keperluan-keperluan besar. Tidaklah cocok untuk ukuran pompa mini karena bentuk pompa torak yang besar dan

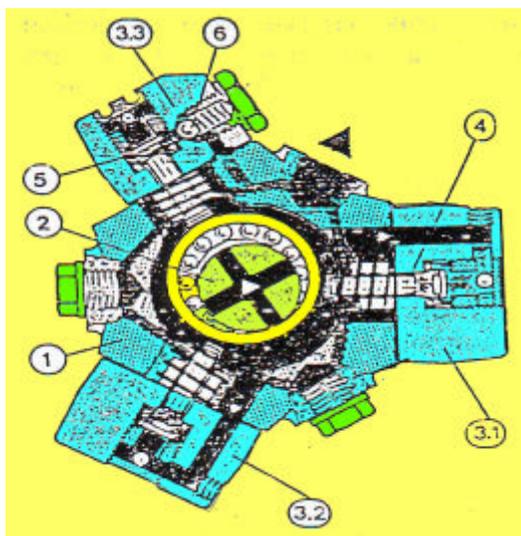
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

memakan ruangan. Pompa torak radial maupun aksial menggunakan torak resiprokal tetapi torak ini digerakkan oleh prinsip putaran (rotari). Dalam model ini daripada metode resiprokal dikombinasikan dengan unit pompa yang beroperasi secara rotasi.

#### **Pompa torak radial**

Posisi torak dirancang membentuk formasi bintang secara radial terhadap poros penggerakannya. Demikian juga torak bekerja dalam arah radial. Biasanya pompa ini dilengkapi dengan pengontrol (pengatur) sistem katup atau lubang, dengan pemindahan tetap atau variabel. Jenis pompa ini juga dibedakan antara bubungan dalam (pegas torak berbeban ke dalam) dan bubungan luar (pegas torak berbeban ke luar). Pompa torak pada Gambar 3-14 adalah dioperasikan dengan katup, pegas berbeban ke dalam dan menggerakkan sendiri, pompa ini mempunyai pemindahan tetap. Jenis pompa tersebut terutama mempunyai rumah (1), poros eksentrik (2) dan elemen pompa (3) dengan torak (4), katup isap (5) dan katup pengontrol tekanan (6). Satu elemen pompa dapat difungsikan sebagai satu pompa torak yang disekrupkan ke dalam rumah pompa. Elemen pompa memandu torak, dan sebagai balasannya mendorong ke dalam poros eksentrik dengan pegas. Setiap torak melaksanakan langkah ganda (dobel) pada setiap putaran poros.

Pada putaran poros eksentrik fluida tersedot melalui lubang aksial dalam poros, pelepasan melalui lubang radial dan kemudian melalui saluran katup isap. Katup isap terdiri dari satu pelat katup kecil, yang didorong oleh pegas ringan dari luar ke dalam penyekatnya.



Volume ruangan torak bertambah ketika torak bergerak ke arah pusat poros. Gaya pengisapan menyebabkan pelat katup terangkat dari penyekat (dudukan) dan ruangan torak dapat terisi oleh fluida (elemen 3.1). Kemudian torak terdorong ke luar oleh poros eksentrik, dengan demikian mendorong pelat katup ke dalam dudukan penyekat (elemen 3.2); Pada saat yang sama, bola daripada katup tekan (6) terangkat dari dudukannya (elemen 3.3).

Gambar 3.61 Pompa torak radial

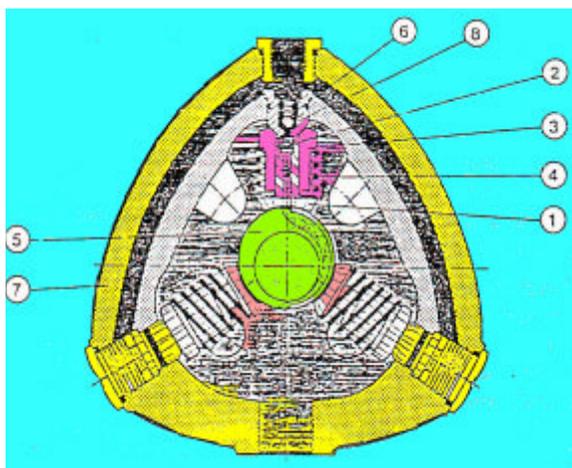
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Sekarang fluida dapat mengalir dari elemen pompa menuju saluran tekan dengan memakai saluran ke dalam rumah pompa. Volume langkahnya ditentukan oleh diameter torak dan jumlah torak itu sendiri. Tenaga tergantung pada kedua tekanan operasi dan volume aliran. Tekanan operasi maksimum juga berubah sesuai dengan diameter torak yang digunakan. Biasanya jumlah torak dipilih genap sehingga volume aliran yang tidak beraturan dipilih serendah mungkin. Data-data teknis yang ada adalah:

Tabel 10 data teknis pompa torak radial

Diameter torak (mm)	8	10	12	14
Volume pemindahan (cm <sup>3</sup> /put) setiap 1 elemen	0,4	0,63	0,91	1,23
Tekanan operasi maksimum	630	500	350	250

Pada Gambar 3.62 juga menunjukkan pompa torak yang dioperasikan oleh satu katup, pegas berbeban ke dalam dan pompa torak radial melengkapi sendiri tipe R4. Perbedaan dari pompa yang telah diterangkan di depan terletak pada rancangan elemen toraknya. Torak berongga (1) dengan katup pengisap (2) bergerak dalam satu silinder (3) dan terdorong pada eksentrik (5) dengan memakai pegas (4).



Permukaan luncur torak sesuai dengan radius eksentriknya. Dan silindernya sendiri berbentuk bola dan poros dalam rumah pompa (7). Katup pengontrol tekanan (8) dipasang dalam poros ini. Elemen-elemen torak (silinder, torak, katup isap) dipegang (ditahan) bebas oleh pegas antara poros eksentrik dan porosnya (bantalan torak diseimbangkan secara hidrostatik).

Gambar 3.62 Pompa torak radial dioperasikan katup

Volume ruangan torak dalam silinder bertambah dengan gerakan torak ke bawah. Karena isapan pelat katup terangkat dari kedudukan penye-katnya. Pada saat yang sama saluran dari ruangan isap menuju torak

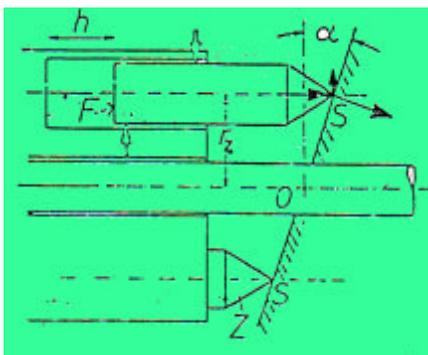
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

terbentuk dengan menggunakan alur radial dalam eksentrik. Ruang torak terisi dengan oli oleh karena alur dan lubang dalam torak. Ketika torak bergerak naik, eksentrik menutup saluran menuju rumah pompa. Pelat katup tertekan ke dalam dudukan penyekat dan bola pada katup tekan terangkat dari dudukannya. Dan kemudian fluida mengalir ke saluran ke luar pompa. Elemen pompa membawa gerakan bandul selama satu putaran eksentrik. Pada pompa dengan 3, 5, atau 10 torak, juga memungkinkan 3 perbedaan eksentrik. Untuk tujuan - tujuan penyatuannya, elemen tekanan dapat juga disumbat secara individu.

#### **Pompa torak aksial**

Jenis pompa torak aksial (axial piston units) adalah perubah energi, dimana torak dirancang secara aksial terhadap silindernya. Suatu rancangan berbeda dibuat antara gandar (swash plate) dan rancangan sumbu tidak sejajar (bent axis).

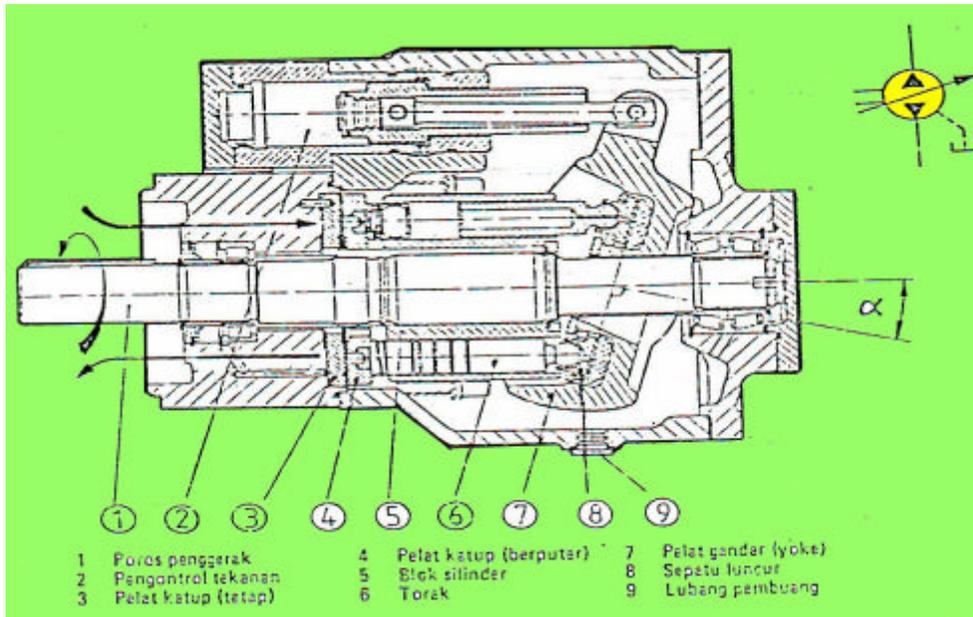
Diagram berikut menunjukkan dengan jelas perbedaan antara dua model untuk pemecahan gaya-gaya torak pada perubahan titik dan pertimbangan torsi sebenarnya. Untuk menunjukkan dengan lebih jelas, permukaan singgung antara torak dan bubungan ditunjukkan dengan titik-titik. Pada titik singgung S (lihat Gambar 3.63) gaya hidrolis (tekanan x luas penampang torak) diubah ke dalam "gaya mekanik". Resultan seluruh luasan cincin bertekanan bekerja tegak lurus terhadap sumbu torak dan menggerakkan torak ke posisi miring sehingga menimbulkan torsi pada drum silinder, yang dimasukkan ke poros penggerak dari drum.



Pada pompa torak gandar (swash plate) pemindahan tetap atau variabel terdiri dari rumah pompa, gandar pada suatu sudut kemiringan tetap atau berubah-ubah, poros penggerak, satu kelompok pemompaan rotasi, penyekat poros dan peiat pengontrol dengan lubang saluran masuk dan keluar. Pada kelompok pompa rotasi poros penggerak terdiri dari blok silinder dengan torak.

Gambar 3.63 Pompa torak aksial

Karena blok silinder berputar, sepatu torak (slippers) mengikuti gandar (tidak bergerak), yang menyebabkan torak untuk bergerak. Gerak kembali (mundur) torak melewati saluran masuk mengisap fluida ke dalam ruangan pemompaan yang mengembang. Karena blok silinder berputar, torak terdorong kembali ke dalam blok silinder dan sambil melewati saluran ke luar akan mendorong fluida ke dalam sistem (lihat Gambar 3.71).



Gambar 3.64. Pompa aksial pemindahan variabel

Jumlah dan ukuran torak-toraknya serta panjang langkah menentukan volume pemindahan pompa. Panjang langkah tergantung pada sudut gandar yang pada umumnya berkisar sampai maksimum  $18^\circ$ . Pada pompa pemindahan tetap, gandar menahan kuat-kuat dan membentuk suatu bagian rumah pompa, demikian juga pada pompa pemindahan tidak tetap.

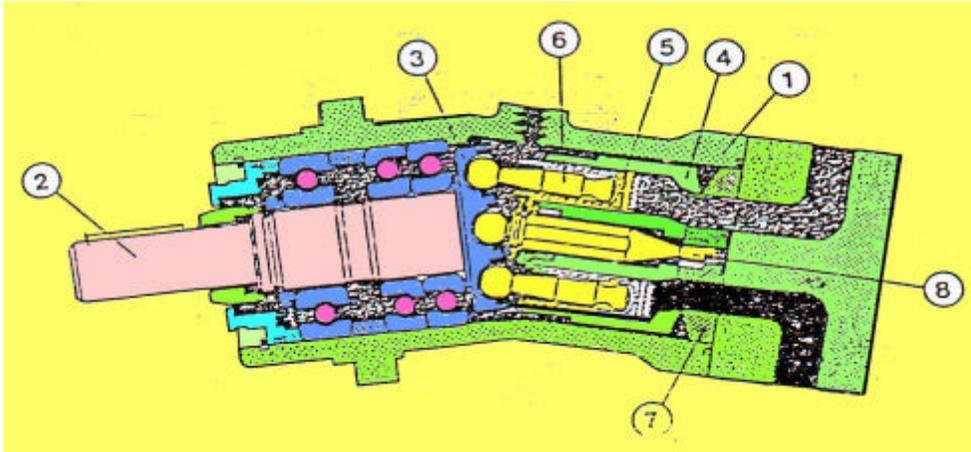
Pada pompa pemindahan tak tetap, gandar dipasang pada dudukan poros gandarnya. Sewaktu sudut gandarnya bertambah (membesar) berarti melakukan langkah silinder, yang menambah angka pemindahan pompa. Sudut gandar dapat diatur dengan tangan atau dengan memakai suatu pengontrol tekanan, atau dapat juga menggunakan kontrol servo. Pengontrol tekanan menjaga tekanan ke luar tetap (konstan). Sewaktu gandar tegak lurus terhadap poros penggerak (sudut gandar nol), langkah torak juga menjadi nol, dan pemindahan pompa secara teoritis menjadi nol. Pompa torak aksial selalu mempunyai kebocoran-kebocoran dalam yang harus dikeluarkan ke tangki melalui saluran pembuang.

***Pompa torak sumbu tidak sejajar dengan pemindahan tetap***

Jenis lain dari pompa torak aksial adalah pompa sumbu tak sejajar (bent axis). Cara kerja dari pompa tersebut juga menggunakan torak sebagai elemen pengisap dan pembuang fluida. Poros penggerak (2) pelat bubungan (3), silinder (4) dengan torak (5) dan batang penghubung (6), lihat Gambar 3.72, juga pelat kontrol (7) terpasang dalam rumah pompa

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

(1). Pelat bubungan tegak lurus terhadap poros penggerak. Silinder dengan 7 torak dan batang torak berada pada sudut  $25^\circ$  terhadap sumbu porosnya. Pelat bubungan dihubungkan ke silinder dengan memakai batang torak (piston rod). Dan silinder terletak pada pusat pen (8).



Gambar 3.65 Pompa torak sumbu tidak sejajar

Sewaktu poros penggerak (2) diputar dalam operasinya pompa silinder (4) juga berputar dengan perantara batang penghubung (6) dan torak (5). Karena torak dipegang pada pelat bubungan memakai batang penghubung, langkah torak terbentuk dalam silinder ketika poros penggerak diputar. Pelat pengontrol mempunyai dua alur berbentuk lonjong untuk mensuplai dan mengeluarkan tekanan fluida.

Untuk membawa silinder ke dalam permukaan kontrol pelat pengontrol (disebut juga pelat lubang) tanpa pemandu mekanik, jenis ini dirancang dengari bentuk bola. Gerakan torak dan silinder ditransmisikan melalui batang penghubung, yang mana beban tarikan (gesekan dan gaya inersia) tidak mengganggu pembebanan sisi pada silinder, Gaya balik pada silinder diredam oleh pena.

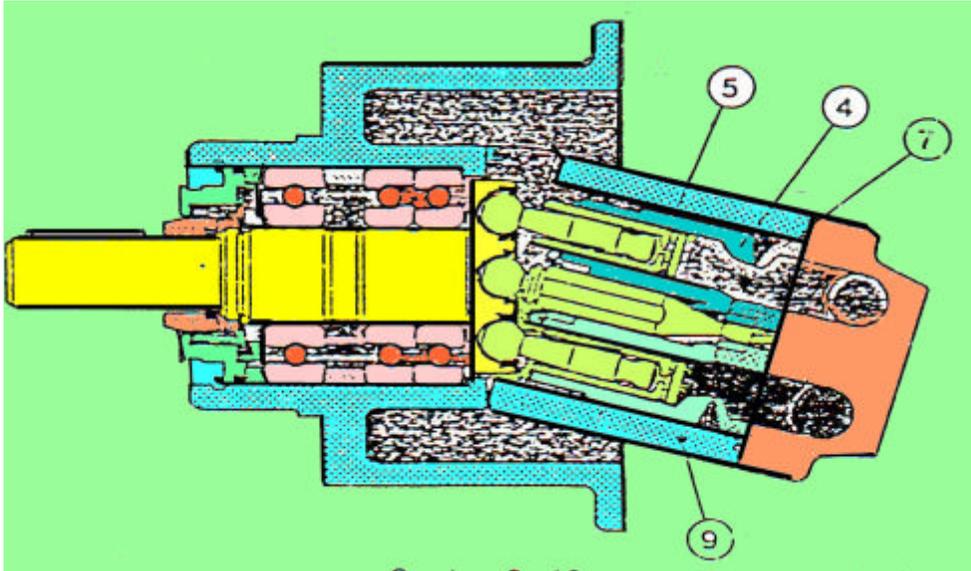
#### *Pompa torak sumbu tidak sejajar dengan volume pemindahan variabel*

Pada versi dengan pemindahan, dapat diubah-ubah silinder (4) dengan torak (5), pelat lubang (7) dan rumah, ditempatkan pada posisi Semestinya sehingga dapat bekerja sesuai rancangan. Sudut sumbu poros dapat diubah-ubah antara  $\pm 25^\circ$ .

Torak membawa langkah tertentu dalam silinder tergantung pada sudut kemiringannya. Langkah dan volume pemindahan bertambah karena sudut kemiringan bertambah. Dengan prinsip sumbu bengkok (tak sejajar) arah aliran berubah dengan halus, ketika bodi dimiringkan (swashed) sampai posisi nol dan torsi tetap tidak berubah. Jika sudut kemiringan nol,

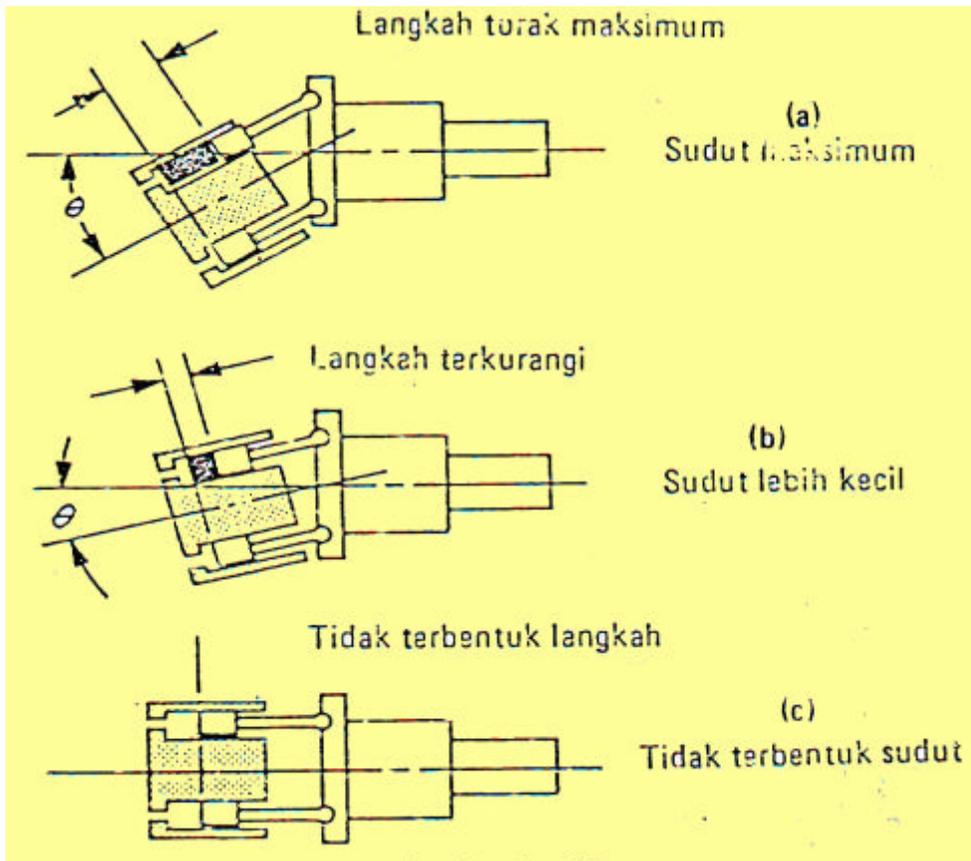
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

maka volume pemindahannya juga nol. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.66, pada bagian (a) terlihat sudut yang dibentuk oleh poros (0) adalah maksimum. Pada posisi ini pengisapan fluida pada posisi



Gambar 3.66 Pompa torak sumbu tidak sejajar dengan pemindahan tidak sejajar

maksimum dan pelepasannya pun juga maksimum. Setelah poros penggerak berputar sehingga sudut porosnya berkurang ( $0 <$ ) maka panjang langkah toraknya juga berkurang seiring dengan sudut porosnya. Karena langkah torak lebih pendek maka jumlah fluida yang dapat dipindahkan juga lebih sedikit. Sampai pada posisi torak (gerakan torak) sejajar dengan sumbu poros pompa. Dengan demikian torak tidak akan melakukan gerak aksial, berarti torak tidak melakukan pemindahan fluida. Pada posisi ini sudut torak terhadap sudut poros pompanya adalah nol (sejajar). Pengaturan sudut poros terhadap sudut sumbu toraknya dapat dilakukan secara manual (dengan memakai roda tangan) atau secara otomatis dengan menggunakan tekanan. Seberapa besar volume pemindahannya dapat diatur-aturl sesuai dengan kebutuhan sehingga tidak terlalu banyak tenaga yang harus dibuang. Atau bahkan dapat dilaksanakan secara otomatis mengimbangi volume pemindahan pada pemakaiannya.



Gambar 3.67 Perubahan pemindahan dengan sudut poros

### ***Pengontrolan pompa pemindahan variabel***

Aliran rata-rata dan tekanan sistem maksimum adalah dua besaran yang dapat dikontrol dengan pompa pemindahan variabel. Dengan sistem hidrolis industri poros pompa berputar setiap menit (rpm) diperkirakan konstan. Dengan demikian aliran rata-rata harus konstan apabila pemindahan geometris dijaga konstan atau tidak dapat diatur (seperti halnya pada pompa pemindahan tetap), Untuk beberapa pompa pemindahan variabel, pemindahan geometris (mL/putaran) bisa diubah jika sudut gandar atau sudut sumbu poros pompa juga diubah.

Untuk jenis pompa sudu-sudu dan pompa torak radial perubahan pemindahan dicapai dengan menggerakkan cincin bubungan ke dalam kurang lebih sejauh posisi eksentrik terhadap rotornya. Semenjak pompa pemindahan variabel digunakan untuk menjaga dan membatasi tekanan sistem maksimum, aliran rata-rata minimumnya akan secara otomatis diatur oleh pengontrol pompa untuk menyesuaikan kebocoran dalam rata-rata dari keseluruhan sistem.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Sistem hidrolis industri terutama menggunakan pengontrol tekanan sehubungan dengan pompa pemindahan variabel tetapi pengontrol yang lain dapat digunakan untuk mengatur batas aliran rata-rata, tekanan dan aliran rata-rata yang dikombinasikan, atau tenaga masuk (seperti sistem pada Mobil). Metode-metode yang dipakai untuk mengontrol adalah roda tangan, servo, kontrol hidrolis jarak terpisah, kontrol listrik jarak terpisah, dan kontrol hidrolis langsung di dalam. Mekanik kontrol banyak bervariasi dari satu pabrik pembuat ke pabrik pembuat yang lain.

#### ***Kontrol pompa jenis bertingkat (step)***

Apabila kontrol telah disetel ke tekanan awal yang diinginkan, pompa secara otomatis akan menghantarkan aliran maksimum sampai batas tekanan yang disetel sebelumnya tercapai. Kemudian akan tetap menjaga tekanan tersebut. Secara serempak tenaga masuk dan hantaran aliran berkurang ke tenaga dan aliran apapun yang diinginkan untuk menjaga tekanan yang telah diatur sebelumnya. Pengontrol bertingkat menurunkan aliran dalam suatu tingkat yang sangat tajam.

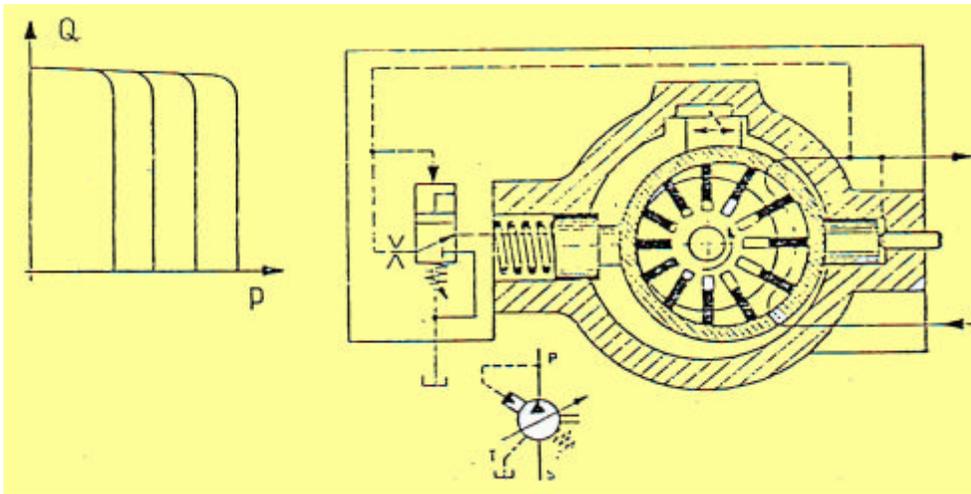
Pompa dengan sistem kontrol bertingkat seharusnya dilengkapi dengan katup pelepas tekanan (pressure relief valve), karena pengontrol jenis bertingkat mempunyai satu waktu konstan yang menyebabkan puncak tekanan amat tinggi daripada penyetelan nominal, ketika aliran secara tiba-tiba menghendaki penurunan. Ia juga sangat mudah terkena kontaminasi oli dan dapat berakibat fatal apabila kebersihan oli tidak terpelihara dan terkontrol dengan baik.

Jenis pengontrol bertingkat digunakan pada pompa sudu-sudu. Cincin bubungan dari pompa sudu-sudu dipegang kuat-kuat antara dua torak dengan perbandingan luas kira-kira 2 : 1, dan tekanan sistem dari saluran pompa ke luar bergerak ke dalam kedua torak. Tekanan sistem maksimum sebelumnya disetel pada pegas yang dapat diatur dari katup pengarahnya.

Ketika tekanan yang disetel sebelumnya tercapai, batang silinder katup pengontrol digerakkan melawan pegas, dan ruangan torak yang besar dikeluarkan ke reservoir. Kemudian torak yang kecil akan menggerakkan cincin rel ke dalam posisi lebih konsentris (ke sebelah kiri) dan hantaran pompa menurun ke aliran rata-rata yang diperlukan oleh sistem. Katup pengontrol akan kembali ke posisi penyetelan pegas, segera setelah tekanan sistem menurun di bawah tekanan penyetelan. Dengan demikian tekanan sistem terbuka kembali ke dalam torak yang besar dan cincin rel terdorong lagi ke dalam posisi aliran penuh.

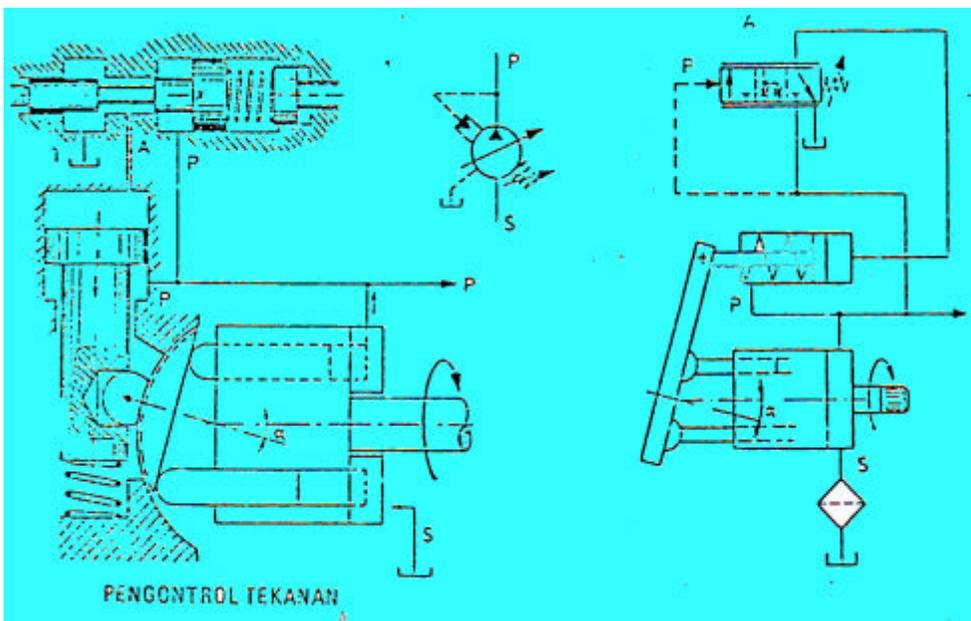
Pengaturan menurun (aliran penuh ke aliran minimum) dapat menyebabkan puncak tekanan ekstrim yang sekaligus dapat merusak pompa dan sistem. Sebuah katup pelepas tekanan kecil menghilangkan puncak-puncak seperti itu.

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.68 Pompa sudu-sudu dengan pengontrol tekanan bertingkat

Jenis pengontrol tekanan bertingkat (lihat pada Gambar 3.68), mengontrol sudut gandar (pelat ayun) pompa pemindahan variabel. Tekanan sistem disalurkan ke katup peraba (sensor) tekanan dan luasan cincin torak penyesuai. Seluruh luas penampang torak disalurkan ke reservoir. Tekanan sistem maksimum sebelumnya disetel pada pegas katup peraba tekanan.



Gambar 3.69 Pompa torak aksial dengan pengatur bertingkat

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Ketika tekanan ( $p$ ) penyetelan dalam sistem dicapai, batang silinder katup tekan digerakkan melawan pegas, tekanan ( $p$ ) kemudian disalurkan ke dalam seluruh luas penampang torak pada torak penyesuai, dan hantaran pompa menurun ke aliran minimum yang dikehendaki oleh sistem. Aliran rata-rata minimum sama dengan keboeoran dalam sistem atau aliran rata-rata mana saja yang disajikan oleh gerakan elemen penggerak (silinder hidrolis).

Pada pengontrol tekanan yang menggunakan kontrol penyesuai tekanan terpisah, tekanan sistem dihubungkan ke pegas besar torak berbeban. Bagian ini menahan cincin rel ke dalam posisi aliran penuh. Katup pelepas tekanan akan langsung mengatur aliran fluida ke reservoir apabila tekanan sistem melebihi batas penyetelan. Karena hasil penurunan tekanan yang melewati pembuluh tidak seimbang, maka katup sensor tekanan dan ruangan torak besar dihubungkan ke tangki. Kemudian torak kecil akan menggerakkan cincin rel ke dalam posisi konsentris, dan hantaran pompa menurun sesuai dengan kebutuhan sistem.

#### 3.7.4. Klasifikasi pompa hidrolis

Seperti telah diuraikan di muka bahwa ada tiga jenis pompa hidrolis yang banyak digunakan di industri-industri menengah sampai industri berat. Pompa-pompa itu adalah pompa roda gigi, pompa sudu-sudu, dan pompa torak. Pemakaian dan efisiensi merupakan hal yang sama pentingnya dengan operasi dan akan membantu dalam diagnosa masalah hidrolis. Karena begitu banyak dan bervariasi jenis dan sistem hidrolis dan pompa, tidaklah mudah untuk menjamin pompa mana yang paling baik untuk sistem tertentu tanpa mengetahui lebih dulu informasi-informasi yang jelas pada sistem tersebut. Meskipun demikian dapatlah dipertimbangkan hal-hal yang tidak diinginkan pada jenis-jenis pompa, sehingga sangat membantu dalam menjatuhkan pilihan pompa dan sistem bagaimana yang cocok digunakan pada sistem hidrolis tersebut.

Ukuran pompa adalah faktor pertama yang harus dipertimbangkan dalam memilih pompa untuk sistem hidrolis. Kebanyakan dalam sistem hidrolis hanya terdapat ruangan yang sangat terbatas untuk ruangan pompa. Tetapi dengan banyaknya jenis pompa dan ukuran pompa yang tersedia, itu bukanlah suatu masalah yang besar, jika sistem tidak memerlukan pompa sebagaimana pada unit-unit yang besar. Dalam hal ini ruangan untuk pompa tanpa menghiraukan ukurannya akan tersedia, karena hal-hal atau persyaratan lain yang lebih penting tidak dapat ditinggalkan begitu saja.

Faktor yang kedua adalah hantaran pompa (debit), tekanan, dan kecepatan putaran pompa. Ketiga aspek ini juga menempati posisi tertentu dalam memilih pompa. Karena hal ini erat hubungannya dengan gaya dan kapasitas suatu sistem hidrolis. Kebanyakan pompa dinilai atau didasarkan pada volume yang dapat dihasilkan dalam jumlah waktu tertentu. Dan

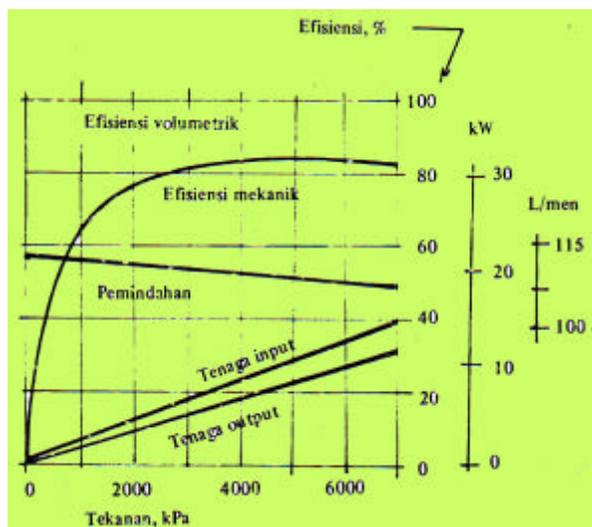
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

biasanya ditunjukkan dalam liter per menit (L/men).

Istilah hantaran ini sering juga disebut; hantaran rata-rata, kapasitas pelepasan, atau bahkan debit dan ukuran. Tanpa menghiraukan kelas penilaiannya, faktor tersebut tidaklah dapat berdiri sendiri. Haruslah dilengkapi oleh figur yang menyatakan jumlah tekanan balik dan kemampuan pompa untuk bertahan, dan masih memproduksi kelas hantarannya, karena tekanan bertambah kebocoran dalam pompa juga bertambah dengan demikian volume minyak yang dihantarkan justru menurun. Kecepatan pompa juga harus dimasukkan dengan volume rata-rata untuk kedua alasan. Pertama, pada pompa pemindahan tetap, aliran adalah berhubungan langsung dengan kecepatan pompa, kecepatan lebih besar lebih banyak fluida dipindahkan. Kedua, berapa kecepatan pompa dibutuhkan untuk memproduksi suatu aliran tertentu dinyatakan dalam kecepatan gerakan mekanik putaran pompa (dalam putaran per menit = rpm). Tambahan pula, hantaran pompa rata-rata, sebagai contoh pada pompa terbaca; 60 liter/menit dengan 140 kg/cm<sup>2</sup> pada putaran 2100 rpm. Biasanya suatu pompa mempunyai perubahan hantaran rata-rata, berkenaan dengan hantaran rata-rata sesaat. Penilaian ini menyatakan batas tertinggi suatu pompa untuk beroperasi, dipandang dari segi hantaran, kecepatan pompa dan tekanan dalam satu periode waktu masih memberikan umur pemakaian yang cukup.

#### 3.7.5. Efisiensi pompa

Faktor efisiensi pompa juga merupakan hal yang penting. Seberapa besar dapat melakukan kerja adalah suatu hal yang menentukan dalam pemilihan pompa.



Gambar 3.70 Kurva tenaga masuk - efisiensi

Secara teori suatu pompa pemindahan positif mengubah jumlah fluida hidrolis sama dengan pemindahan geometris (debit) per putaran poros pompa, dan aliran keluarnya harus sebanding dengan kecepatan putar poros pompa. Walau demikian aliran ke luar sebenarnya lebih kecil daripada pemindahan secara teoritis dikarenakan oleh kebocoran dalam atau selip.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

Karena tekanan dalam sistem hidrolik bertambah, kebocoran dalam yang melewati sela-sela pasangan gerakan dan penyekat juga akan bertambah, dengan demikian efisiensi terhadap volume (volumetric efficiency) akan menurun (lihat Gambar 3.70). Dan hal yang perlu diingat bahwa dalam perhitungan didapatkan secara teoritis, tetapi untuk mengetahui lebih jelasnya spesifikasi itu didapatkan pada data-data teknis buku petunjuknya.

Dalam ukuran fisiknya, akan ditemukan bahwa ketiga jenis pompa itu dijumpai dari ukuran kecil sampai besar. Dari ketiga jenis itu, pompa roda gigi adalah yang terkecil, pompa torak yang terbesar dan pompa sudu-sudu berada di antara keduanya.

Angka efisiensi suatu pompa ditentukan oleh tiga faktor yang meliputi :

- Efisiensi volumetrik
- Efisiensi mekanik
- Efisiensi tenaga.

Efisiensi volumetrik adalah perbandingan volume aliran yang dihasilkan terhadap volume aliran teoritis pada suatu pompa. Dan hal yang paling dominan pada penentuan efisiensi volumetrik ini adalah kebocoran-kebocoran dalam suatu sistem.

Efisiensi mekanik adalah perbandingan antara keseluruhan efisiensi terhadap efisien volumetrik dari suatu pompa. Faktor yang membedakan pada jenis efisiensi ini adalah karena gesekan, keausan pada bagian-bagian yang bergerak dan bergesekan.

Efisiensi tenaga adalah perbandingan antara tenaga masuk terhadap tenaga yang dihasilkan. Biasanya tenaga masuk yang dipakai adalah tenaga listrik dan satuan tenaganya dalam watt detik. Kemudian tenaga yang dihasilkan adalah berujud tenaga mekanik dalam kilogram meter per detik. Kedua besaran ini dapat dikonversikan menjadi tenaga kuda (PK). Sehingga didapat tenaga yang dihasilkan (dikeluarkan) lebih kecil daripada tenaga yang dipakai. Dengan demikian angka efisiensinya akan lebih kecil daripada satu (100%).

Pompa roda gigi mempunyai angka efisiensi volumetrik antara 85 sampai 96%, pompa sudu-sudu berkisar antara 85 - 93%, dan pompa torak mempunyai angka efisiensi volumetrik tertinggi yakni sampai 98%.

Efisiensi volumetrik ( $\eta_v$ ) menentukan kebocoran dalam rata-rata pada putaran per menit (rpm) dan tekanan tertentu (p). Semua pompa memerlukan aliran dalam untuk melumasi bagian-bagian bergerak dalam pompa. Efisiensi volumetrik dapat ditentukan seperti hitungan berikut :

$$\text{efisiensi volumetric}(\eta_v) = \frac{Pe \text{ min dahan sebenarnya}}{Pe \text{ min dahan teoritis}} \times 100\%$$

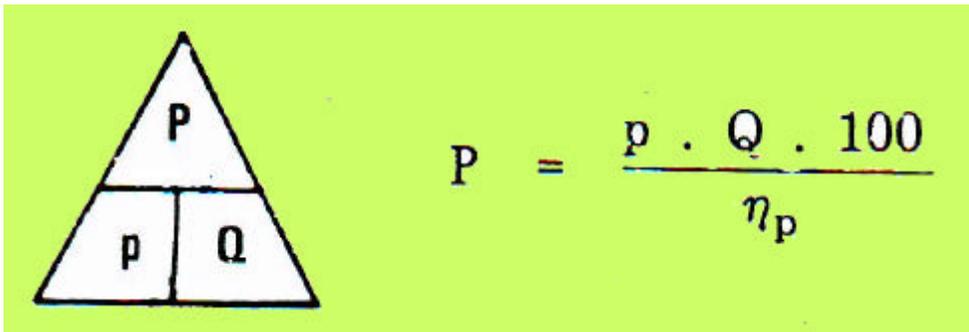
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Efisiensi tenaga ( $\eta_p$ ) merupakan besaran yang seringkali digunakan dalam hitungan pemompaan, dan angka efisiensi ini adalah gabungan dari efisiensi volumetrik dan efisiensi mekanik, hal ini menggambarkan kerugian karena gesekan. Dan biasanya angka ini dinyatakan dalam prosentase. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi tenaga adalah :

$$\text{efisiensi tenaga } (\eta_p) = \frac{\text{Tenaga yang dihasilkan}}{\text{Tenaga yang dipakai}} \times 100\%$$

#### Perhitungan tenaga

Rumus dasar yang dipakai untuk menghitung tenaga pompa seera teoritis ( $p$ ) dapat dinyatakan dalam suatu segitiga. Rumus dasar itu termasuk efisiensi tenaganya.



#### Contoh :

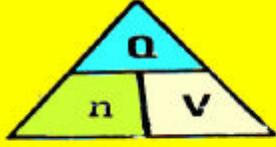
Hitunglah tenaga pompa yang diperlukan ( $p$ ) dalam kilowatt apabila pompa memindahkan fluida sebanyak 105 liter/menit ( $Q$ ) pada tekanan 4 MPa ( $p$ ). Efisiensi tenaganya ( $f/p$ ) adalah 90%.

$$\text{Tenaga yang digunakan } (W) = \frac{\text{Tekanan} \times \text{aliran rata-rata}}{\text{Efisiensi tenaga}} \times 100\%$$

$$\text{Tenaga yang digunakan } (kW) = \frac{4 \cdot 10^6 \times 105 \times 100}{10^3 \times 10^3 \times 60 \times 90} = 7.7 \text{ kW}$$

Sedangkan rumus dasar untuk menghitung aliran pompa rata-rata ( $Q$ ) atau disebut juga debit, kecepatan poros pompa ( $n$ ) dan volume pemindahan geometris juga dapat dinyatakan dalam segitiga sederhana. Rumus dalam segitiga tersebut juga termasuk efisiensi volumetrik ( $\eta_v$ ) :

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



$$V = \frac{Q \times 100}{n \times \eta_v}$$

$$\eta = \frac{Q \times 100}{V \times \eta_v}$$

$$Q = \frac{n \times V \times \eta_v}{100}$$

Contoh :

Hitung pemindahan geometris yang diperlukan dalam liter, apabila pompa diputar pada kecepatan 1440 rpm dan harus mampu menghantarkan aliran rata-rata 2 liter setiap detik. Efisiensi volumetriknya ( $\eta_v$ ) adalah 98%.

$$Pemin dahan (V) = \frac{\text{Aliran rata-rata} \times 100}{\text{Putaran} \times \text{Efisiensi}}$$

$$Pemin dahan (V) = \frac{2 \times 60 \times 100 \times 10^3}{10^3 \times 1440 \times 90} = 0.08503 \text{ ltr}$$

Contoh :

Hitung aliran rata-rata suatu pompa (Q) apabila pompa tersebut digerakkan pada 1450 rpm dan pemindahannya (V) adalah 0,6 liter. Efisiensi volumetrik diperkirakan sebesar 96%.

$$\text{Aliran rata-rata} = \frac{\text{Pemin dahan (V)} \times \text{Putaran} \times \text{Efisiensi}}{100}$$

$$Pemin dahan (V) = \frac{0.6 \times 1450 \times 96 \times 10^3}{10^3 \times 60 \times 100} = 13.92 \text{ ltr / dtk}$$

Dalam memilih pompa seharusnya tidak bersandar pada dasar-dasar empiris. Faktor-faktor penting seharusnya ditentukan dan dipertimbangkan sebelum jenis pompa sebenarnya dipilih. Faktor-faktor tersebut meliputi :

- Tekanan sistem maksimum yang diperlukan untuk menghasilkan gaya keluar yang cukup dengan elemen-elemen penggerak.
- Aliran maksimum (puncak) yang diperlukan, atau aliran rata-rata yang diperlukan apabila dalam suatu sistem menggunakan akumulator.
- Kemampuan pompa, kesanggupan beroperasi, mudah dalam pemeliharaannya, harga pembelian awal, dan tingkat kebersihan pompa.
- Kontrol aliran pompa selama tahap-tahap sistem tidak bergerak pemindahan tetap atau tidak tetap.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Pompa pemindahan tidak tetap dengan kontrol (pengaturan) yang kompleks makin lama makin banyak dipakai di industri-industri modern. Harga pembelian pompa-pompa jenis ini hampir mencapai sepuluh kali lipat harga pompa pemindahan tetap. Walau demikian banyak kelakuan-kelakuan pompa yang menguntungkan sehingga mengimbangi harga yang tinggi apabila tenaga yang dipakai dikurangi (diturunkan) dan kompleksitas sistem dapat disederhanakan.

Pompa pemindahan tetap dan tidak tetap keduanya adalah jenis pompa pemindahan positif. Pada pompa pemindahan tetap jumlah aliran pada setiap putaran poros pompa tidak dapat diubah (tetap). Sehingga volume pemindahannya hanya dapat diubah dengan mengubah putaran porosnya. Semenjak industri sistem hidrolis menggunakan motor listrik dengan kecepatan tetap sebagai penggerak utamanya, tidak begitu banyak pompa pemindahan tetap digunakan.

Katup pengontrol aliran dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan perpindahan elemen penggerakannya. Tetapi katup pengontrol aliran juga dapat membantu adahya timbul panas dari suatu sistem. Pada rangkaian yang menggunakan pompa pemindahan tetap, elemen penggerak memerlukan perubahan aliran rata-rata selama operasi, maka pompa pemindahan tetap harus disesuaikan untuk menghantarkan aliran tertinggi yang diperlukan. Apabila aliran diperlukan hanya sedikit, kelebihan aliran pompa harus dibuang melalui sistem katup pelepas pada tekanan sistem maksimum. Hal ini mengubah energi yang tidak diinginkan langsung menjadi panas. Untuk alasan ini pompa pemindahan tetap seharusnya hanya digunakan pada rangkaian kecepatan konstan, atau pada rangkaian dimana lama waktu pengontrolan kecepatannya sangat pendek, misal peredaman ujung (end-cushioning) atau penurunan beban pendek. Meski demikian pompa pemindahan tetap masih banyak digunakan dan dapat bekerja dengan baik. Tetapi penting sekali bahwa pompa pemindahan tetap harus dipertimbangkan seteliti mungkin terhadap kecepatan (aliran rata-rata) yang diperlukan.

Biasanya, pompa pemindahan tetap hanya cukup mampu apabila tanpa pernyataan-pernyataan berikut :

- Tekanan sistem harus dijaga pada suatu elemen penggerak mati.
- Rangkaian hidrolis beroperasi pada daerah kecepatan yang lebar.
- Pompa tidak dapat tak berbeban dengan desain rangkaian selama periode lambat.
- Bagian siklus elemen penggerak harus dioperasikan pada kecepatan yang rendah.

Efisiensi penggunaan sumber energi yang tersedia telah menjadi persoalan yang penting. Oleh karena itu tenaga ahli sangat berhati-hati dalam mengevaluasi syarat-syarat tenaga dari suatu mesin dan peralatan baru, dan tenaga-tenaga ahli tersebut tak henti-hentinya mencari cara baru

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

untuk mengurangi tuntutan energi terhadap batas kemungkinan paling rendah.

Penghematan energi, pompa pemindahan tidak tetap sangat membantu untuk mengatasi cacat pada sistem hidrolik yang telah menjadi sifatnya yaitu tidak hemat. Pompa pemindahan tidak tetap hanya menghantarkan aliran apabila diperlukan oleh sistem (elemen penggerak). Keuntungan atau kelebihan yang paling menonjol pada pompa pemindahan tidak tetap bahwa panas tidak ditimbulkan oleh pergerakan fluida dalam suatu rangkaian ketika tidak ada elemen penggerak yang dijalankan. Bahkan ketika pompa pemindahan tetap sedang dalam keadaan tidak berbeban, energi diubah menjadi panas dengan mudah karena oli dalam kondisi bergerak. Di sini lain pompa pemindahan tak tetap (variabel) dapat dikontrol untuk menghasilkan energi hanya ketika diperlukan. Dengan demikian tidak ada panas yang timbul dan energi terbuang. Di samping itu, pompa pemindahan tak tetap sering membatasi atau menurunkan kebutuhan untuk katup penurun tekanan atau pengatur aliran, maka dari itu seimbang dengan harga awal yang lebih tinggi pada pompa jenis itu.

Apabila diklasifikasikan kemampuan jenis-jenis pompa itu dapatlah ditabulasikan seperti pada tabel berikut.

Tabel 11 Klasifikasi jenis pompa

Prinsip kerja pompa	Tekanan maks (bar)		Kecepatan (n)		Q maks (l/menit)	Efisiensi total (%)	Filtrasi min	Tingkat kebersihan
	dari	sampai	min	maks				
Roda gigi	40	100	500	3000	300	50-80	100	
Roda gigi dalam (ge-rotor)	50	70	500	2000	100	60-80	100	
Roda gigi dalam (crescent)	150	300	500	2000	50	70-90	50	
Sudu-sudu	50	100	500	3000	100	65-80	50	
Sudu-sudu tetap	100	140	500	2000	100	70-85	50	
Sudu-sudu tak tetap	40	100	1000	2000	200	70-80	50	
Torak aksial, gandar	200	250	200	2000	3000	80-90	25	
Torak aksial, tak sejajar	250	350	200	2000	500	80-90	25	
Torak radial	350	650	200	2000	100	80-90	50	

Selain itu menurut jenisnya pompa-pompa hidrolik itu dapat dikelompokkan menurut cara kerjanya seperti pada awal subbab 3.7.

#### 3.8. Distribusi pada Sistem hidrolis

Distribusi oli dari tangki untuk pembangkitan energi pada aktuator secara berurutan dimulai dari : (1) tangki/reservoir, (2) pompa hidrolis atau pembangkit energi hidrolis, (3) filter, (4) relief valve (pengaman), (5) control valve atau katup pengontrol, dan (6) aktuator (silinder hidrolis atau motor hidrolis). Penyaluran oli tersebut memerlukan media berupa pipa saluran atau selang. Untuk pompa hidrolis, relief valve, katup kontrol dan aktuator akan dibicarakan dalam bab atau subbab tersendiri. Disini akan dibahas secara garis besar mengenai reservoir, filter, pendinginan oli, dan pipa saluran sebagai bagian dari distribusi sistem hidrolis.

##### 3.8.1 Reservoir

Ruangan penyimpan fluida (oli) digunakan tangki atau sering juga disebut reservoir. Fluida dijaga tetap bersih dengan menggunakan saringan kasar (strainer), saringan halus (filter) atau pemisah magnetik sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Apabila tangki ini dirancang dan dikonstruksi benar-benar, mempunyai efek terhadap fungsi dan pengaruh daya guna dari suatu sistem hidrolis. Pada prinsipnya reservoir mempunyai sejumlah fungsi penting yang meliputi :

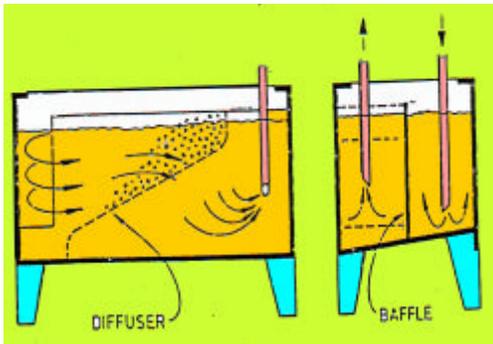
- Reservoir menyimpan fluida sehabis dipakai dari sistem hidrolis, dan bekerja sebagai penahan terhadap fluktuasi (gejolak) fluida yang disebabkan oleh pemindahan aliran yang tidak sama pada elemen penggerak (sistem).
- Reservoir mampu membuang panas yang ditimbulkan oleh tenaga yang hilang pada elemen penggerak dan elemen pengatur (katup).
- Reservoir menetralkan adanya buih dan gelembung yang ditimbulkan, sehingga buih dan gelembung dapat terpisah dari fluida hidrolisnya
- Reservoir dapat mengendapkan kotoran-kotoran fluida, endapan itu berada di bagian bawah reservoir, sehingga bebas dari fluidanya.

Untuk melaksanakan fungsi-fungsi di atas, persyaratan rancangan tertentu hampir untuk setiap pemakaian di industri. Reservoir dikonstruksi dari pelat baja yang disambung dengan sambungan las, dengan kaki mengangkat reservoir di atas lantai (landasan). Dengan cara ini akan memberikan pendinginan oleh sirkulasi udara sekitar ke seluruh dinding reservoir dan bagian bawahnya, sehingga pemindahan panasnya menjadi optimal.

Untuk pemakaian stasioner, biasanya reservoir dirancang untuk menempatkan motor beserta pompa di atasnya demikian juga katup pengarah dan pengatur tekanannya. Untuk keperluan ini konstruksi reservoir diharuskan, cukup kuat (kaku) dan rata bagian atasnya. Bagian

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

bawah reservoir dimiringkan atau dicekungkan untuk mengeluarkan fluida melalui lubang pembuang. Pelat pembersih atau penutup dipasang pada sisi tangki untuk memudahkan dalam pembersihan dan pemeliharaan. Reservoir kecil biasanya terbuat dari aluminium tuang dengan sirip-sirip pendingin. Kebanyakan reservoir dijual dalam bentuk satu unit lengkap meliputi penggerak utama, pompa, dan satu katup pelepas.



Dan hampir setiap unit tenaga kecil (sampai 150 liter) mempunyai pompa yang dipasang secara vertikal pada ujung pompa, dicelupkan dalam fluida hidrolis. Kopling memberikan pemindahan tenaga motor listrik tanpa harus mengganggu pompa. Juga terpasang pada pelat atas, untuk memudahkan dalam pembersihan.

Gambar 3.71 Konstruksi reservoir

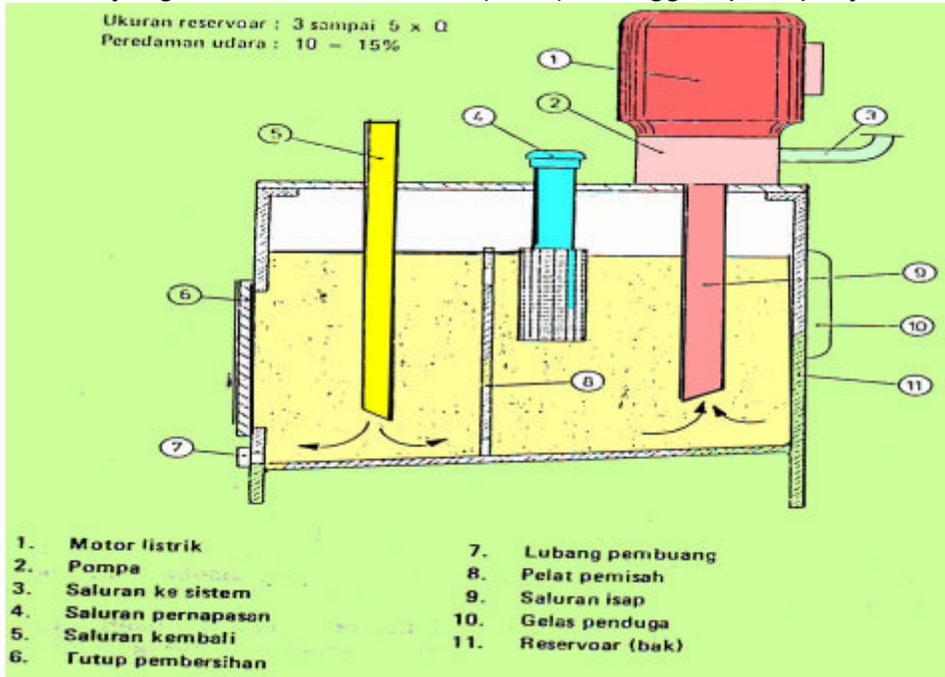
Beberapa rangkaian mesin memerlukan jumlah fluida yang tersimpan tinggi dalam struktur mesin. Sebagai contoh dengan rangkaian tinggi-rendah kecepatan tinggi langkah mendekati ram utama adalah disuplai secara grafitasi dari reservoir di atas pompa melalui katup pra-pengisian, sementara silinder menggerakkan rol ke dalam posisi menyinggung benda kerja. Reservoir jenis ini hubungannya dengan saluran fluida, memerlukan rancangan yang cermat untuk menghindari aliran turbulen yang tidak dikehendaki dari kecepatan fluida yang tinggi selama pemindahan fluida dari dan ke reservoir.

Dengan membuka tutup reservoir tanpa kesulitan dimaksudkan untuk memudahkan dalam pembersihan. Gelas penduga untuk mengecek volume fluida dalam reservoir sangat dianjurkan. Hal ini akan memudahkan jika dibandingkan dengan harus membuka tutup terlebih dahulu. Lubang pengisian disediakan dengan saringan halus untuk menjaga kotoran masuk ke reservoir ketika dilakukan pengisian fluida.

Meskipun dengan penyaringan yang cukup, serbuk-serbuk kotoran seperti fiber, karat oksida, plastik elastomer, pasir silika dapat berkumpul di bagian bawah reservoir. Partikel-partikel (kotoran) yang tidak disaring harus ditahan pada reservoir bagian bawah. Pelat pemisah yang terbuat dari logam sebagai pembagi memanjang melalui bagian tengah reservoir (Gambar 3.72). Pelat ini berguna untuk membuat sirkulasi fluida yang kembali dari sistem, dan untuk memisahkan saluran isap pompa dari

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

saluran kembali. Gerakan sirkulasi fluida lambat memberi kesempatan kotoran yang lebih berat untuk diam (statis). Ketinggian pelat penyekat



Gambar 3.72 Unit tenaga hidrolis

minimal  $\frac{2}{3}$  dari ketinggian fluida, juga untuk memisahkan saluran masuk pompa dari saluran masuknya sehingga fluida yang sama tidak dapat disirkulasikan kembali secara terus menerus, tetapi harus mengambil suatu garis aliran dalam reservoir.

Dengan demikian pelat pemisah mampu mencegah aliran turbulen setempat, membiarkan kotoran-kotoran yang tidak diinginkan untuk mengendap, memberikan kesempatan fluida (oli) untuk melepaskan udara yang terperangkap dalam fluida oli, dan membantu penyebaran panas melalui dinding reservoir.

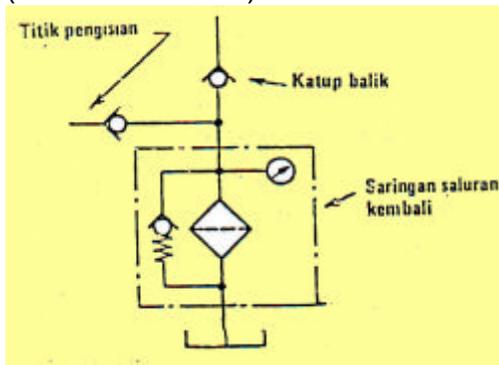
Gelembung-gelembung udara kadang-kadang ditimbulkan oleh jeratan udara atau aliran fluida yang sebentar-sebentar dari saluran balik dan pembuangan, akan memberi kesempatan untuk memercik pada permukaan fluida dalam reservoir. Proses ini sebelumnya didahului adanya penyebaran udara (pelat-pelat berlubang atau saringan), dan dengan sirkulasi fluida yang disebabkan oleh penyekat.

Volume fluida yang berfluktuasi dalam reservoir disebabkan oleh variasi permintaan aliran balik oleh elemen penggerak menimbulkan aliran udara konstan masuk dan keluar reservoir. Aliran udara melewati saluran pernapasan, yang dibuat untuk tiga maksud di dalamnya. Ia

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

menyaring udara yang mengalir ke dalam reservoir, dan ini berguna sebagai saringan kasar (strainer) sewaktu reservoir diisi, dan memberi lintasan untuk perubahan udara dari dan ke reservoir. Sangatlah penting menggunakan saluran pernapasan yang besar untuk menanggulangi aliran udara yang disebabkan oleh fluktuasi fluida, karena volume udara dalam reservoir harus selalu berada pada tekanan atmosfer untuk menjamin kenormalan kerja pompanya.

Untuk menjamin bahwa reservoir hanya diisi dengan fluida yang betul-betul bersih, penambahan sistem dipasang lubang pengisian terpisah dengan saluran masuk, dan saluran pernapasan tertutup rapat. Dengan demikian fluida harus dipompa (dengan tangan, atau pompa) melalui saringan saluran masuk ke dalam reservoir. Katup balik yang berada di atas filter (saringan) mencegah adanya tekanan fluida keluar dari reservoir, tetapi justru sebaliknya harus masuk ke dalam reservoir (lihat Gambar 3.73).



Gambar 3.73 Reservoir dengan pengisian melalui saringan

Pada prinsipnya pada aliran fluida rata-rata lebih besar maka saluran pernapasannya juga lebih besar untuk mengimbangi dan menjaga tekanan udara dalam reservoir selalu sama dengan tekanan atmosfer. Tetapi pada reservoir yang telah dilengkapi dengan sistem pendingin saluran pernapasan tidaklah perlu digunakan.

Tetapi diganti dengan sejenis katup pembatas untuk mengatur tekanan dalam reservoir sesuai dengan tekanan penyetelan.

Rugi-rugi tenaga dalam sistem hidrolis diubah ke dalam bentuk panas. Sebagian besar panas yang ditimbulkan di sini diredam oleh fluida hidrolis, elemen-elemen kontrol, elemen penggerak, dan reservoir. Meskipun demikian panas ini akan tetap bertambah, sampai panas yang timbul dan pemindahannya berada dalam kondisi seimbang. Suhu pada titik ini disebut **suhu inersia**.

Untuk mengoperasikan sistem hidrolis tanpa sistem pendingin terpisah, suhu inersia harus sama (seimbang) atau bahkan lebih baik apabila suhu inersianya lebih kecil jika dibandingkan dengan suhu sistem maksimum yang diijinkan. Jumlah panas yang dapat dihilangkan oleh reservoir secara langsung tergantung pada :

- ukuran permukaan luar reservoir yang dapat memindahkan panas.

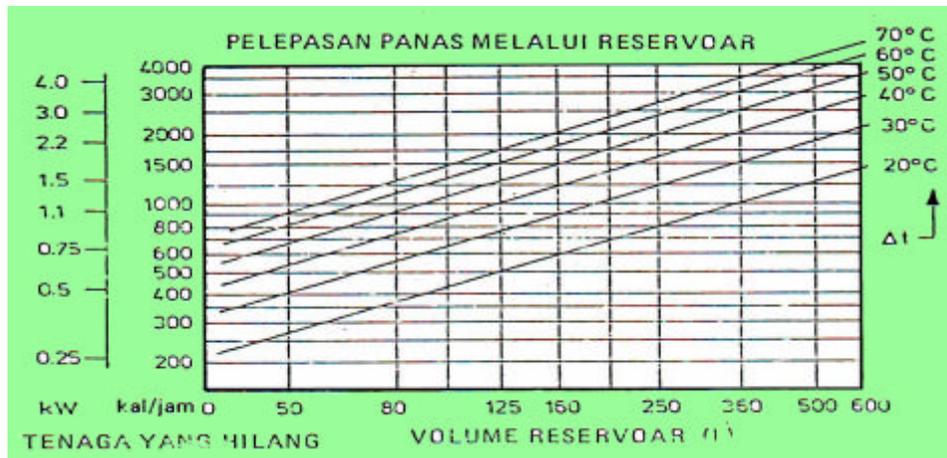
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

- jumlah (volume) fluida di dalam reservoir demikian juga aliran rata-rata yang melewati reservoir.
- perbedaan suhu yang terjadi antara suhu fluida hidrolis terhadap suhu udara atmosfer yang berada di sekeliling reservoir.
- sirkulasi udara di sekeliling reservoir bagian panas.

Rugi-rugi tenaga dalam sistem hidrolis menentukan jumlah pendinginan yang diperlukan. Dan rugi-rugi tenaga (PL) keseluruhan dapat dihitung :

$$PL_{\text{total}} = PL_{\text{pompa}} + PL_{\text{katup}} + PL_{\text{saluran}} + PL_{\text{elemen penggerak}} \text{ (kW)}$$

Secara umum rugi-rugi tenaga pada sistem hidrolis berkisar antara 20 - 30% dari tenaga output penggerak utama yang memutar pompa. Dan untuk memudahkan dalam perhitungan, diagram hubungan ukuran reservoir dengan rugi-rugi tenaga dapat dilihat pada Gambar 3.74.



Gambar 3.74 Diagram hubungan ukuran reservoir dengan rugi-rugi tenaga

Rugi-rugi tenaga (PL) dalam satuan kW, perbedaan suhu yang terbentuk  $\Delta t$  dalam satuan derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan diperkirakan bahwa kapasitas pendinginan rata-rata dalam suatu instalasi yang diventilasikan dengan baik. Perbedaan suhu ( $\Delta t$ ) diambil pada suhu paling panas (maksimum).

Dalam sistem industri stasioner biasanya menggunakan reservoir yang mampu mengalirkan aliran rata-rata dalam liter/menit sampai 3-5 kali. Sehingga untuk aliran rata-rata 60 liter/menit akan membutuhkan reservoir antara 180 - 300 liter. Ukuran terbesar akan lebih baik sehingga  $\Delta t$  nya kecil dan sirkulasi udara di sekeliling reservoir adalah minimal.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Dan dianjurkan ruangan antara yang berada di atas fluida kurang lebih 10 - 15% dari keseluruhan kapasitas reservoir.

Pada diagram hubungan ukuran reservoir dan rugi-rugi tenaga menunjukkan bahwa dengan penambahan  $\Delta t$  10°C (sirkulasi udara buatan atau alami) volume reservoir untuk rugi-rugi tenaga 2,3 kW dan  $\Delta t$  awal 40°C dapat diturunkan oleh kurang-lebih 100 liter. Dua hal penting dalam merancang reservoir, yaitu:

1. batas ketinggian fluida harus tidak pernah turun melewati saluran masuk pompa, karena hal ini dapat menyebabkan pusaran fluida sehingga udara dapat tersedot ke dalam pompa.
2. ruangan udara di atas fluida harus cukup mampu menyerap panas fluida di bawahnya.

Dalam berbagai pemakaian di jindustri reservoir ditutup secara menyeluruh, dan udara hanya dapat masuk melalui kantong pemisah. Hal ini untuk menjaga agar udara tidak kontak langsung dengan fluida hidrolis. Apabila tidak terdapat embun, gas-gas korosi, atau butiran-butiran kotoran memasuki reservoir, maka fluida di dalam reservoir tetap bersih sehingga fluida memberikan pelayanan yang lebih lama, menurunkan angka korosi, dan komponen-komponennya lebih awet.

Sebagai ganti lintasan terbuka dari kantong udara ke udara atmosfer, kantong udara juga dapat ditutup (sekat) dan bertekanan. Sehingga fluida bertekanan ini akan mengisi pompa, dan akan mencegah terjadinya kavitasi yang sangat merugikan.

#### **3.8.2. FILTER atau SARINGAN**

Fluida hidrolis harus dijaga tetap bersih dalam suatu sistem dengan menggunakan filter (saringan halus disebut juga penapis) dan strainer (saringan kasar). Yang membedakan antara strainer dan filter adalah kemampuan penyaringannya terhadap kotoran-kotoran yang melewatinya. Filter mempunyai komponen penyaring yang lebih halus, sehingga kotoran yang dapat tersaring pun sampai butiran-butiran yang paling kecil. Berbeda dengan strainer, komponen penyaring (cartridge) yang digunakan lebih kasar, sehingga butiran-butiran yang tersaring pun lebih kasar. Pemisah magnet juga digunakan untuk menjerat kotoran-kotoran yang terbawa oleh fluida, khususnya kotoran-kotoran dari logam fero seperti keausan yang ditimbulkan oleh gesekan pada bidang-bidang bergerak. Karena pada prinsipnya partikel sebesar 1-5 mikron mampu menyebabkan kerusakan pada sistem servo dan mempercepat kerusakan oli dalam berbagai hal.

Filtrasi (penyaringan) fluida hidrolis adalah merupakan hal yang paling penting untuk memelihara fungsi dan ketahanan sistem hidrolis. Kontaminasi (kotoran) fluida terjadi melalui berbagai sumber, antara lain :

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

- Kotoran yang tertinggal dalam sistem selama dalam perakitan awal atau akibat kerja pemeliharaan seperti terak pengelasan dan butir-butir pengelasan, sobekan pita silikon (pada penyekat), lepasan-lepasan pada sambungan ulir, potongan-potongan bahan penyekat, dan bram-bram penggerindaan.
- Kotoran yang ditimbulkan ketika sistem bekerja seperti lepasan-lepasan (bram) akibat gesekan antara logam dengan logam atau non logam, endapan dan pernis karena oksidasi fluida, demikian juga karat dan kondensasi air pada bagian dalam reservoir.
- Kotoran yang dihadirkan dari luar ke dalam sistem. Hal ini terjadi pada penggunaan fluida yang tidak sesuai, dan kotoran-kotoran yang dihadirkan oleh bram-bram sewaktu perbaikan komponen.

Fluida bertekanan tinggi dalam jumlah yang besar membawa kotoran-kotoran melalui sistem atau mengendapkan dalam ruangan yang sempit pada pompa, katup, elemen penggerak, dan motor tidak habisnya. Apabila kotoran-kotoran tersebut tidak disaring sistem itu lambat laun akan macet, atau justru dalam waktu yang pendek bisa menyebabkan keausan yang besar. Keausan ini ditimbulkan oleh adanya gesekan antara elemen-elemen bergerak dengan fluida yang mengandung kotoran (terak). Karena demikian kebocoran yang timbul akan semakin besar, sehingga rugi-rugi tenaganya bertambah besar.

Ukuran partikel $\mu\text{m}$	Jumlah partikel dalam $100\text{ cm}^3$ /kelas						
	0	1	2	3	4	5	6
5 – 10	2700	4600	9700	24000	32000	67000	128000
10 – 25	670	1340	2680	5360	10700	21400	42000
25 – 50	83	210	380	780	1510	3130	6500
50 – 100	16	28	56	110	225	430	1000
100 –	1	3	5	11	22	41	92

Filter (saringan) diklasifikasikan dalam micrometer ( $\mu\text{m}$ ) yang sebanding dengan sepersejuta meter. Pengujian pada fluida hidrolis telah menunjukkan hubungan dekat antara derajat kontaminasi dan ukuran daripada partikel-partikelnya. Menurut standar SAE, derajat kontaminasi fluida dibagi dalam tujuh kelas, kelas 0 (nol) adalah yang terbaik.

Gambar 3.75 Klasifikasi kontaminasi fluida

#### **Klasifikasi saringan**

Saringan yang mampu menjerat lebih kurang 98% partikel dalam suatu fluida yang melewatinya disebut filtrasi absolut. Misal suatu saringan dengan 40 mikron, maka saringan ini harus mampu menahan sedikit-dikitnya 98% partikel yang berukuran 40 mikron atau lebih. Karena tidak ada lubang tunggal tetap, pori, atau ukuran lubang dalam filter

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

ganda, maka diberikan suatu ukuran kelas nominal, sedangkan saringan jenis permukaan diklasifikasikan dalam harga absolut. Ditemui, angka penyaringan lebih tinggi (lubang-lubang saringan dalam luasan tertentu lebih banyak) maka saringan itu lebih halus. Saringan yang dibuat dari berbagai bahan, lain halnya dengan kasa kawat, diklasifikasikan dengan ukuran mikron. Satu mikron sebanding dengan tiga puluh sembilan persepuluh inci ( $39 \cdot 10^{-6}$  inci). Sebagai pembandingan, butiran garam kurang lebih 70 mikron. Partikel terkecil yang dapat terlihat oleh mata terbuka lebih kurang 40 mikron.

Pada filtrasi nominal didasarkan pada penyimpanan rata-rata 50-95% partikel yang melewati saringan di atas ukuran mikron yang ditentukan. Diperkirakan bahwa ketika fluida yang melewati saringan berulang kali, akhirnya akan dibersihkan seluruh partikel di atas ukuran nominal yang ditentukan.

Filtrasi pada kelas beta adalah standar internasional yang menentukan efisiensi elemen filter. Ini didasarkan pada kontaminasi terus menerus dari fluida hidrolis di dalam sistem (reservoar), sementara pengambilan contoh fluida sebelum dan sesudah elemen filter. Perbandingan antara partikel hulu dan hilir yang dihitung pada ukuran mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) khusus adalah kelas beta. Ini juga disebut metode multipass untuk mengevaluasi kemampuan filtrasi (ISO 4572).

Filter serupa dengan perbandingan beta untuk partikel 5 mikrometer adalah 2,4 yang berarti bahwa efisiensi 58,33% dapat diharapkan atau dicapai. Filter (penapis) yang sama akan menjerat partikel 15 mikrometer ( $\beta_{15}$ ) dengan perbandingan 17,4. Ini berarti bahwa 94,25% partikel dengan ukuran 15 mikrometer dan di atasnya akan terjerat.

Perbandingan beta (13); definisi

Sejumlah partikel lebih besar daripada ukuran ( $\mu$ ) yang diberikan dalam efek fluida. Hubungannya dengan jumlah partikel yang lebih besar dari ukuran yang sama dalam lingkungan (efek) fluida. Secara teliti menggambarkan kemampuan pemisahan partikel dari suatu filter. Perbandingan BETA lebih besar, lebih besar kemampuan filter untuk menjerat partikel yang lebih besar daripada ukuran BETA yang dinyatakan.

Contoh :  $\beta_{10} = 5,8$ .

*Penurunan harga perbandingan beta*

$$\frac{\text{hitungan partikel hulu}}{\text{hitungan partikel hilir}} = \text{harga perbandingan beta}$$

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

contoh :  $\frac{36815}{6347} = 5.8$

Penurunan efisiensi heta

$$\frac{\text{hitungan partikel hulu} - \text{hitungan partikel hilir}}{\text{hitungan partikel hulu}} = \% \text{ efisiensi}$$

contoh :  $\frac{36815 - 6347}{36815} = 82.76\% \text{ efisien}$

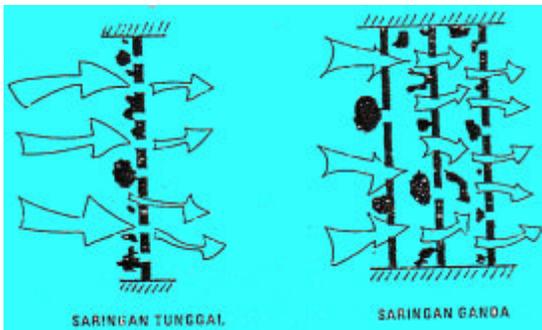
Maka, BETA  $\mu = 5,8$  adalah 82,76 % efisien

TABEL EFISIENSI PEMILIHAN HARGA PERBANDINGAN BETA					
BETA $\mu = 1,0 =$	0 %	efisien	BETA $\mu = 5,8 =$	82,76 %	efisien
BETA $\mu = 1,14 =$	12,28 %	efisien	BETA $\mu = 16,0 =$	93,75 %	efisien
BETA $\mu = 1,5 =$	33,33 %	efisien	BETA $\mu = 17,4 =$	94,25 %	efisien
BETA $\mu = 2,0 =$	50,00 %	efisien	BETA $\mu = 32,0 =$	96,875 %	efisien
BETA $\mu = 2,4 =$	58,33 %	efisien	BETA $\mu = 52,2 =$	98,084 %	efisien
BETA $\mu = 3,0 =$	66,66 %	efisien	BETA $\mu = 100,0 =$	99,0 %	efisien
BETA $\mu = 4,0 =$	75,00 %	efisien	BETA $\mu = 173,0 =$	99,42 %	efisien

ELEMEN	$\beta_5$	$\beta_{10}$	$\beta_{15}$	$\beta_{20}$	$\beta_{30}$
MB	2,4	5,8	17,4	52,2	173,0

#### Jenis dan bahan saringan (filter)



Pada saringan "ganda" (depth filter) fluida hidrolis dipaksa melewati lapisan-lapisan bahan berganda. Kotoran terperangkap dan melekat pada bahan saringan karena fluida harus melewati lintasan yang berkeluk-luk.

Gambar 3.76 Bentuk saringan

Filter jenis ini juga disebut filter "absorbent". Bahan filter yang digunakan untuk filter jenis ganda adalah :

- kertas berpori dan dapat ditembus (biasanya berlapis damar)
- fiber sintetis dalam untaian yang panjang, kesat dan dipres

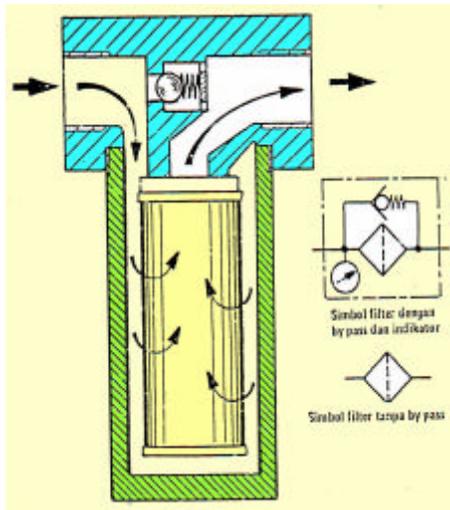
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

- anyaman logam fiber yang dipres
- anyaman gelas fiber yang dipres
- butiran-butiran logam kecil (elemen cakram & cartridge).

Pada filter jenis "tunggal" (surface filter) fluida hidrolis langsung mengalir melalui suatu lapisan lubang anyaman, dan mengendapkan partikel-partikel kotoran pada permukaan lubang. Untuk memperlebar lubang saringan biasanya lubang berbentuk bintang yang dilipat. Bahan saringan (filter) jenis tunggal adalah :

- lembaran anyaman kawat baja
- lembaran anyaman nilon monofilamen
- anyaman fiber selulose
- lubang-lubang logam berbentuk cakram.

Saringan dari bahan kertas tidak dapat dicuci atau dibersihkan. Apabila sudah kotor penuh dengan debu atau endapan-endapan kondensasi harus diganti dengan yang baru dengan spesifikasi yang sama. Penapis (filter) yang terbuat dari logam, gelas, dan fiber sintetis (serat sintetis) dapat dilepas dan dicuci. Ada beberapa filter yang mempunyai kelengkapan penunjuk elektrik atau mekanik yang menyatakan penjumlahan terhadap kotoran.



Dan biasanya filter tidak pernah digunakan tanpa suatu indikator saluran tekanan dan saluran masuk, filter harus selalu mempunyai by-pass (Gambar 3.77). Fungsi daripada by-pass (katup balik) adalah untuk menjaga agar filter jangan sampai meledak apabila sudah kotor. Karena ada katup balik, apabila tekanan menuju filter sudah mampu melawan pegas pada katup balik maka fluida akan lewat terus tanpa harus melewati filter lebih dulu. Fluida yang lewat ini akhirnya masih kotor, tetapi fisik daripada filternya masih utuh.

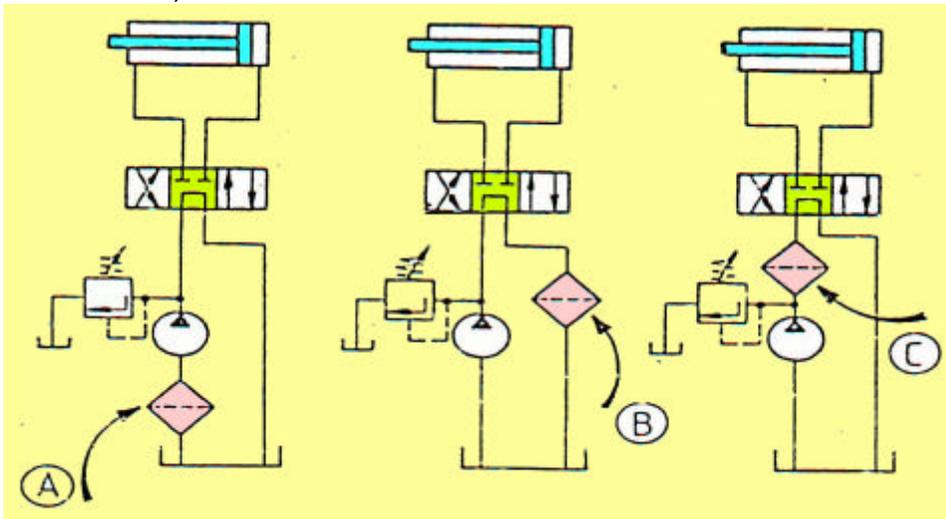
Gambar 3.77 Filter dengan bypass

#### *Filter saluran kembali*

Yang dimaksud filter (penapis) saluran kembali di sini adalah penapis yang menuju reservoir. Penapis di sini mempunyai tekanan

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

rendah, karena tekanan fluida sehabis dipakai dari elemen penggerak. Filter saluran kembali harganya murah, hanya menimbulkan sedikit masalah selama penggunaan dan pemeliharaan, dan mampu menyaring seluruh volume fluidanya. Meskipun demikian filter ini juga mempunyai kekurangan yaitu hanya fluida yang masuk ke reservoir, bukannya fluida yang memasuki elemen penggerak yang dibersihkan. Dengan demikian kotoran dapat masuk ke pompa, katup, dan elemen penggerak (lihat Gambar 3.78).



Gambar 3.78 Penempatan Filter : (a) isap (b) sal. kembali (c) sal. tekan.

#### *Filter saluran tekan*

Filter yang dipasang pada saluran tekanan mampu menahan tekanan sistem maksimum oleh karena itu filter harus kuat sehingga harganya lebih mahal. Filter saluran tekanan digunakan pada hulu pompa dan katup untuk melindunginya dari partikel-partikel yang kotor. Biasanya terpasang langsung pada komponen di mana harus melindungi (lihat Gambar 3.78).

Asalkan elemen yang digunakan mempunyai tegangan tinggi, filter ini dapat digunakan tanpa by-pass agar menutup sistem apabila tersumbat. Jenis filter ini biasanya digunakan untuk melindungi katup servo yang harganya cukup mahal apabila rusak hanya karena kotoran yang menyumbat atau bahkan aus.

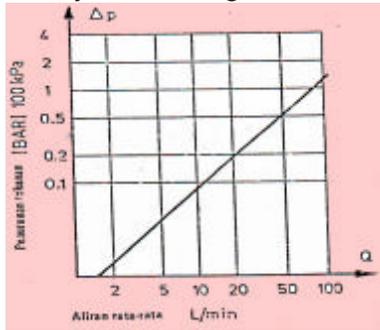
#### *Filter saluran isap*

Penempatan pada jenis filter ini berada pada saluran isap pompa. Dan hampir setiap sistem hidrolis menggunakan sistem ini. Filter ini merupakan filter tingkat rendah yang melindungi pompa. Kekurangannya adalah bahwa tidak mudah diambil karena terpasang di dalam reservoir

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

(Gambar 3.79). Beberapa pabrik pembuat merancang jenis filter di dalam reservoir yang dapat diservis tanpa mengosongkan tangki (reservoir).

Kiranya memungkinkan untuk mempunyai filter isap dengan kelas serendah 5 atau 10 mikron, tetapi dengan ukuran itu membuat harganya menjadi mahal. Filter isap jika terlalu ke bawah dapat menimbulkan penurunan tekanan yang tinggi dan kavitasi. Satu cara untuk menyediakan saluran filtrasi isap tanpa kekhawatiran kavitasi adalah dengan pemisah magnetik.



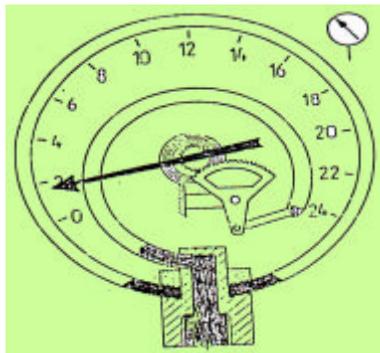
Gambar 3.79 Kurva tekanan untuk filter saluran tekanan

Dengan alat ini sedikit-sedikitnya akan membatasi partikel-partikel logam ferro yang akan masuk. Alat ini sangat membantu terhadap filtrasi pada saluran masuk pompa.

Faktor penting dalam pemilihan filter adalah penurunan tekanannya. Kebanyakan pabrik pembuat mensuplai kurva atau diagram yang berhubungan dengan penurunan tekanan ( $\Delta p$ ) untuk viskositas fluida yang diberikan terhadap aliran rata-rata ( $Q$ ) melewati filter. Penambahan kontaminasi dalam filter atau viskositas; secara otomatis menambah penurunan tekanannya. Meskipun demikian hampir semua filter mempunyai kelengkapan aliran by-pass, yang membuka ketika perbedaan tekanan bertambah melebihi pengaman aliran filternya.

#### Pengukur tekanan

Pengukur tekanan yang digunakan dalam sistem hidrolis mempunyai beberapa alasan. Alat tersebut pada prinsipnya berguna untuk mengukur tekanan pada suatu titik (bagian) tertentu.



Sehingga dapat diketahui tekanan penyetelan pada katup pengontrol tekanan, untuk menguji komponen dan pencarian kesalahan dalam suatu rangkaian, untuk mengisi akumulator pada tekanan yang diinginkan, untuk menentukan torsi dan gaya yang diubah dengan elemen penggerak resiprok atau rotari. Pengukur tekanan tabung Bourdon adalah jenis yang banyak dipakai (Gambar 3.80).

Gambar 3.80 Pengukur tekanan Bourbon

Tabung pengembang bertekanan menggerakkan jarum penunjuk melalui

roda gigi.

Pengukur tekanan harus dikalibrasi secara reguler dan dites untuk menjamin ketelitiannya. Pengukur master yang biasa dipakai untuk mengkalibrasi. Apabila pengukur tekanan secara permanen dipasang dalam sistem, harus digunakan katup isolator untuk membebaskan tekanan bila tidak digunakan. Dan sewaktu pengukur tekanan harus tetap bertekanan maka harus dipasang peredam. Peredam melindungi pengukur tekanan dari osilasi, dan mengurangi kejutan tekanan sehingga mampu memperpanjang umur pemakaian pengukur tekanan. Pengukur tekanan tersedia di pasaran dengan selubung yang diisi dengan benda cair kental dan transparan biasanya gliserin. Ini adalah untuk memperpanjang umur pemakaian dan reliabilitas. Namun biasanya harga alat tersebut menjadi mahal.

#### ***Pemeliharaan filter***

Seperti telah diuraikan di depan bahwa tujuan pemakaian filter dalam sistem hidrolis adalah untuk menjerat dan menghilangkan kotoran dari fluida oli. Hingga kadang-kadang sulit untuk dipahami mengapa penggunaan filter oli tidak memperpanjang periode penggantian oli. Perlu diingat bahwa oli secara terus-menerus dikotori oleh kotoran atau debu baru dari luar maupun dalam. Karena kapasitas filter sangat terbatas, ia hanya menjaga kualitas asli daripada oli untuk satu periode waktu yang dengan cermat telah ditentukan oleh pembuat. Filter tidak bisa memperpanjang umur pemakaian oli.

Seperti halnya bunga karang, kapasitas daripada filter oli juga terbatas. Hanya partikel di atas ukuran tertentu yang dapat ditahan, dan hanya satu atau dua elemen yang menyebabkan penyaringan endapan. Partikel yang lebih kecil dan sisa endapan bersirkulasi di dalam sistem dan hanya dapat dihilangkan dengan mengeluarkannya. Karena filter tetap digunakan, perlahan-lahan akan tersumbat oleh butiran kotoran-kotoran dan akhirnya sama sekali akan merusak filter itu sendiri. Oleh karena itu hanya penanggulangan kontaminasi adalah program reguler pemeliharaan suatu sistem hidrolis. Sangat dianjurkan sekali untuk mengikuti petunjuk dalam pembongkaran untuk membersihkan kontaminasi. Hal ini penting sekali selama periode pembongkaran, karena filter akan tersumbat jauh semakin cepat jika dibandingkan dengan kondisi operasi normal. Sangatlah hati-hati terhadap kebersihan sewaktu memperbaiki sistem hidrolis. Tidak ada filter yang mampu mengimbangi atau mengganti secara keseluruhan terhadap pemasangan atau pembongkaran yang kotor. Komponen yang kotor atau kotoran pada corong penuang akan mengotori sistem, dan kotoran yang hanya sedikit akan menimbulkan kotoran yang banyak akhirnya aus meningkat.

Memegang filter harus hati-hati. Satu bengkokan atau luka pada

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

filter akan tidak dapat bekerja normal. Penyimpanan penyekat dan filter baru harus selalu bersih bila akan dipasang. Mengikuti petunjuk pembuat dan membersihkan atau mengganti jika kelihatan semakin tersumbat. Jika pada mesin tidak mempunyai indikator filter pengganti, perhatikan bahwa interval pemakaian sesuai buku petunjuk pemakaian. Dan akhirnya menggunakan filter dan oli yang sesuai dengan anjuran dari pabrik pembuat.

#### **3.8.3. Pendinginan oli**

Pada sistem hidrolis tekanan tinggi, pendinginan fluida (oli) menjadikan suatu masalah besar. Seringkali sirkulasi normal daripada oli dalam sistem tidak begitu lama melakukan tugasnya. Oleh sebab itu mengapa pendingin oli menjadi sangat umum dalam sistem hidrolis modern. Panas itu timbul oleh karena gesekan antara molekul-molekul fluidanya ketika fluida itu dipompa hingga mendorong elemen-elemen penggerak, katup dan sebagainya. Apabila panas yang diradiasikan dari tangki (reservoar) terlalu rendah, mengakibatkan suhu fluida berada di atas suhu operasi yang diinginkan, disebabkan oleh jumlah panas yang disuplai dan diradiasikan. Fluida ini harus didinginkan. Dengan pendingin dimaksudkan agar suhu fluida tertentu tidak terlampaui. Ada dua macam sistem pendingin yang umum digunakan :

1. Pendingin udara - oli (radiasi)
2. Pendingin air - oli (konveksi).

Pada pendingin udara-oli, fluida yang datang dari sistem mengalir kembali ke dalam sistem melalui tabung pendingin dengan memakai kipas (baling-baling). Keuntungan pemakaian sistem ini bahwa udara dingin yang diperlukan tersedia di sembarang tempat. Udara mengalir melewati pipa yang dibelok-belokkan pada suatu tempat. Dan fluida (oli) mengalir di sekeliling pipa. Dengan demikian akan terjadi pemindahan panas dari oli ke udara.

Pada pendingin air-oli digunakan air sebagai media penyerap panasnya. Pada sistem ini baik oli maupun air dialirkan dalam suatu pipa berbelok-belok dalam suatu sistem (tempat tertentu) dan di sekelilingnya dilingkupi oleh aliran air atau oli, tinggal bahan mana yang dipilih harus melewati pipa pendinginnya. Pendinginan sistem air-oli memberikan angka pendinginan yang lebih memuaskan. Karena memang media pendingin air mempunyai angka penyerapan panas yang besar dan air mudah dan murah didapatkan. Perbedaannya dengan pendingin udara bahwa udara dapat diambil dan dibuang di sembarang tempat, tetapi air harus memerlukan tempat penampungan.

Ada kalanya di daerah-daerah dingin juga memerlukan pemanas (heater) selain pendingin. Pemakaian sistem ini sehubungan dengan kondisi udara yang kadang-kadang dingin dan dengan cepat berubah

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

menjadi panas. Pemanas digunakan untuk memanaskan tekanan oli hingga mencapai batas suhu operasi. Oli dipanaskan dengan memakai elemen pemanas listrik. Yang perlu diingat bahwa panas yang ditimbulkan per satuan luas harus tidak terlalu besar. Karena hal ini menyebabkan panas yang berlebihan dan karbonisasi fluida pada elemen pemanasnya. Oleh sebab itu tenaga maksimum yang diperlukan oli mineral harus tidak melebihi 2 Watt/cm<sup>2</sup>. Untuk ester pospat dan glycol-air 0,6-0,7 Watt/cm<sup>2</sup>.

Untuk mengontrol suhu fluida dalam sistem digunakan termometer, dan untuk melengkapi kerja otomatis sistem digunakan termostat. Dengan dua alat ini suhu operasi akan selalu dicapai, baik itu pada elemen pendingin maupun pemanas. Termostat bekerja apabila suhu oli di bawah suhu operasi dan akan mati apabila suhu operasi telah dicapai, dengan demikian suhu oli akan konstan.

#### **3.8.4. PIPA SALURAN**

Selang, pipa, dan tabung fluida menghubungkan berbagai komponen hidrol i k dan menghantarkan fluida ke seluruh sistem. Saluran konduktor (penghantar) harus mampu menahan bukan hanya tekanan sistem maksimum menurut perhitungan, tetapi juga kejutan-kejutan tekanan yang timbul dalam sistem. Pemilihan konduktor (tabung, pipa logam atau karet) dan elemen penyambung (fitting) tergantung pada faktor-faktor berikut :

- tekanan statis dan dinamis
- aliran rata-rata (debit)
- kesesuaian terhadap fluida
- pemeliharaan
- vibrasi
- kekuatan kebocoran
- kondisi lingkungan
- pemakaian
- harga.

Konduktor fluida cair dalam sistem hidrol i k harus mempunyai luas penampang yang cukup besar untuk menghantarkan aliran fluida rata-rata tanpa menimbulkan rugi-rugi kelebihan tekanan. Pipa berlapis baja biasa digunakan untuk konduktor-konduktor kaku dan semi-kaku. Dan pipa fleksibel (selang karet) digunakan apabila cairan fluida harus dihubungkan dengan bagian-bagian mesin bergerak (mesin perkakas, crane, mobil, dan pemakaian pada alat-alat pertanian), atau apabila vibrasi dapat menimbulkan kebocoran pada sistem pemipaannya.

#### ***Kecepatan aliran dalam konduktor***

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Jumlah fluida yang harus melewati konduktor dalam periode waktu yang diberikan (aliran rata-rata), adalah merupakan faktor yang penting dalam pemilihan diameter dalam suatu pipa, tabung, atau pipa fleksibel. Luas penampang pipa yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus :

$$A = \frac{Q}{v} \text{ atau } d = \sqrt{\frac{\text{aliran rata-rata}}{0.785 \times \text{kecepatan aliran}}} \text{ atau } d = \sqrt{\frac{Q}{v \times 0.785}}$$

dimana :

Q = aliran rata-rata (debit)

A = luas penampang pipa bagian dalam

v = kecepatan aliran fluida

Pada prinsipnya ukuran pipa saluran tergantung pada dua faktor:

1. ketebalan dinding pipa, yang harus cukup kuat untuk membawa tekanan fluida bahkan juga diperhitungkan terhadap fluktuasi tekanannya.
2. luas penampang pipa harus cukup besar untuk mencegah penurunan tekanan tidak semestinya. Rugi-rugi tekanan akan menurunkan energi yang dipindahkan dan menimbulkan panas fluida berlebihan.

Diameter luar (mm)	Tebal dinding pipa (mm)	Tekanan maks. terhitung (bar)	Diameter luar (mm)	Tebal dinding pipa (mm)	Tekanan maks. terhitung (bar)
4	1	600	18	3	365
5	1	400	20	2	193
6	1	300	20	3	313
6	2	1300	22	1,5	122
8	1	228	22	3	273
8	2	166	25	2	147
10	1	172	25	3	230
10	2	458	28	1,5	92
12	1	137	28	3	199
12	2	343	30	2,5	119
14	1	128	30	4	265
14	2	303	35	2	100
15	1,5	192	35	4	216
15	2,5	365	38	3	136
16	1,5	177	38	5	261
16	2,5	331	42	2	81
18	1,5	154			

Untuk membantu dalam pemilihan pipa konduktor, dapat digunakan tabel pada Gambar 3.88. Tekanan maksimum yang bakal diterima merupakan faktor penentu dalam pemilihan pipa konduktornya.

*Contoh hitungan:*

Diperkirakan dalam suatu sistem hidrolik kecepatan alirannya 2 m/detik dan aliran rata-ratanya 3 liter/detik. Tentukan diameter dalam pipa yang akan digunakan.

Gambar 3.81 Tabel pemilihan pipa konduktor

$$d = \sqrt{\frac{Q}{v \times 0.785}} = \sqrt{\frac{3}{2 \times 0.785 \times 10^3}} = 0.044m \text{ atau } 44mm$$

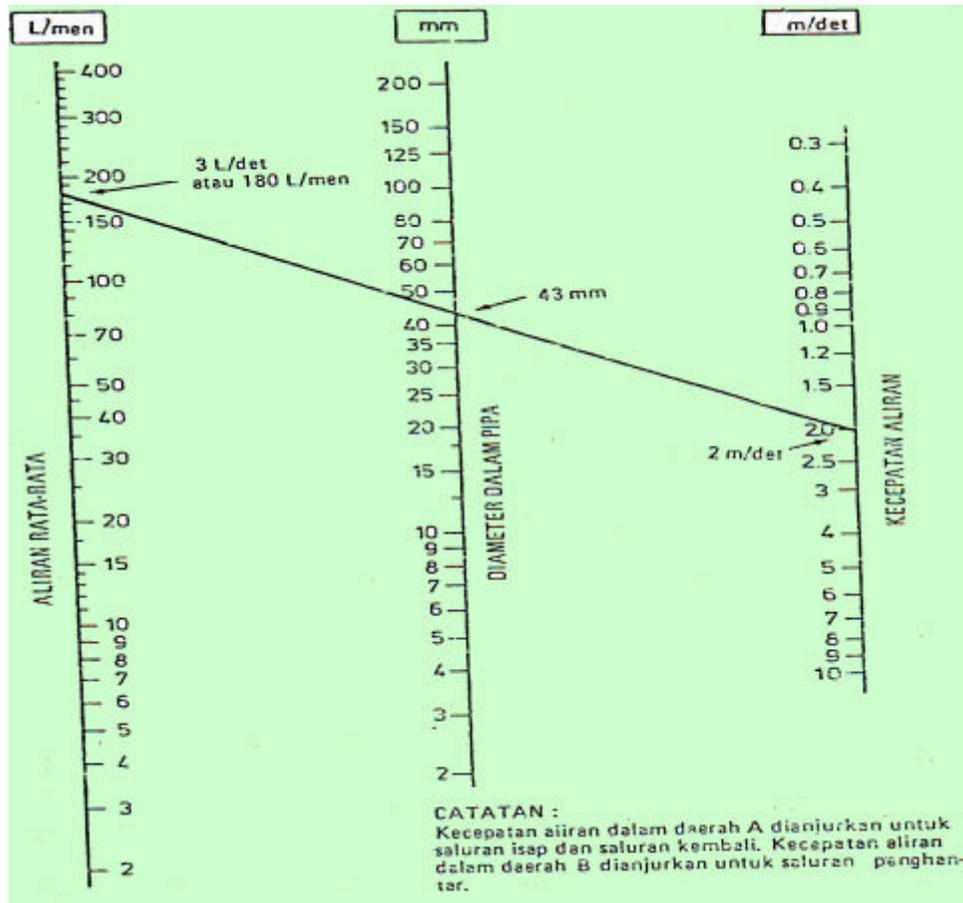
Dapat juga digunakan nomogram aliran rata-rata (Gambar 413) untuk membantu pencarian diameter dalam pipa dengan cepat. Faktor-

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

faktor penentu dalam pemakaian nomogram tersebut adalah aliran rata-rata ( $Q$ ), diameter pipa bagian dalam ( $d$ ), dan kecepatan aliran fluidanya ( $v$ ). Untuk menggunakan nomogram ini diperlukan dua variabel yang belum diketahui. Sebagai contoh perbandingan dengan memakai hitungan dan nomogram didapatkan perbedaan harga. Jadi nomogram digunakan untuk mengetahui harga yang mendekati (empiris).

#### Pipa kaku

Pipa baja berlapis (galvanis) adalah paling banyak digunakan pada instalasi pipa hidrolis terutama pada sistem yang bertekanan tinggi dan statis. Pipa baja ini dapat dibengkokkan menjadi beberapa bentuk belokan.



Gambar 3.82 Nomogram aliran rata-rata

Masalah penyekat pada pipa baja juga bukan hal yang sulit, karena hanya digunakan pada sistem sambungannya saja. Karena banyak

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

belokan yang mudah dibentuk akan mengurangi pipa-pipa penyambung. Pada sistem dengan kecepatan aliran dan tekanan tinggi penggunaan pipa baja (logam) sangat cocok. Karena selain tahan terhadap kejutan, juga rugi-rugi tekanan lebih rendah. Hal ini terlihat sekali dengan bentuk pipanya yang kebanyakan membentuk lintasan lurus. Tetapi harga pipa baja menjadi lebih mahal.

Pipa yang sering digunakan adalah pipa baja tarik. Pipa baja galvanis kurang begitu cocok digunakan, karena lapisan seng bisa terkupas oleh gesekan fluida yang mengalir dan akan merusak katup, pompa, dan elemen-elemen penggerak. Pada prinsipnya pipa yang digunakan tidak harus pipa baja, karena harus dipertimbangkan faktor tekanan dan kecepatan aliran. Bahan-bahan pipa itu bisa terbuat dari tembaga, aluminium, plastik, karet, dan baja.

Pada pipa tembaga penggunaannya terbatas pada sistem hidrolis tekanan rendah dan vibrasi yang ditimbulkan juga rendah. Pipa tembaga cenderung menjadi rapuh apabila terkena erosi dan berhubungan dengan kondisi panas yang tinggi. Pipa aluminium juga kurang tahan pada tekanan tinggi dan mudah terkikis, tetapi mudah dibengkok-bengkokkan. Sedangkan pipa plastik hanya digunakan pada sistem tekanan rendah. Bahan pipa plastik adalah nylon yang banyak digunakan. Pipa baja yang banyak digunakan pada sistem hidrolis ada dua jenis: pipa baja berlapis dan pipa rol. Pipa baja berlapis dibentuk dengan menarik atau ekstrusi panas dari billet. Dan pipa rol dibuat dengan membentuknya memakai rol dari lembaran pelat baja kemudian dilas.

Pada pemilihan pipa saluran (penghantar), ketebalan dinding pipa menentukan kekuatan tegangan pipa. Lebih tebal pipanya akan lebih kuat menerima tekanan dari dalam. Oleh karena itu dalam penggantian pipa, tekanan sistem dan ukuran pipa sangat menentukan. Penggunaan pipa yang berukuran terlalu kecil bisa menimbulkan rugi-rugi tekanan, aliran terbatas, timbul panas, dan akhirnya dari ketiga faktor itu akan mengakibatkan rugi-rugi tenaga. Sedang pemakaian pipa yang terlalu besar menjadi tidak praktis dan boros. Oleh karena itu apabila ingin melakukan penggantian pipa usahakan ukurannya harus tepat, dan sesuai dengan hitungan perencanaan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan pipa adalah :

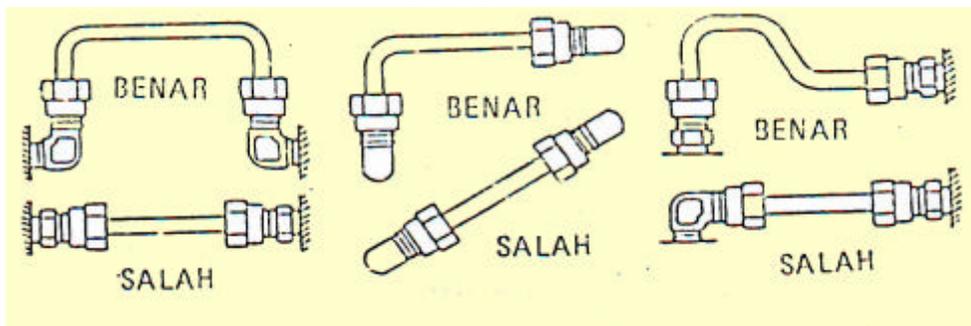
- Penggantian pipa dengan rancangan dan bahan yang serupa.
- Apabila mungkin, menghindari sambungan pada pipa lurus, khususnya pada belokan yang tajam. Alasannya adalah bahwa belokan lurus tidak memberikan ekspansi dan kontraksi yang cukup selama tekanan dan panas berubah-ubah.
- Pada pemasangan pipa panjang, sebaiknya menggunakan siku-siku dan klem untuk mengurangi tegangan dan perubahan bentuk. Seluruh komponen harus disambung dengan sistem ulir untuk

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

membatasi tekanan dan tegangan pada pipa.

- Penggantian pipa harus bersih dan bebas dari karat dan terak. Untuk mendapatkan permukaan dalam pipa yang bersih dan mengkilap, dua metode yang digunakan oleh pabrik pembuat adalah pencelupan dan pembersihan dengan semprotan pasir (sand blasting).
- Untuk memudahkannya dalam pemasangan pipa yang panjang menggunakan penyekat, apalagi kalau salurannya melewati dinding atau ruangan. Hal ini bukan hanya memberi kemudahan dalam pembongkaran tetapi juga sebagai penguat.

Contoh-contoh instalasi saluran fluida hidrol i k dapat dilihat pada Gambar 3.83



Gambar 3.83 Pemasangan pipa saluran hidrol i k

Biasanya pipa dihubungkan dengan ulir luar dan menyekrupkannya ke dalam lubang tirus dalam. Ada dua jenis ulir standar yang telah diterima dalam pemakaian sistem hidrol i k, yaitu National Standard Tapered Thread (NPT) dan National Taper Pipe Thread (NPTF). Pada ulir NPT kontak antara interferensi flens ulir berfungsi sebagai penyekatan. Ulir ini membutuhkan penyekatan kombinasi untuk membatasi kebocoran-kebocoran. Dan pada ulir NPTF kaki dan puncak ulir perpasangan sebelum flensnya menyentuh. Ketika pengikatan ulir dikeraskan, puncak ulir akan hancur dan mengisi profil ulir sehingga akan menyekat sistem sambungan tersebut. Walaupun ulir NPT dan NPTF dapat ditukar-tukar, ulir-ulir penyekat jantan dan betinanya harus tepat betul untuk memperoleh penyekatan optimal.

Di samping menggunakan penyekatan pipa campuran, ulir pipa dan sambungannya dapat juga disekat dengan menggunakan fitting (penyambung) dengan mur pengunci pipa. Fitting mempunyai mur bebas dengan teflon cincin penyekat. Sewaktu pipa dikeraskan dan ditepatkan, mur membentuk sekatan dan mengunci penyambung ke posisi sebenarnya. Penyambung pipa tersedia dalam berbagai model baik ulir jantan maupun betina. Penyambung itu dikonstruksi dari tiga jenis bahan:

- Kuningan dengan ukuran kecil untuk tekanan rendah dan menengah.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

- Besi tuang dengan ukuran besar untuk tekanan rendah dan menengah.
- Baja, dalam berbagai ukuran untuk pemakaian sistem hidrolis apabila pipa menerima tekanan tinggi.

Dalam pemasangan penyambung pipa perlu diperhatikan hal-hal yang sifatnya menekan kebocoran tekanan dan cairan :

- Ketika memotong ulir pipa, diutamakan menggunakan alat pemotong yang masih tajam, dan pendinginan oli cukup. Hal ini akan menjaga kebocoran menjadi minimum.
- Ujung-ujung tajam bekas pemotongan ulir baik pada ulir betina atau jantan harus dihilangkan.
- Semua bentuk kotoran yang menempel pada pipa dan penyambung harus dibersihkan.
- Apabila menggunakan penyekatan campuran hanya diperbolehkan pada ulir jantan sepanjang dua pertiga dari ujung pipa yang berulir. Dan tidaklah tepat bila memakai ulir betina. Bukan campuran (paduan) pipa harus sesuai dengan fluida hidrolisnya, dan penggunaan penyekat tak seharusnya dihindarkan.

Ada kalanya untuk sistem-sistem hidrolis tekanan tinggi menggunakan pipa saluran logam yang dicetak atau dibentuk khusus. Dan hampir semua pipa jenis ini disambungkan dengan suatu penyatuan yang memperbolehkan pengencangan penyambung sementara pipa tetap terpasang. Berjenis-jenis penyambung yang tersedia di pasaran, tetapi perbedaan utama adalah pada bagaimana penyambung itu memberi penyekatan. Dua bagian besar dalam penyekatan adalah penyekatan yang dikembangkan dan tidak dikembangkan.

Penyambung yang dikembangkan digunakan dengan pipa ber-dinding tipis yang akan memudahkan dalam pengembangannya. Penyekatannya adalah kontak antara logam dengan logam. Ujung pipa yang melebar ditekan antara permukaannya sehingga penyambungannya mengikat keras dengan pasangannya. Sudut cerawat (bibir pelebaran) bisa  $37^\circ$  atau  $45^\circ$ . Cerawat bersudut  $37^\circ$  adalah standar sudut yang dipakai untuk alat-alat pertanian dan hidrolis di industri, dan biasa dipakai pada pipa baja (tekanan tinggi). Sedangkan yang bersudut  $45^\circ$  secara luas digunakan untuk industri-industri dengan hidrolis tekanan rendah dan pipa yang dipakai biasanya pipa kuningan.

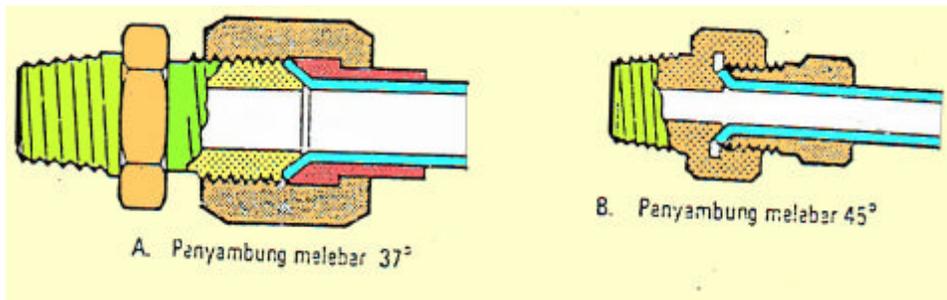
Penyambung pipa yang dikembangkan tersedia dalam beberapa jenis antara lain :

- Penyambung pipa dengan tiga bibir yang dilebarkan mempunyai bagian-bagian badan, sarung, dan mur yang mengikat pipa. Sarung bergerak bebas memberi jarak antara mur dan pipa, menepatkan

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

sambungan dan cincin penutup untuk mengeraskan pengikatan. Keuntungannya adalah gerak penguncian sarung (sleeve), dan pipa yang dilebarkan tidak terputar demikian juga rusak selama pemasangan.

- Penyambung pipa dengan dua bibir dilebarkan tidak mempunyai sarung tetapi menggunakan mur tirus untuk menepatkan dan menyekat ujung pipa yang dilebarkan. Penyambung semacam ini mempunyai kelemahan-kelemahan yaitu: ketika dikeraskan cenderung menjadi bengkok pada ujung melebar yang menyebabkan penyekatan tidak seimbang. Gesekan yang sama sedikit memuntir pipa.
- Penyambung pipa bagian melebar dibalikkan mempunyai sudut  $45^\circ$  pada bagian dalam badan penyambung. Jenis ini digunakan terutama di industri-industri yang menggunakan tekanan rendah.
- Penyambung pipa melebar sendiri (otomatis) dirancang dengan sarung baji. Ketika mur dikeraskan baji menekan ujung pipa dan bagian betinanya membentuk bagian yang melebar. Penyambung ini cukup kuat dan tahan vibrasi walau dengan pengerasan minimal.



Gambar 3.84 Penyambung dengan cerawat  $37^\circ$  dan  $45^\circ$

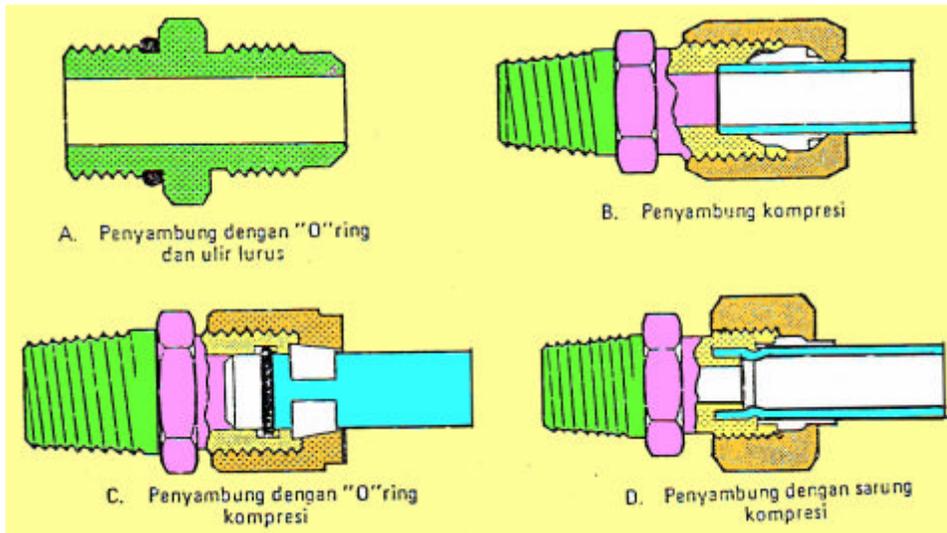
Jenis penyambung pipa yang lain adalah penyambung tanpa bibir melebar. Keuntungan jenis ini adalah tidak memerlukan alat-alat khusus untuk melebarkannya. Penyambung jenis ini tidak terbatas oleh ukuran pipa dan hanya dapat dipakai sekali. Ada tiga jenis penyambung pipa tanpa bibir melebar, yaitu :

1. Penyambung dengan ring penyekat adalah jenis penyambung yang banyak digunakan. Penyambung ini tergabung dalam tiga komponen; badan, mur, dan ringnya sendiri. Bentuk ring baji tertarik ke bawah dengan mengeraskan mur, sehingga akan terbentuk penyekatan yang sempurna antara badan penyambung ring. Pada waktu yang sama, ring tepi pemotong memotong dinding pipa, juga menimbulkan hal-hal positif yang lain.
2. Penyambung tanpa bibir yang dibalikkan menggunakan ring (cincin)

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

penyekat, tetapi penyekat hanya mengambil tempat dibagian dalam atas. Mur ulir jantan digunakan untuk mengeraskan ring ke dalam posisinya. Keuntungan penyambung ini adalah mampu mengurangi sejumlah celah-celah kebocoran.

3. Penyambung sistem kompresi penggunaannya terbatas pada pipa berdinding tipis. Dengan sistem kompresi akan mengkerut ujung pipanya untuk penyekatan. Dengan demikian karena vibrasi (getaran) pada pemakaian-pemakaian tertentu akan mudah lepas. Jenis lain pada penyambung sistem kompresi pada kedua ujung sarungnya, mengkerutkan pipa dua kali antara badan penyambung dan mur jenis penyambung ini terbatas. Penggunaannya pada pipa berdinding tipis apabila tidak terdapat getaran dan tekanannya rendah.



Gambar 3.85 Penyambungan pipa tanpa bibir

Penyambung cincin (o-ring) mempunyai keuntungan mudah diganti elemen penyekatnya. Juga, kondisi ujung-ujung pipanya tidak terkupas semenjak tidak melakukan penyekatan.

Dalam pengikatannya membutuhkan aturan-aturan tertentu untuk menjaga keawetan penyambung pipanya. Aturan paling penting untuk mengeraskan ikatan pipa adalah pengerasan hanya sampai pada cukup rapat dan rapi. Pengerasan berlebihan akan merusak. Apabila perlu dapat menggunakan dua kunci pengikat untuk menghindari puntiran pipa saluran. Ketika penyambung memperlihatkan kebocoran dan kendur, pengerasan kembali hanya sampai pada kebocorannya berhenti. Pengerasan yang berlebihan akan menimbulkan kerusakan lebih besar serta penyebab-penyebab lain yang merugikan.

Pada unit-unit hidrolis yang menghendaki penyambungan yang

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

dapat dilepas dan dipasang setiap saat dengan mudah, cepat, dan tidak bocor digunakan penyambung pipa yang dapat dilepas dengan cepat (quick disconnect couplers). Penyambung ini dilengkapi dengan penyekatan otomatis dan melakukan kerja menutup saluran pada kedua ujungnya bila dalam keadaan dilepas. Sehingga walau salurannya bertekanan dan pipa penyambung itu dilepas tidak akan terjadi kebocoran pada ujung-ujungnya. Sistem sambungan ini tidak membutuhkan pembuangan atau pengeluaran oli pada saat mau dilepas ataupun dipasang. Hal yang perlu diingat bahwa pada mulut-mulut sambungan harus diselipkan penyekat debu untuk menghindari agar debu tidak masuk saluran, terutama saat sambungannya dilepas.

Sambungan ini terdiri dari dua bagian yaitu : badan termasuk didalamnya pegas pengangkat popet atau penyekat, dan bagian yang lain adalah yang diselipkan untuk membuka popet ketika pasangan sambungan dihubungkan. Perlengkapan pengunci menahan pasangan sambungan dan sekaligus menyekatnya.

Sambungan yang dapat dilepas dengan cepat ini terdiri dari empat jenis, yaitu :

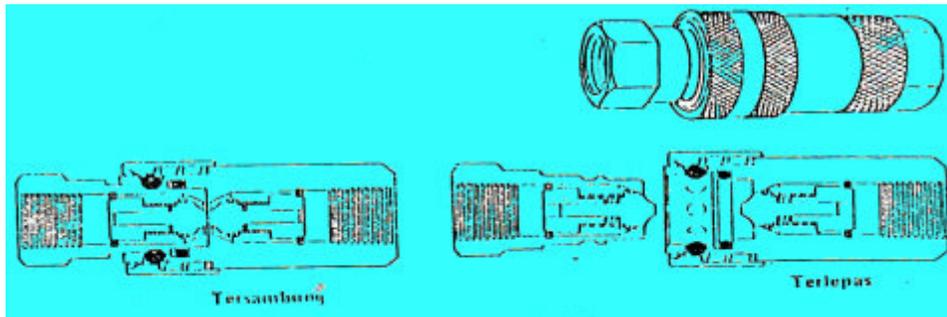
- Popet dobel
- Popet dan sarung
- Penyekat longgar
- Dobel bola berputar.

Penyambung popet dobel mempunyai popet yang menyekat dengan sendirinya pada setiap separo pasangannya. Apabila ditutup popet menyekat ke dalam oli. Ketika disambungkan masing-masing popet saling mendorong dan menggeser dari dudukannya untuk mengalirkan oli. Dan ketika dilepas popet-popet itu menutup kembali oleh gerakan pegas sebelum kedua separo pasangannya melepas penyekatnya. Separo pasangan itu terkunci ditempatnya oleh sebuah cincin bola yang dipasang ke dalam suatu cincin dalam separo sambungan yang diselipkan oleh sarung pegas pembeban luar.

Penyambung pipa jenis popet dan sarung mempunyai sebuah popet yang dapat menyekat dengan sendirinya dalam satu separo pasangan dan satu katup berbentuk pipa dan sarung di dalam penyambung yang lain. Sarung dimasukkan (diselipkan) lebih dulu dan memberikan margin tambahan dari penyekatan terhadap kebocoran oli atau udara masuk.

Penyambung pipa jenis penyekat longgar mempunyai satu pintu bebas bergerak yang menutup saluran (lubang) pada setiap separo pasangan penyambung ketika disambungkan. Jenis penyambung ini menumpahkan banyak oli selama penyambungan, jika dibandingkan dengan jenis lain.

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.86 Penyambung pipa yang dapat dilepas dengan cepat

Jenis penyambung dobel bola berputar dihubungkan dengan penyumbat saluran ke dalam badan penyambung sementara memutar tuas ke posisi sebenarnya. Tuas membuka bola katup dalam kedua penyumbat dan badan, yang memberi kesempatan oli untuk mengalir. Ketika penyambung dilepas, menarik penyumbat saluran dan memutar tuas untuk menutup bola katup tanpa ke bocoran oli.

Perlengkapan pengunci untuk penyambung ini sama dengan jenis popet dobel. Separa pasangan terkunci oleh satu cincin dari bola kecil tertahan dalam alm pad a penyumbat yang diselipkan oleh suatu sarung bagian luar. Jenis penyambung dobel bola berputar mempunyai pelepas kunci otomatis jika saluran-salurannya di tarik kendur. Hal ini sangat berguna ketika melaksanakan penarikan seperti bajak di belakang traktor. Apabila bajak membentur batu, perintang terlepas. Penyambungan dilepas juga melepas saluran pada waktu yang sama tanpa kerusakan maupun bahaya.

#### ***Pipa fleksibel***

Pipa fleksibel yang digunakan pada sistem hidrolis terbuat dari bahan-bahan lapisan elastomerik, fiber, dan anyaman atau tenunan kawat. Pipa fleksibel tersedia dalam berbagai ukuran dan batas-batas tekanan, lapisan pipa fleksibel bagian paling dalam harus cocok dengan fluida yang dialirkan.

Pipa fleksibel (selang) hidrolis secara luas banyak digunakan, karena mempermudah pemasangan dan mempunyai karakteristik meredam kejutan tekanan dan getaran mesin. Pemasangan selang ini tidak begitu memerlukan ketrampilan yang tinggi jika dibandingkan dengan pipa kaku. Meskipun demikian harga pemasangan selang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan pemasangan pipa kaku.

Selang hidrolis untuk industri dan permobilan dibuat menyesuaikan spesifikasi SAE. Dua jenis selang hidrolis yang paling umum digunakan adalah anyaman kawat tunggal (SAE 100 R1) dan anyaman kawat ganda (SAE 100 R2), yang akhirnya membedakan daerah kemampuan

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

menerima tekanan. Pada setiap jenis selang dibuat dalam dua versi dengan ketebalan yang berbeda pada lapisan luar elastomeriknya. Versi-versi selang itu adalah:

- Jenis belah, dengan lapisan luar tebal yang harus dibelah untuk membuka anyaman kawat sehubungan dengan penyambungan bagian ujung, misal SAE 100 R2A.
- Jenis non-belah, dengan lapisan luar tipis yang tidak dilepas bila akan membuat sambungan ujung, misal SAE 100 R1AT.

Penyambungan ujung dibuat menyesuaikan bentuk-bentuk ulir standar dan flens-flens yang digunakan di seluruh dunia. Penyambungan itu dirancang untuk suatu rancangan selang khusus dan tidak dapat diganti-ganti pada jenis selang berbeda. Sebagai contoh, suatu penyambung untuk selang ½" SAE 100 R2A tidak dapat digunakan pada selang ½" SAE 100 R2AT. Lebih lanjut dapat diklasifikasikan menjadi :

1. dapat digunakan lagi (sehubungan dengan kemampuan untuk diperbaiki), dan
2. dipasang tetap (permanen), yang mana lebih lanjut dibagi menjadi :
  - jenis kerut, di mana cincin lembaran baja seperti pipa terpasang menyelip dirusak untuk mengkerutkan selang antara cincin dan penyelip,
  - jenis pallet-swage, di mana cincin ditelangkupkan ke dalam ujung selang untuk mencekam selang antara cincin penyelip yang ditelangkupkan.

Asalkan penyambungannya dipasang dengan benar, secara umum telah menerima bahwa suatu rakitan selang dengan penyambung pallet-swage kurang lebih memberikan umur pemakaian tiga kali lipat rakitan yang sama dengan penyambung yang dapat digunakan lagi. Apabila tekanan puncak atau gelombang tekanan tajam mencapai 200 persen atau lebih dari perhitungan dan penyesuaian tekanan maksimum, selang dan pipa harus dipilih berdasarkan tekanan puncak yang melawan. Tiga daerah (kelas) tekanan biasanya diberikan oleh pabrik pembuat :

1. Tekanan sistem yang dianjurkan (tekanan kerja) pada selang yang dapat dioperasikan terus-menerus.
2. Tekanan pengetesan pada selang yang dijamin untuk tekanan puncak yang melawan.
3. Tekanan penuh pada selang yang akan putus ataupun pecah.

Tekanan kerja yang dianjurkan SAE untuk selang hidrol i k adalah 25 persen atau seperempat tekanan penuh minimum. Batas keamanan memberikan peredaman gelombang tekanan. Untuk perhitungan diameter dalam dapat menggunakan monogram Gambar 3.89 atau formulasi yang diberikan untuk penentuan ukuran pipa. Dalam memilih selang untuk sistem hidrol i k harus dipertimbangkan dalam hal :

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolik

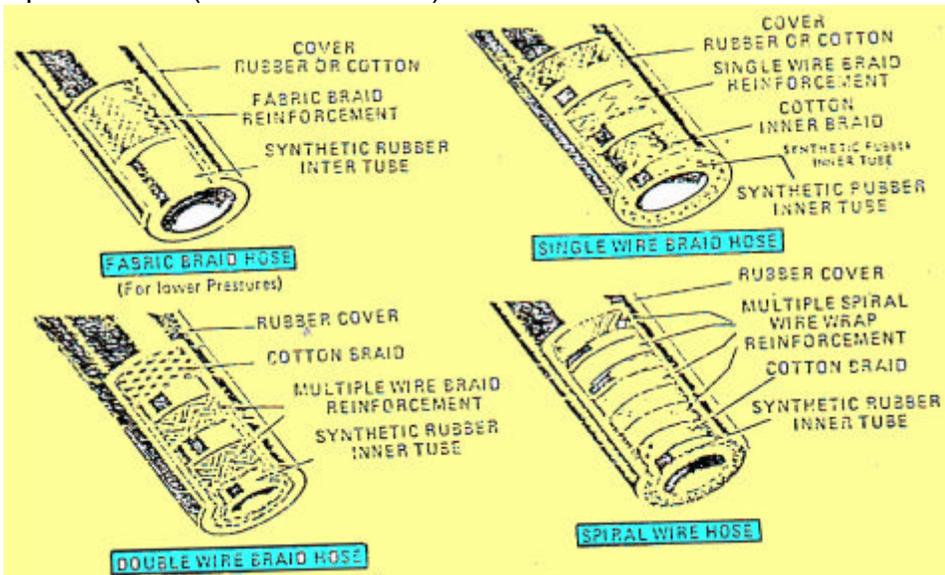
- Kesesuaian ukuran selang terhadap fluida yang dialirkan
- Tekanan dan suhu di dalam sistem untuk menentukan jenis selang yang digunakan.

Perlu diingat bahwa ukuran selang harus betul-betul sesuai dengan persyaratan-persyaratan aliran pada sistem. Selang terlalu kecil terbatas; alirannya, menyebabkan panas berlebihan dan rugi-rugi tekanan. Tetapi, terlalu besar diameter selang yang digunakan tekanan sistem menjadi terlalu lemah. Hal ini dikarenakan selang yang lebih besar harus lebih kuat melawan tekanan yang sama seperti halnya pada selang kecil. Juga, selang terlalu besar harganya pun mahal. Satu faktor lagi yang perlu dipertimbangkan adalah kecocokan bahan selang terhadap fluida yang dialirkan.

Selang untuk hidrolik digolongkan dan ditentukan oleh kekuatan konstruksi dindingnya. Ada empat jenis selang yang umum digunakan pada sistem hidrolik, yaitu :

1. Anyaman tenun
2. Anyaman kawat tunggal
3. Anyaman kawat ganda
4. Kawat spiral.

Pada selang yang mengalirkan tekanan fluida lebih tinggi menggunakan lapisan penguat yang lebih kenyal (kuat) atau lapisan-lapisan ekstra (lihat Gambar 3.94).



Gambar 3.87 Empat jenis selang untuk sistem hidrolik  
Walau demikian tekanan suatu selang akan mengambil ukuran

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

selang bervariasi. Selang yang lebih besar kurang melawan tekanan jika dibandingkan dengan yang lebih kecil pada konstruksi yang sama. Hal ini dikarenakan mempunyai luas penampang yang lebih besar terbuka terhadap tekanan.

Kelas tekanan selang didasarkan pada tekanan kerja sistem. Hal ini harus mampu menahan puncak tekanan maksimum selama sistem beroperasi normal. Suhu oli hidrol i k juga harus dipertimbangkan dalam pemilihan selang. Empat jenis selang secara keseluruhan akan melakukan kerja (operasi) pada panas normal, tetapi ada juga selang-selang yang dirancang khusus untuk keperluan ekstra suhu tinggi.

Ada empat jenis selang yang digunakan pada sistem hidrol i k menurut konstruksi. Selang-selang itu adalah seperti terlihat pada halaman berikut ini

#### SELANG DENGAN ANYAMAN TENUN

##### **Konstruksi**

*Bagian dalam* : Karet sintetis hitam

*Penguat* : Tenunan fiber yang diperkuat dengan kawat spiral untuk mencegah pecah.

*Penutup* : Karet sintetis yang tahan terhadap oli dan lecet karena goresan

*Bagian dalam* : Karet sintetis hitam. kedap oli.

*Penguat* : satu tenunan fiber.

*Penutup* : Karet sintetis hitam, tahan terhadap oli dan goresan.

*Bagian dalam* : Karet sintetis hitam. kedap oli

*Penguat*: Dua tenunan fiber.

*Penutup* : Karet sintetis hitam tahan oli dan goresan.

##### **Pemakaian**

Saluran untuk oli hidrol i k dari mineral, bensin atau bahan bakar minyak yang lain. Untuk saluran isap atau untuk tekanan rendah saluran balik.

*Batas suhu* :

- 40°F sampai + 250°F.

Pemakaian sistem hidrol i k hanya pada saluran balik, atau untuk saluran serbaguna pada bensin, air, campuran-campuran anti beku, dan bahan-bahan kimia.

*Batas suhu*:

- 40°F sampai + 250°F

Pemakaian pada sistem hidrol i k hanya pada saluran balik atau serbaguna pada bahan bakar minyak, bensin, campuran air beku, udara dan bahan-bahan kimia.

*Batas suhu* :

- 40°F sampai + 250°F.

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

*Perhatian :*

Selang anyaman tenun (tekanan rendah) tidak dianjurkan untuk saluran tekanan pada sistem hidrol i k. Maka dari itu, selang-selang tersebut tidak dimasukkan dalam kelompok ini.

#### SELANG ANYAMAN KAWAT TUNGGAL

**Kontruksi**

*Bagian dalam :* Karet sintetis hitam.

*Penguat :* Dua anyaman fiber.

*Penutup :* kawat sintetis tahan oli dan goresan,

**Pemakaian**

Saluran-saluran oli hidrol i k, bahan-bakar, anti-beku, atau saluran-saluran air

*Batas suhu :*

-40°F sampai + 250°F.

*Bagian dalam :* Karet sintetis hitam kedap oli.

*Penguat :* Satu anyaman kawat baja yang mempunyai daya rentang tinggi.

*Penutup:* Karet sintetis hitam dan tahan terhadap goresan dan oli

**Pemakaian**

Saluran oli hidrol i k, bahan bakar minyak, bensin atau air.

*Batas suhu :*

-40°F sampai + 250°r.

#### SELANG ANYAMAN KAWAT GANDA

---

**Konstruksi**

*Bagian dalam :* Karet sintetis hitam kedap oli.

*Penguat :* Dua atau lebih anyaman kawat yang mempunyai daya rentang tinggi.

*Penutup :* Karet sintetis hitam tahan goresan dan oli.

---

**Pemakaian**

Saluran-saluran oli hidrol i k tekanan tinggi, bensin, bahan bakar minyak atau saluran-saluran air.

*Bagian dalam:* Karet sintetis hitam. *Penguat :* Dua atau lebih anyaman kawat yang mempunyai daya rentang tinggi .

*Penutup :* Karet sintetis warna hijau tahan goresan dan oli.

Saluran-saluran hidroiik yang menggu-nakan fluida campuran ester pospat (Seharusnya tidak digunakan dengan oli-oli mineral).

*Batas suhu :*

- 40°F sampai + 200°F.

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

**Catatan :**

Kedua jenis selang anyaman kawat tunggal atau ganda pada jenis pertama secara luas digunakan pada peralatan sistem hidrolis untuk industri dan pertanian. Perlu diingat lagi bahwa selang yang berdiameter lebih besar dianjurkan pemakaiannya untuk tekanan-tekanan lebih rendah, daripada yang berdiameter lebih kecil pada konstruksi yang sama.

#### SELANG KAWAT SPIRAL

Konstruksi	Pemakaian
<p><i>Bagian dalam:</i> Karet sintetis hitam kedap oli.</p> <p><i>Penguat :</i> Kawat baja spiral ganda yang mempunyai daya rentang tinggi dan satu anyaman fiber.</p> <p><i>Penutup :</i> Karet sintetis hitam tahan terhadap goresan dan oli.</p>	<p>Saluran-saluran oli hidrolis yang bertekanan sangat tinggi, atau saluransaluran bahan-bakar minyak.</p> <p><i>Batas suhu :</i> -40°F sampai + 200°F.</p>

**Catatan**

Pemakaian selang kawat spiral dianjurkan apabila dijumpai puncak gelombang tekanannya tinggi. Gelombang (fluktuasi) tekanan dapat menyebabkan bintik-bintik melemah pada selang anyaman kawat yang kurang kuat. Selang yang dikuatkan dengan kawat spiral tidak memperlemah kekuatannya pada fluktuasi yang tinggi.

Tabel di bawah ini akan sangat membantu dalam memilih selang dengan tepat untuk berbagai tekanan pemakaian. Dengan mencocokkan ukuran selang yang diperlukan dan kemudian pada arah mendatar terbaca tekanan kerja sistem yang terdekat dalam pemakaian. Apabila menemukan pada kolom 1, menggunakan selang anyaman kawat tunggal. Jika pada kolom 2, menggunakan selang anyaman kawat ganda, atau pada kolom 3 menggunakan selang kawat spiral.

Tabel pemilihan selang untuk berbagai tekanan

Ukuran selang dalam inch	1. Menggunakan selang anyaman kawat tunggal, bila tekanan kerja sistemnya.	2. Menggunakan selang anyaman kawat ganda bila tekanan kerja sistemnya.	3. Menggunakan selang kawat spiral bila tekanan kerja sistemnya.
$\frac{1}{4}$ "	3000 psi (200 bar)	5000 psi (345 bar)	—
$\frac{3}{8}$ "	2250 psi (150 bar)	4000 psi (275 bar)	5000 psi (345 bar)
$\frac{1}{2}$ "	2000 psi (140 bar)	3500 psi (240 bar)	4000 psi (275 bar)

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

(bersambung)

(lanjutan)

$\frac{5}{8}$ "	1750 psi (120 bar)	2750 psi (190 bar)	—
$\frac{3}{4}$ "	1500 psi (100 bar)	2250 psi (150 bar)	3000 psi (200 bar)
1"	800 psi ( 55 bar)	1875 psi (130 bar)	3000 psi (200 bar)
$1\frac{1}{4}$ "	600 psi ( 40 bar)	1625 psi (112 bar)	3000 psi (200 bar)
$1\frac{1}{2}$ "	500 psi ( 35 bar)	1250 psi ( 85 bar)	3000 psi (200 bar)
2"	350 psi ( 25 bar)	1125 psi ( 77 bar)	2500 psi (170 bar)

#### ***Kerusakan-kerusakan pada selang***

Apabila selang rusak lebih awal, kemungkinan-kemungkinan kerusakan yang terjadi adalah: retak, sobek (belah), kebocoran-kebocoran kecil, panjang selang yang tidak tepat, gesekan, panas, puntiran, pemilihan selang yang salah, penyambung salah, atau peletakan yang tidak tepat.

Retak atau robek pada lapisan luar (penutup) selang adalah umum dan tidak selalu berarti selang hancur. Kedalaman kerusakan adalah hal yang penting. Oleh karena itu harus dilihat secara teratur terutama pada rangkaian-rangkaian tekanan tinggi.

Kebocoran-kebocoran kecil sebesar lubang ujung jarum sangat sulit sekali untuk mendeteksinya. Tetapi kebocoran yang sangat kecil dapat bertambah dan membesar dalam beberapa minggu kemudian, dan dapat menimbulkan bahaya kebakaran atau luka pada kulit.

Panjang selang yang tidak tepat dapat berarti bahwa selang terlalu pendek terulur karena tekanan atau terlalu panjang memberi kesempatan terhadap bahaya-bahaya dari bagian-bagian bergerak. Oleh karenanya selang akan menjadi rusak. Gesekan-gesekan penutup selang sampai lusuh, memperlemah lapisan penguatnya, sehingga lambat laun akan merusak selang lebih awal. Pengkleman atau perlindungan pada selang adalah metode untuk mengatasinya.

Panas dari sistem gas buang mesin dan radiator dapat merusak selang. Yakinkan bahwa semua selang-selang ditempatkan jauh dari bagian-bagian yang panas atau paling tidak harus diberi penyekat atau terlindung dari kontak langsung.

Puntiran dapat membatasi aliran oli dan juga merusak selang. Bengkokan atau tekukan merupakan bagian dari rancangan selang, tetapi puntiran tidak. Penyebab utama puntiran adalah ketika satu ujung selang dihubungkan tidak satu sumbu terhadap bagian-bagian bergerak. Untuk membetulkannya, selang diklem pada ujung, dimana mulai terdapat puntiran, membagi gerakan selang ke dalam dua bagian (bidang). Apabila beberapa puntiran tidak dapat dihindarkan, seharusnya

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

cliberi kebebasan sebanyak mungkin. Ketika menyambung selang, seharusnya ditahan untuk menghindari puntiran karena pengerasan pada ujung penyambung.

Pemilihan selang yang salah terjadi ketika selang-selang yang digunakan adalah salah ukuran atau kelas tekanannya. Hubungan antara ukuran selang dengan tekanan yang diterima dapat dilihat pada tabel di muka. Pemilihan selang yang salah dapat menyebabkan berbagai kerusakan-kerusakan di atas.

Kesalahan penyambungan mungkin terjadi pada penggantian penyambung tidak cocok (sesuai) terhadap ukuran atau model selang.

Hancur pada selang saluran isap adalah jenis kerusakan yang lain, ini kelihatannya sepele. Tetapi hal ini mungkin sekali bahwa lapisan karet bagian dalam selang saluran isap ketika mulai memburuk, hancur ke dalam, secara keseluruhan menutup aliran, tanpa menunjukkan gejala-gejala (tanda-tanda) kehancuran dad luar. Bunyi pompa berisik, penurunan (pengurangan) tekanan atau tidak ada gerakan sama sekali adalah indikasi hancurnya saluran isap. Penempatim yang tidak tepat adalah penyebab utama kerusakan selang. Termasuk di sini puntiran dan goresan, juga tekukan yang tajam, selang yang terlalu panjang atau pendek, terlalu banyak menggunakan penyambung, dan metode penyambungan yang salah. Karena begitu banyak kemungkinan-kemungkinan penyebabnya, harus hati-hati dalam mengambil langkah ulang untuk mengatasinya.

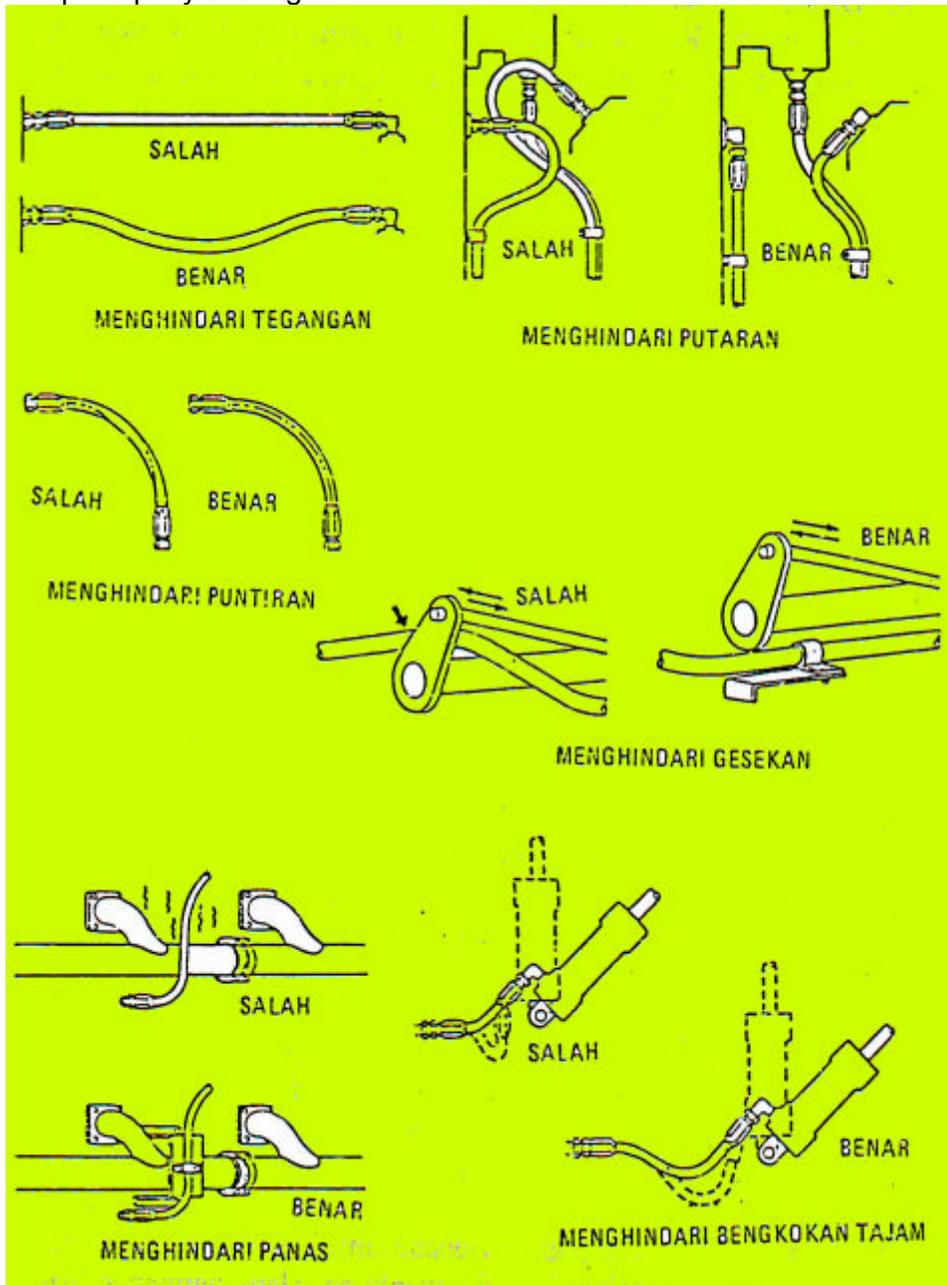
#### ***Pemasangan selang***

Setelah mempelajari kemungkinan-kemungkinan kerusakan yang terjadi pada selang kemudian di bawah akan dibahas mengenai pemasangan selang. Tentu saja selang yang akan dipasang telah memenuhi persyaratan dalam berbagai faktor suatu sistem hidrol i k. Paling tidak ada enam aturan dalam pemasangan selang hidrol i k.

1. Tegangan selang harus dihindarkan. Meskipun ujung-ujung selang tidak melakukan gerakan satu sama lainnya, harus diberikan kelonggaran-kelonggaran untuk mencegah terjadinya tegangan. Selang yang tegang cenderung menonjol dan memperlemah tekanan fluida yang dialirkan.
2. Pemasangan memutar juga harus dihindarkan. Dengan menggunakan penyambung menyudut mencegah pemutaran yang panjang. Pemasangan cara ini dapat dilakukan dengan memotong selang dan membuat instalasi yang lebih rapih dan sederhana (lihat Gambar 3. 95).
3. Menghindarkan pemasangan terpuntir. Selang akan menjadi lemah (mengendur) dan penyambungannya kendur (lepas) dengan pemasangan selang terpuntir baik selama pemasangan maupun mesin beroperasi. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan klem

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

atau memberikan kebebasan selang bila perlu. Dan perlu diingat bahwa mengencangkan penyambung pada selang bukannya selang pada penyambung.



Gambar 3.88 Pemasangan selang hidrol i k

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

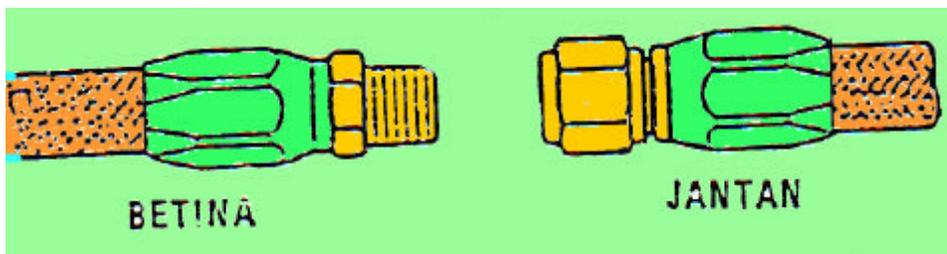
4. Menghindari gesekan. Klem atau sarung selang harus terletak bebas dari bidang-bidang tajam yang bergerak. Apabila hal ini tidak mungkin, dapat menggunakan perlindungan selang terbuat dari pegas kawat atau sarung pelat.
5. Mungkin dad panas. Peletakan selang jauh dari permukaan-permukaan (bidang) yang panas seperti manifold mesin. Apabila hal ini tidak mungkin maka selang harus dilindungi dengan memakai bahan-bahan tertentu sehingga panas tidak terkonduksi ke dalam selang.
6. Dalam pemasangan selang hidrolis bengkokan tajam harus dihindarkan. Radius bengkokan tergantung pada konstruksi selang, ukuran dan tekanan. Biasanya pabrik-pabrik pembuat telah menganjurkan batas-batas tertentu untuk bengkokan setiap selang. Pada tekanan lebih rendah, diijinkan bengkokan lebih tajam. Apabila mungkin peletakan selang ulang diambil untuk menghindari bengkokan-bengkokan tajam. Atau memberikan kelebihan panjang ekstra tetapi kekakuan atau putaran tetap dijaga. Tetapi perlu diingat hanya selang fleksibel, bukannya penyambung.

#### **Penyambung selang**

Dalam sistem hidrolis penyambung selang yang digunakan ada dua jenis, yaitu :

1. Penyambung - bagian dari selang yang mempunyai soket dan nipel atau sarung.
2. Adaptor - bagian terpisah untuk menyambung penyambung selang ke saluran lain.

Penyambung dan adaptor keduanya disebut penyambung betina dan jantan. Penyambung betina berongga berpasangan dengan jenis jantannya (lihat Gambar 3.96). Penyambung selang terbuat dari baja, kuningan, baja tahan karat, atau dalam beberapa pemakaian terbuat dari plastik. Baja adalah yang umum dipakai karena mampu melawan tekanan dan panas yang tinggi.



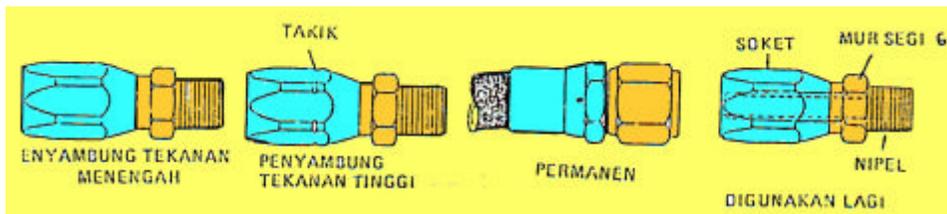
Gambar 3.89 Penyambung betina dan janta

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

Penyambung selang juga dirancang untuk sambungan permanen atau dapat digunakan lagi. Penyambung selang permanen biasanya dibuang setelah dipakai, dan tidak dapat digunakan lagi. Penyambung ini dikerutkan pada selang. Di negara-negara maju agen-agen komponen hidrolis mempunyai mesin pengkerut tersendiri yang dapat membuat rakitan selang dengan menggunakan penyambung permanen.

Penyambung selang dapat digunakan lagi juga disekrupkan, diklem, atau ditekan pada selang. Apabila selang telah rusak karena dipakai, penyambungnya dapat diambil dan digunakan pada selang baru potongan dari persediaan. Hampir semua penyambung yang dapat digunakan lagi dapat diubah ke jenis ulir yang lain dengan mengubah nipel dalam soket. Penyambung yang dapat digunakan lagi harganya sedikit lebih mahal dari yang permanen.

Penyambung selang tekanan menengah dan tinggi bila dilihat sekilas mempunyai bentuk sama. Akan tetapi masing-masing harus dibedakan untuk pemakaian yang tepat. Biasanya dijual atau diperdagangkan oleh pabrik pembuat, penyambung untuk tekanan tinggi mempunyai takik, sedangkan untuk tekanan menengah tidak. (lihat Gambar 3.90)



Gambar 3.90 Penyambung selang

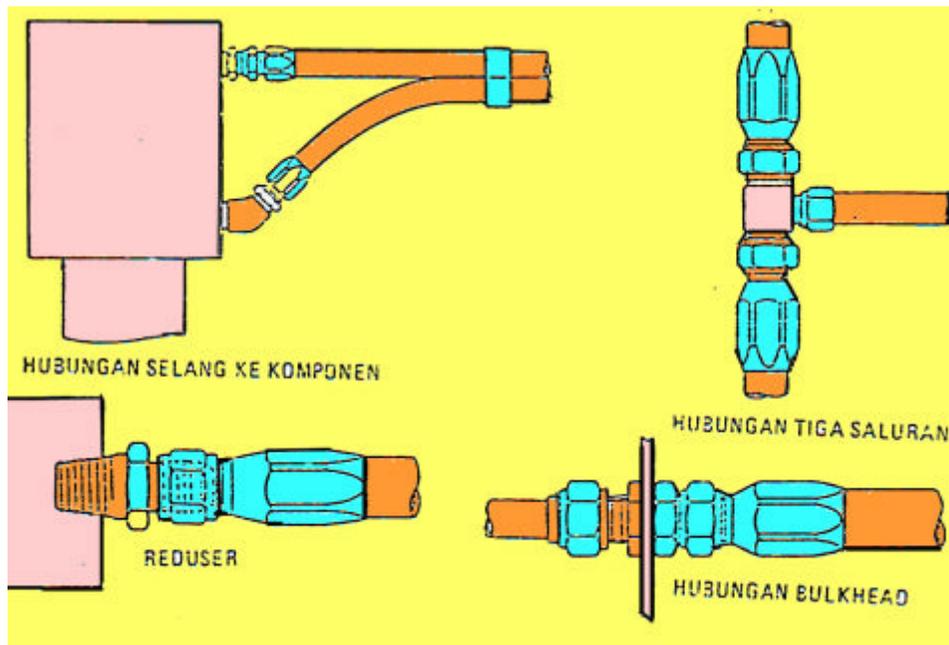
Apabila selang dan penyambung tidak berpasangan dengan tepat dapat menyebabkan penurunan tekanan, panas memuncak, selang pecah, dan kerusakan-kerusakan lain.

Adaptor selang adalah bagian terpisah untuk menghubungkan penyambung selang ke saluran atau penyambung yang lain. Karena hampir seluruh komponen-komponen hidrolis mempunyai lubang dengan ulir pipa tirus, adaptor sering diperlukan untuk pemasangan yang tepat.

Adaptor digunakan dalam empat cara :

1. Untuk menghubungkan penyambung ke suatu komponen.
2. Untuk menghubungkan dua saluran (penyambung) atau lebih
3. Untuk mengganti busing atau reduser.
4. Untuk menghubungkan saluran dan jangkar (penyambung pada dinding pemisah).

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k



Gambar 3.91 Empat penggunaan adaptor

Di samping aturan-aturan untuk pemasangan selang, perlu dipelajari juga bahwa pada pemasangan penyambung selang juga mempunyai aturan-aturan tertentu pula. Ada dua belas aturan yang seharusnya dipenuhi untuk mendapatkan pemasangan penyambung yang baik.

1. Kelas tekanan kerja penyambung selang seharusnya sesuai dengan kelas tekanan selangnya.
2. Penggantian penyekat harus betul-betul cocok terhadap pasangan penyambung.
3. Menggunakan penyambung selang elbow atau adaptor bibir melebar bila mungkin sebagai ganti adaptor pipanya.
4. Memperbaiki peletakan saluran dengan menggunakan elbow atau adaptor  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ .
5. Memasukkan rakitan selang ujung jantan sebelum ujung betinanya.
6. Pengencangan mur putarnya hanya sampai cukup, jangan sampai berlebihan.
7. Pengencangan ikatan hanya mur nipel segi enam, bukannya soket.
8. Menggunakan bahan penyekat pada ulir jantannya, dan bahan penyekat campuran harus sesuai dengan oli hidroliknya.
9. Menggunakan kunci-kunci ujung bebas (terbuka) untuk pemasangan, dan tidaklah dibenarkan bila menggunakan kunci pipa.
10. Menggunakan dua kunci bila perlu untuk mencegah puntiran pada

selang.

11. Mengeraskan ikatan penyambung pada selang dan bukannya selang pada penyambung.
12. Seperti aturan pada umumnya, mengeraskan penyambung sampai kekerasan jari kemudian menggunakan kunci untuk mengeraskan penyambung dua putaran ekstra. Apabila kebocoran masih terjadi setelah pengoperasian, dikeraskan lagi satu putaran ekstra, atau sampai kebocoran berhenti.

Kebocoran adalah kerusakan yang paling umum terjadi pada penyambung selang. Biasanya kebocoran adalah akibat dari ulir yang terkupas, O-ring yang rusak, atau penyekat tidak cocok.

Dalam berbagai hal, kerusakan diakibatkan dari perakitan penyambung yang tidak tepat pada ujung-ujung pipa. Kerusakan awal dapat disebabkan oleh pengerasan (pengencangan) mur putar yang melebihi sementara membiarkan ulir pipa kendor. Kemungkinan kerusakan lain disebabkan terlalu banyak penyekat yang membatasi aliran dan mengotori oli hidrolis. Penyambung soket retak kemungkinan hasil dari pemakaian soket tekanan rendah dalam suatu sistem tekanan tinggi.

#### **Anjuran pemasangan**

Apabila harga bahan tidaklah menjadi masalah, pemipaan (tabung baja) lebih disukai daripada pipa biasa untuk memperbaiki dalam hal penyekatan, mudah digunakan kembali, dan cepat untuk memperbaikinya. Selang fleksibel juga tidak perlu dibatasi pemakaiannya pada bagian-bagian bergerak. Pada selang fleksibel ini sangat sesuai untuk jarak-jarak pendek dan mempunyai kemampuan meredam kejutan.

Penyambung-penyambung sistem hidrolis seharusnya dari baja, terkecuali untuk saluran masuk, saluran kembali dan saluran pembuang, cukup memakai besi yang bersifat dapat dibentuk. Penyambung dari pipa galvanis harus dihindarkan, karena seng akan dapat bereaksi dengan aditif oli. Pemipaan tembaga juga harus dihindarkan, karena vibrasi dalam sistem hidrolis dapat memperkeras kerja tembaga dan menyebabkan retak-retak pada bibir melebar penyambung. Lebih dari itu tembaga mengurangi umur pemakaian oli.

Pemasangan yang benar dan tepat adalah hal yang penting untuk menghindari kebocoran-kebocoran, kontaminasi sistem dan operasi yang berisik. Berikut adalah anjuran dalam pemasangan saluran fluida sistem hidrolis.

#### **Kebersihan**

Oli yang kotor adalah penyebab utama kerusakan dalam sistem hidrolis. Komponen-komponen presisi khususnya mudah terkena kerusakan dari sisa-sisa instalasi pemipaan. Oleh karena itu haruslah

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

hati-hati untuk membuat instalasi pemipaan yang betul-betul bersih. Dalam pemasangan instalasi pipa, bekas-bekas pemotongan pelebaran bibir penyambung, ulir, dan potongan potongan penyekat harus diperhatikan bahwa partikel-partikel itu tidak tertinggal. Karena partikel ini dapat menyebabkan kontaminasi pada oli.

Pembersihan dengan semprotan pasir (sand - blasting), pencucian, dan pencelupan adalah metode-metode yang dianjurkan untuk memperlakukan pipa dan pemipaan sebelum mereka dipasang. Untuk lebih jelasnya, informasi pada proses ini dapat diperoleh dari pabrik pembuat komponen dan dari distributor perlengkapan pembersihan.

Saluran-saluran hidrolis yang panjang mudah terkena vibrasi (getaran) dan kejutan ketika fluida yang mengalir melaluinya dengan tiba-tiba dihentikan ataupun dibalik. Kebocoran dapat disebabkan oleh kekendoran atau pengerjaan-pengerjaan keras sambungan-sambungannya. Oleh karena itu saluran harus ditahan dengan klem atau siku-siku. Biasanya, hal ini untuk menjaga penahan terpisah dari penyambung untuk mempermudah pemasangan maupun pembongkaran. Bahan-bahan dari kayu dan plastik adalah bahan terbaik untuk maksud ini.

Dalam pemasangan saluran oli hidrolis ada beberapa pertimbangan-pertimbangan khusus sehubungan dengan fungsinya.

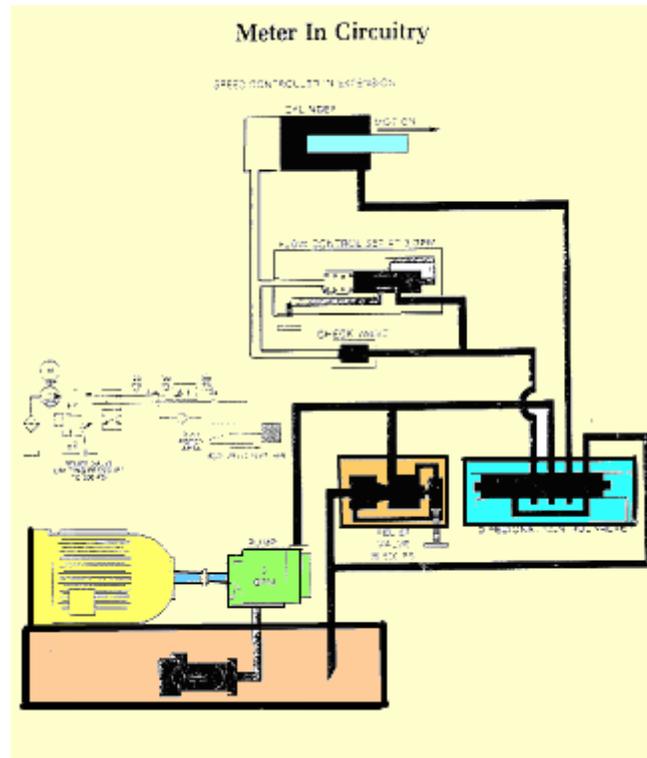
- Saluran masuk pompa biasanya lebih besar daripada saluran tekan (outlet) untuk mengakomodasikan saluran masuk yang lebih besar. Dalam praktiknya hal ini untuk memperkecil ukuran panjang saluran masuk pompa. Salurannya dibuat sebesar yang ditentukan dan sependek mungkin. Bengkokan-bengkokan harus dihindari dan diusahakan penyambung pada saluran masuk sedikit mungkin.
- Saluran masuk pompa mesti terjadi kevakuman apabila dalam keadaan bekerja, maka sambungan pada saluran masuk harus betul-betul rapat dan keras. Jika tidak udara dapat masuk ke sistem dan akan menyebabkan kavitasi.
- Dalam saluran kembali, retriksi menyebabkan tekanan menjadi naik sehingga terjadi pemborosan tenaga. Ukuran-ukuran saluran seharusnya sesuai dan cukup untuk menjamin aliran rata-ratanya rendah. Demikian juga penyambung dan bengkokan-bengkokan harus dibuat minimum.
- Saluran kembali yang masuk ke reservoir kendor juga dapat membiarkan udara masuk sistem dengan sendirinya. Maka salurannya harus keras dan kosong di bawah batas permukaan oli untuk mencegah percikan dan pengisian udara.

Saluran-saluran antara elemen penggerak dan katup pengatur pendek (dekot) untuk menjaga ketelitian pengaturan alirannya.

**3.9. Meter-in, Meter-out, dan Bleed off**

**3.9.1. Meter in**

Adalah suatu sistem hidrolis dimana input sistem tersebut harus diatur jumlah aliran fluidanya, agar tidak membahayakan sistem hidrolis tersebut.



Gambar 3.99 Prinsip operasi meter-in

**Keterangan prinsip operasi meter in**

Pada rangkaian meter in, kontrol aliran ( flow control) dipasang sebelum fluida masuk ke silinder (flow control dipasang diantara aktuator dan pompa hidrolis). Sehingga disini fluida yang akan masuk kedalam aktuator akan berkurang misalnya fluida yang keluar dari pompa sebesar 5 galon per menit, maka oleh flow kontrol yang dialirkan menuju ke aktuator menjadi 3 galon per menit, Sedangkan yang 2 galon dialirkan kembali menuju reservoir melalui relief valve (lihat gambar 3.99).

Sehingga tekanan kerja yang berasal dari directional control valve cukup besar dapat diatur (diturunkan) melalui control valve ini, dan akibatnya gerakan aktuator pun terkontrol dengan baik.

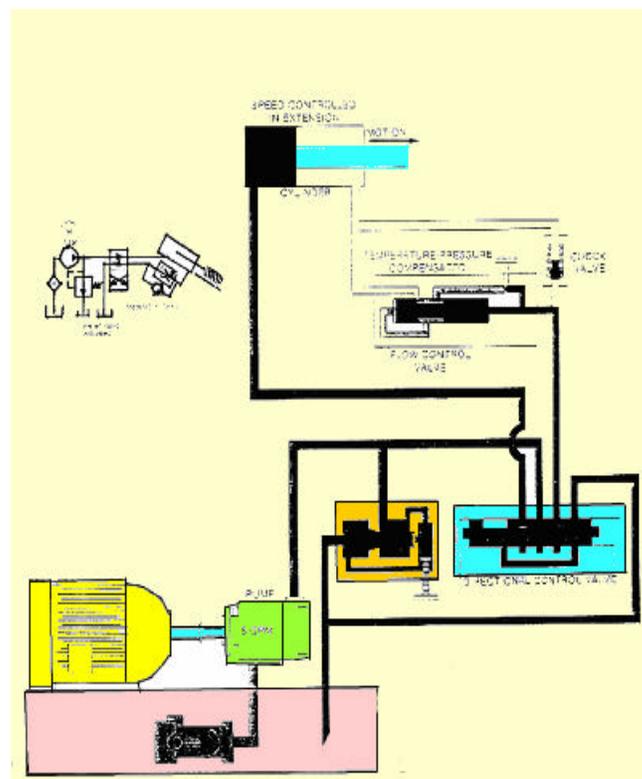
#### Keuntungan rangkaian meter in

Pada rangkaian ini gerakan silinder dapat diatur dengan baik oleh flow control valve, disamping itu pula tekanan fluida yang masuk ke aktuator tidak terlalu besar hal ini disebabkan sebagian tekanan fluida dialirkan kembali ke reservoir melalui relief valve.

Kekurangan dari meter in adalah bahwa beban dapat bergeser karena tidak ada penahan pada aliran ke luar.

#### 3.9.2. Meter Out

Adalah suatu hidrolis dimana output sistem tersebut harus diatur jumlah aliran fluidanya agar gerakan piston atau komponen yang lain jadi lembut.



Gambar 3.92 Prinsip operasi meter-out

#### Keterangan prinsip operasi meter out

Pada rangkaian meter out, komponen flow control valve diletakkan setelah aktuator, sehingga fluida yang keluar dari pada pompa tanpa dikurangi aliran fluidanya langsung ke aktuator melalui directional control valve,

---

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

akibatnya aktuator akan bergerak maju dengan secepat dari pengaturan meter-out yang diperbolehkan.

Pada rangkaian motor out ini tidak terdapat drop pressure (penurunan tekanan).

Contoh rangkaian ini biasanya digunakan pada mesin boring (melebarkan lubang) , mesin drilling (pembuat lubang) dan mesin potong (sawing). Kecepatan yang tidak terkontrol saat benda sudah terpotong adalah sangat berbahaya.

#### **Keuntungan rangkaian meter out**

Tenaga (tekanan) yang dihasilkan pada rangkaian ini cukup besar karena tidak terjadi drop tekanan hanya pada rangkaian meter in.

#### **3.9.3. Bleed-off**

Jenis rangkaian kontrol yang lain selain meter in dan meter out adalah jenis rangkaian kontrol Bleed off Circuit.

Pada rangkaian ini fluida hidrol i k setelah keluar dari pompa akan direduksi oleh dua tingkat komponen hidrol i k masing-masing oleh flow control valve dan relief valve, akibatnya konsumsi tenaga/dayanya lebih baik jika dibandingkan oleh meter in maupun meter out.

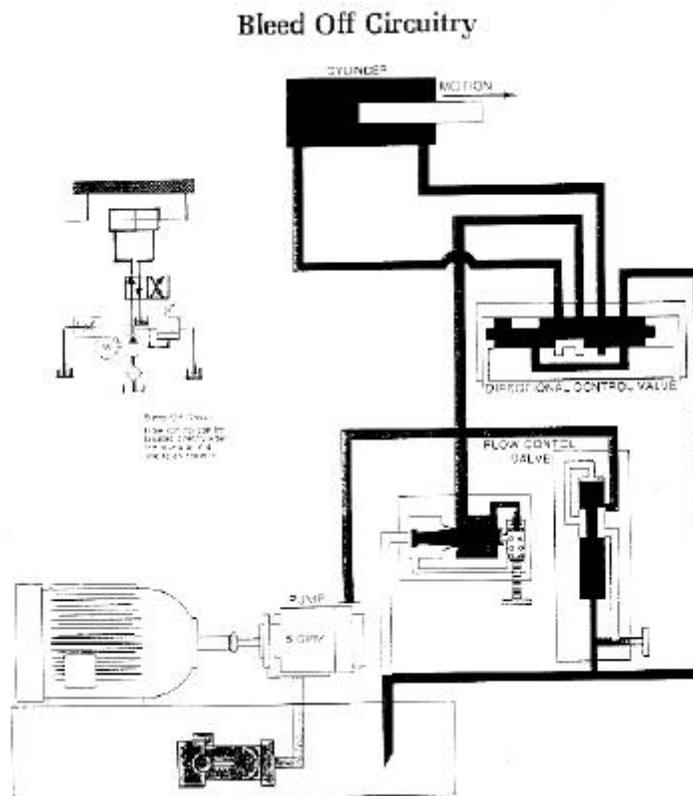
Disini flow control valve tidak mengontrol fluida secara langsung, akan tetapi flow control valve mengontrol arah aliran fluida yang menuju directional control valve.

Pada saat flow kontrol valve terbuka, akan terjadi bleed off pada delivery pump sehingga gerak silinder akan diperlambat. Dengan mengatur pembukaan flow control valve pada bleed off dapat diatur kecepatan dari gerak silinder.

Dalam hal ini tidak seperti pada meter in atau meter out tidak terjadi aliran lebih pada relief valve dan pompa akan bekerja pada tekanan yang diperlukan untuk menggerakkan beban pada silinder, sehingga mampu mengurangi energi.

Catatan : Rangkaian bleed off ini tidak akan mampu menahan beban untuk bergerak cepat. Contohnya sewaktu proses pemotongan dengan alat potong hidrol i k tercapai maka silinder akan bergerak cepat, karena tidak ada lagi beban.

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 2-3

Keterangan prinsip operasi Bleed off circuit

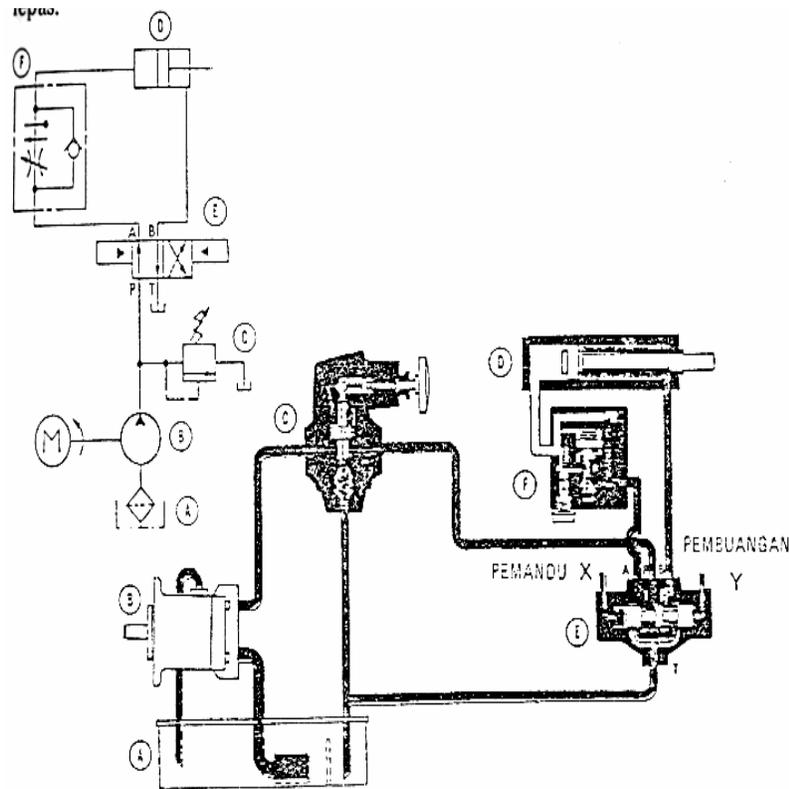
Gambar 3.93 Prinsip operasi bleed-off

Rangkaian Bleed off ini biasanya digunakan pada meja gerinda atau rangkaian untuk mengangkat benda yang vertikal.

#### **Prinsip kerja pengatur jumlah fluida yang masuk**

Gambaran pada gambar 3.102 rangkaian dibawah ini menunjukkan prinsip kerja dari kondisi pengontrolan masuk.

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis

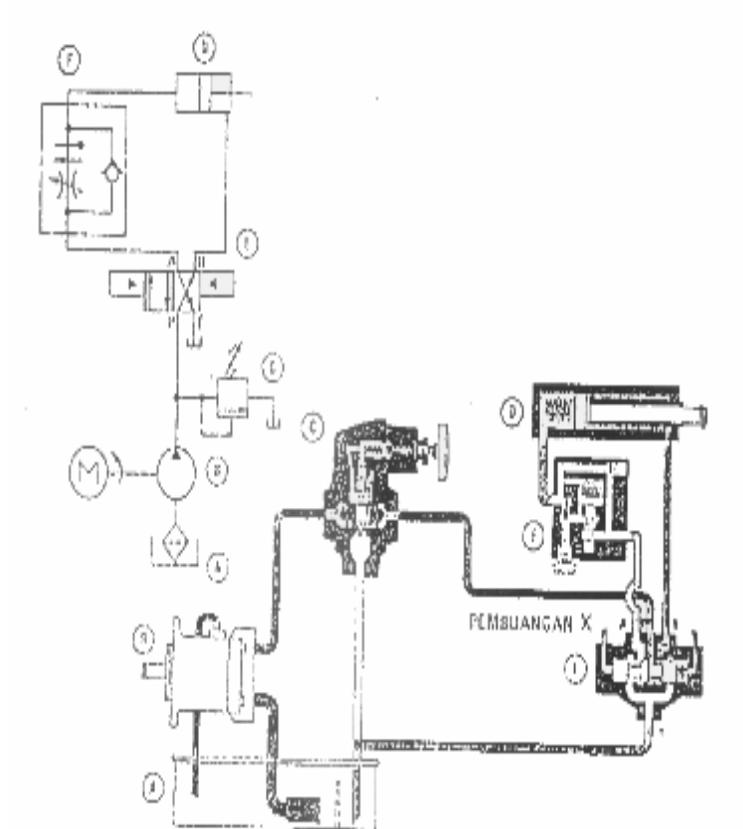


KONTROL ALIRAN METER-IN KONDISI PENGONTROLAN MASUK

Gambar 3.94 Kondisi pengontrolan masuk

Apabila kondisi silinder yang dikontrol pada saat gerakan maju maka diagramnya seperti diatas, gerakan aliran fluidanya adalah sebagai berikut : Fluida yang berasal dari tangki (reservoir ) akan dipompa melalui (B), oleh pompa fluida tersebut pertama semua fluida dialirkan melalui valve pengarah (directional control valve (E) setelah tekanan fluidanya melebihi tekanan yang distel pada relieve valve maka sebagian lagi dialirkan melalui relief valve ( C ) akibatnya fluida masuk ke tangki.

Setelah fluida dapat melalui directional control valve (E) dan kondisi directional control valve seperti gambar diatas, maka fluida mengalir lagi melalui pressure/ temperature compressed flow control valve (f) untuk dialirkan ke silinder (D), akibatnya silinder bergerak maju dan oleh karena semua fluida dari pompa tidak semuanya masuk ke silinder maka sebagian fluida akan mengalir melalui relief valve.



Gambar 3.95 Kontrol aliran kondisi bebas

#### KONTROL ALIRAN METER-IN KONDISI BEBAS

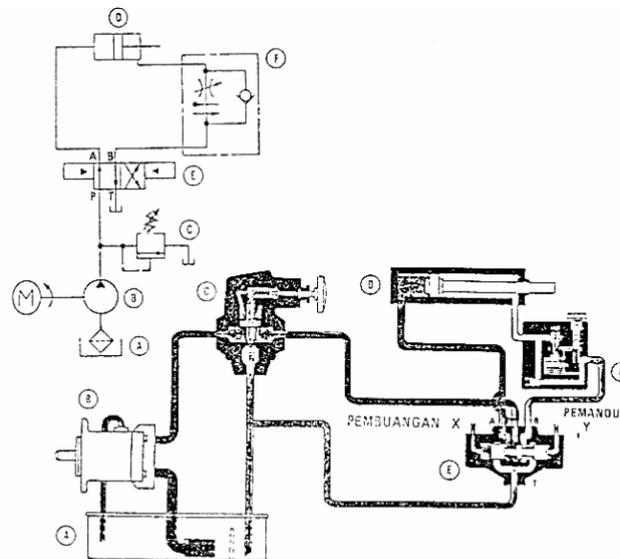
Untuk keadaan yang lain kontrol aliran masuk dengan kondisi aliran bebas gambar skematiknya dapat diterangkan sebagai berikut.

Setelah fluida mengalir ke Directional Control Valve (E) melalui input titik p maka fluida akan masuk ke silinder (D) akibatnya silinder (D) masuk kedalam tanpa kontrol.

Sedangkan fluida yang ada didepan piston akan terdorong keluar melalui valve pilot dan masuk ke directional control valve melalui titik A untuk menuju ke tangki.

Setelah piston mencapai posisi maksimum ke belakang maka tekanan fluida akan meningkat dan membuka relief valve sehingga fluida akan mengalir melalui relief valve menuju tangki.

**Prinsip kerja pengatur jumlah fluida yang keluar ( meter out )**



KONTROL ALIRAN METER-OUT KONDISI PENGONTROLAN ALIRAN KE LUAR

Gambar 3.96 Kontrol aliran meter-out kondisi pengontrolan aliran keluar

Apabila dikehendaki jumlah fluida yang keluar diatur maka rangkaianannya disebut meter out. Sebenarnya rangkaian sama dengan kondisi meter in, hanya bedanya terletak pada posisi bagian keluar dari silinder. Pada meter in, flow control valve diletakkan sebelum fluida masuk kedalam silinder, sedangkan pada meter out flow control valve diletakkan setelah silinder.

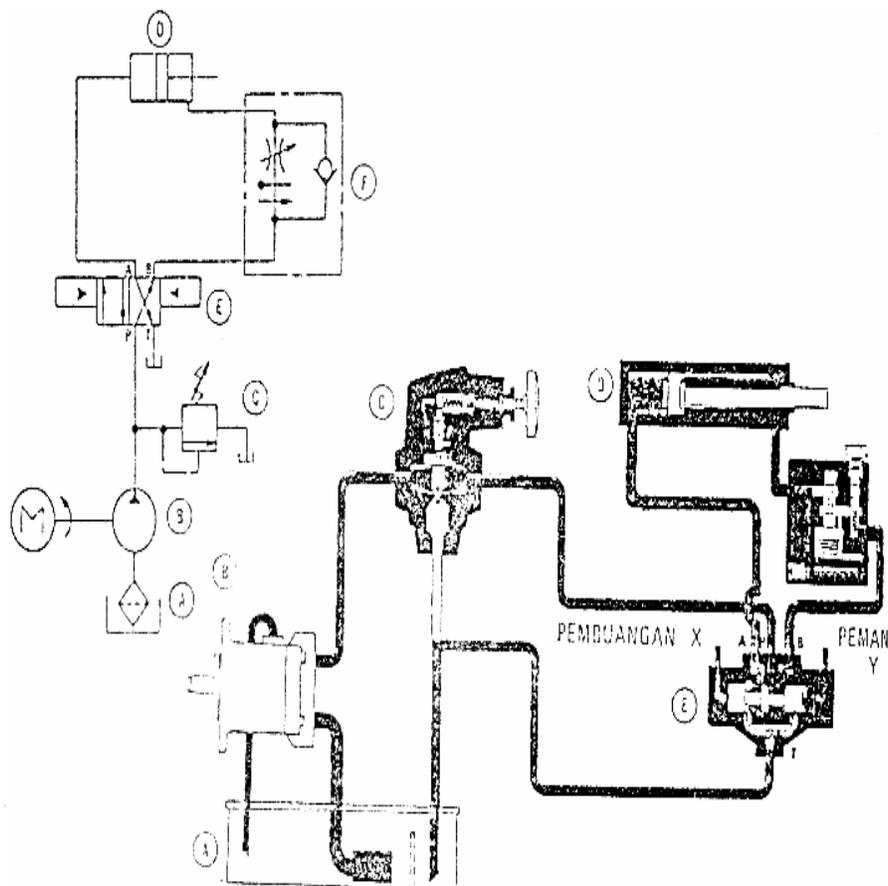
**Prinsip kerjanya**

Fluida yang berasal dari tangki (reservoir) A, akan mengalir melalui filter menuju pompa (B). Apabila kondisi fluida yang mengalir cukup banyak dari pompa, maka sebagian fluida dialirkan ke directional control valve (E), dan sebagian lagi dialirkan melalui relief valve yang sudah diatur alirannya untuk dialirkan menuju tangki. Hal ini akan terjadi jika telah dicapai tekanan maksimum sistem.

Fluida yang mengalir ke Directional Control Valve (B) akan mengalir dari titik P menuju titik A (kondisi seperti gambar).

Fluida yang keluar dari Directional Control Valve (titik A) tanpa dikontrol akan langsung menuju ke silinder, akibatnya torak bergerak maju (piston rod bergerak keluar), Fluida yang terdapat dibelakang piston akan terdorong keluar melalui valve pilot yang sudah diatur, setelah itu fluida keluar dari valve pilot menuju ke Directional Control Valve (masuk dari titik B) dan menuju ke tangki (reservoir).

**Kontrol Aliran Meter Out aliran bebas**



**KONTROL ALIRAN METER-OUT ALIRAN BEBAS**

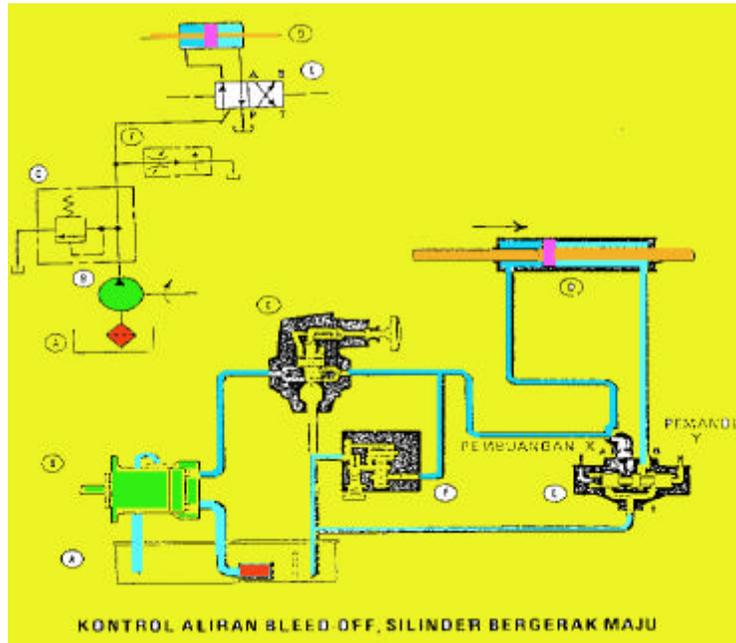
Gambar 3.97 Kontrol aliran meter out aliran bebas

Sedangkan untuk langkah mundur kontrol aliran meter out untuk jenis aliran bebas diagramnya seperti gambar diatas.

Prinsip kerjanya sebenarnya sama dengan kontrol aliran meter in untuk aliran bebas, hanya bedanya terletak pada valve pilotnya, kalau pada kontrol aliran meter in valve pilot mengontrol fluida yang masuk, sedangkan pada kontrol aliran meter out aliran bebas valve pilotnya mengontrol aliran fluida yang meninggalkan silinder.

### Bleed Off

Kontrol aliran yang mengatur aliran oli pada dua arah, dimana fungsi rangkaian Bleed - Off ini dapat menghemat daya, sebab silinder hanya digerakkan oleh beda tekanan pada kontrol alirannya.



Gambar 3.98 Kontrol aliran bleed off (silinder maju)

### Prinsip kerja aliran fluida

Fluida yang mengalir dari tangki (A) menuju ke pompa (B) melalui filter, setelah melalui pompa aliran fluida di cabang menjadi tiga jalan, sebagian menuju ke relief valve (C) yang masih tertutup (A) (Reservoir) dan sebagian dialirkan ke kontrol aliran (Flow control) yang distel pada tekanan dibawah relief valve oleh Flow Control yang distel pada tekanan dibawah relief valve diteruskan ke tangki.

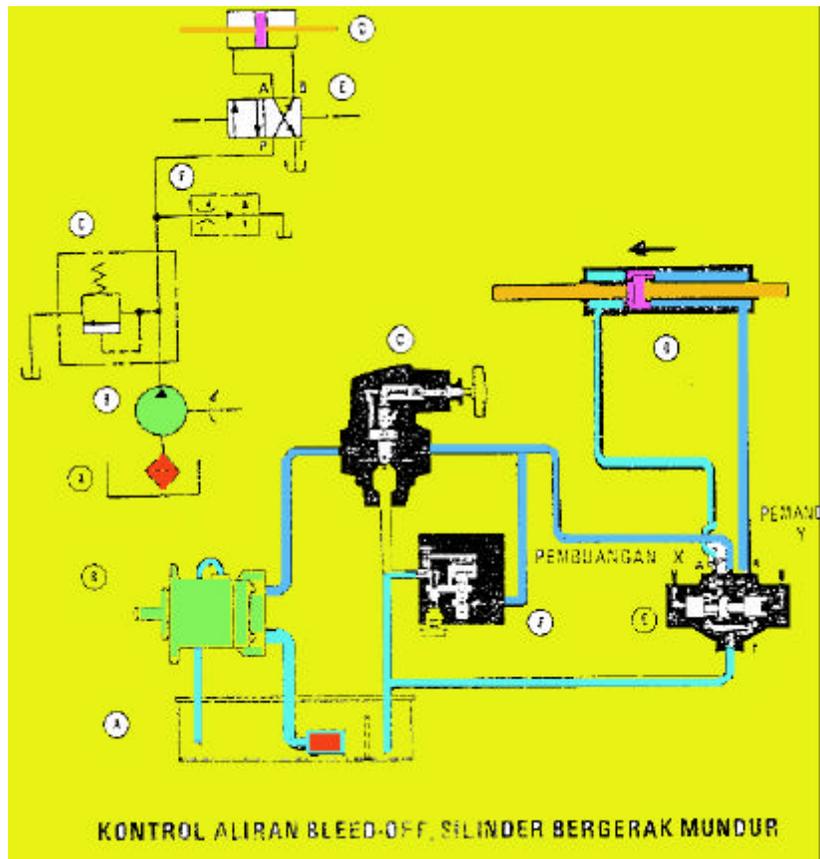
Sedangkan aliran yang terakhir diteruskan ke directional control valve (E) masuk melalui titik P dan keluar melalui titik A untuk diteruskan ke silinder (D), sehingga piston rod bergerak maju (bergerak keluar) pada kecepatan yang berkurang.

Pada silinder rod keluar maka fluida yang berada dibelakang piston rod akan terdorong (tertekan) keluar melalui directional control valve (D) yang masuk melalui titik B dan menuju ke tangki (reservoir A). Pada posisi

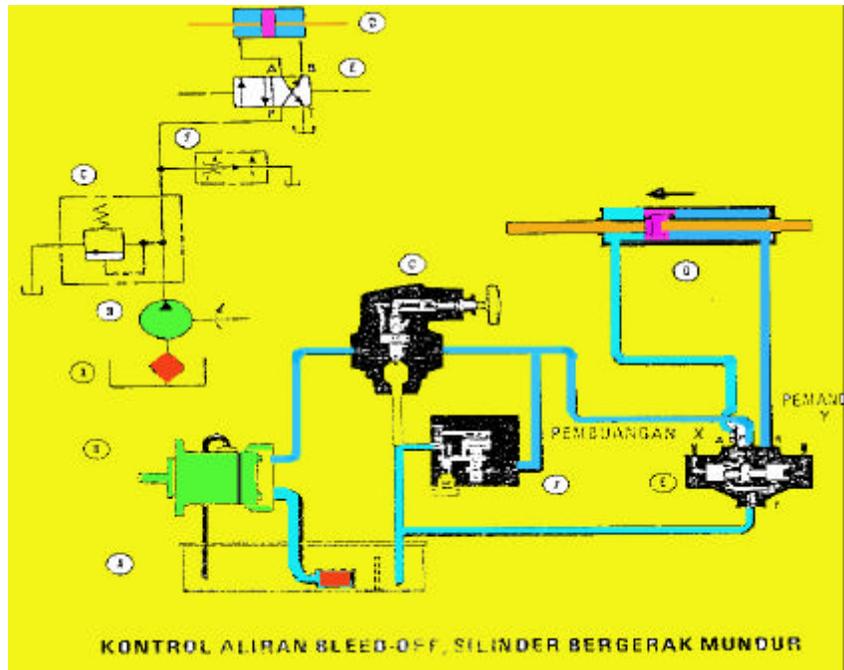
### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrol i k

maksimum, tekanan fluida akan naik sehingga sebagian fluida akan mengalir melalui relief valve dan melalui flow control valve ke tangki.

Untuk gerakan mundur kontrol Bleed Off seperti gambar rangkaian dibawah ini.



Gambar 3.99 Kontrol aliran bleed off (silinder mundur)



Gambar 3.100 Kontrol aliran bleed off (silinder bergerak mundur)

#### Prinsip kerja

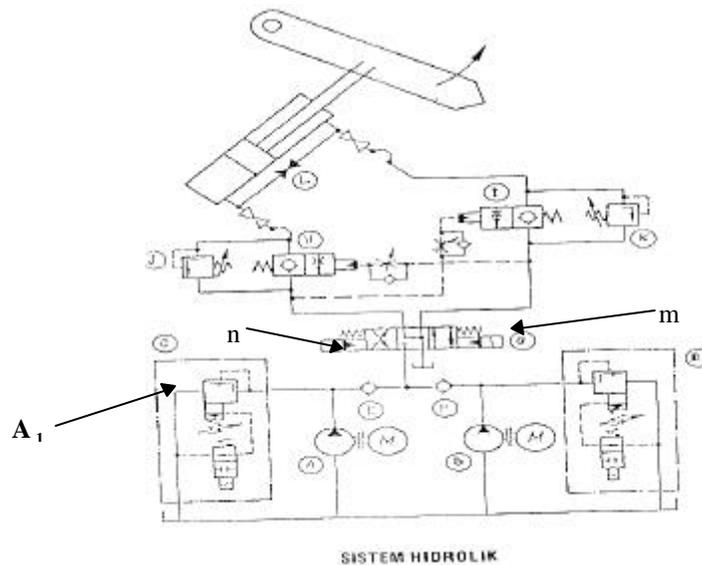
Saat kedua ruang sisi silinder telah dipenuhi oleh fluida sebagian fluida akan melalui bleed off ke tangki untuk mencapai kecepatan silinder yang dikehendaki. Dan ketika silinder mencapai posisi maju atau mundur maksimum maka tekanan fluida akan naik menuju tekanan maksimum sistem, maka relief valve akan terbuka sehingga fluida akan mengalir menuju tangki.

#### Penerapan Instalasi Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik banyak sekali penggunaannya dibidang industri, misalnya saja pada fork lift, traktor, serta sistem rem pada mobil.

Berikut ini contoh sistem rangkaian hidrolik yang digunakan untuk pemakaian dengan perubahan beban rangkaian tersebut diatas biasanya digunakan pada Dump truck, dimana elemen pengangkatnya dapat berubah-ubah posisinya. (miring, dsb.)

### 3. Prinsip-prinsip dasar hidrolis



Gambar 3.101 Penerapan pada dumptruck

Dua pompa A dan B dapat memompa oli ke valve pengatur arah (directional control valve - G). Salah satu pompa mempunyai volume lebih besar dibandingkan dengan pompa yang lainnya untuk tujuan kecepatan aktuator dan pompa yang lainnya untuk kemampuan menahan (holding capability). Oleh karena itu, satu pompa, katakanlah pompa A, akan dikosongkan bila advance yang cepat terjadi pada katup (relief valve) A<sub>1</sub>, dan ini dilakukan dengan melepaskannya sehingga membuka dan mengosongkan pompa A. Pompa B akan terus memompa oli hingga tekanan sistem tercapai atau valve pengatur arah ditempatkan dalam netral dan kemudian akan dikosongkan sebagaimana halnya dengan pompa A.

Ketika valve pengatur arah yang berupa sebuah float center berada dalam netral, ini tidak berarti menggantung beban pada posisi di tengah-tengah silinder, tetapi oleh dua valve penyeimbang (J+K) yang harus disetel cukup tinggi untuk mempertahankan berat beban penuh. Ketika solenoid (M) diberi daya, solenoid ini akan membuka sirkuit seolah-olah anak panah lurus sedang bekerja, dan aliran akan mengalir melalui check valve pada valve pengontrol aliran (H) yang dioperasikan oleh pilot dan terus ke ujung cap pada silinder. Saluran yang sedang berada pada tekanan sistem akan mengirim tekanan ke bawah ke saluran pilot valve kontrol (I), sehingga membukanya dan menciptakan situasi meter-out dan aliran balik akan diarahkan kembali ke tangki melalui valve pengatur arah (G). Ketika solenoid (N) diberi daya, aliran oli akan bergerak ke arah ujung batang pada silinder dan akan terjadi peristiwa yang sebaliknya.

### Daftar Pustaka :

- Banga, T.R. et al, **Hydraulics, fluid Mechanics, and Hydraulics Machines**, Delhi : Khana Publishers. 1983.
- Budi Tri Siswanto, **Diktat Mata Kuliah Alat Berat**, 2003
- Erich J Schulz. **Diesel Equipment I**. Lubrication, Hydraulics, Brakes, Wheels, Tires. Singapore : McGraw-Hill, Co.
- Erich J Schulz. **Diesel Equipment II**. Design, Electronic Controls, Frames, Suspensions, Steering, Drives Lines, Air Conditioning. Singapore : McGraw-Hill, Co.
- Ganger, Rolf. **Hydraulics course for Vocational Training**. Work Book, Esslingen, W Germany, FESTO-DIDACTIC. 1978.
- \_\_\_\_\_, **Hydraulics Course for Vocational Training**, Work Book. Esslingen, W Germany FESTO-DIDACTIC. 1983.
- Ganger, Rolf. Et al. **Hydraulics Vocational Training, 21 Exercises with Instructions**, Berlin-Koln, W Germany: The Bundeinstut for Berufsbildung-sforschung, Beuth-Veriag GmbH, 1973.
- Industrial Hydraulics Manual**, USA : Vickers, Ran Corporation, First Edition, 1970.
- \_\_\_\_\_, **The Hydraulic Agc**. London Mechanical Engineering Publications Ltd. 1970.
- Materi Training Alat-alat Berat PT. United Tractors. Jakarta.
- Materi Training Alat-alat Berat PT. Freeport Mc Moran. Tembagapura.
- Materi Training dari Trakindo
- Manual book Carlift, Fork Lift, Grader, Excavator dan lain-lain.

Schmitt, A. Inggrad, ***The Hydraulic Trainer. Instruction and Information on Oil Hydraulics***, Lohram Main. W Germany : G.L. Rextroth GmbH. 1984.

Sugi Hartono, Drs, ***Sistim Kontrol dan Pesawat Tenaga Hidrolik***. Bandung : Tarsito. 1988.

ISBN 978-979-060-047-8  
ISBN 978-979-060-048-5

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 46 Tahun 2007 tanggal 5 Desember 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digu-  
nakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 21.890,00