

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN SISTEM HIDROLIK PENEKUK PLAT PROFIL SETENGAH LINGKARAN



Disusun Oleh

Nama : ARIF RISWANTO
NIM : 01.51.006
Jurusan : Teknik Mesin D-III



JURUSAN TEKNIK MESIN D-III
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2005

**LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN SISTEM HIDROLIK PENEKUK PLAT PROFIL
SETENGAH LINGKARAN**

Disusun oleh :

Nama : Arif Riswanto
NIM : 01.51.006
Jurusan : Teknik Mesin D-III
Fakultas : Teknologi Industri

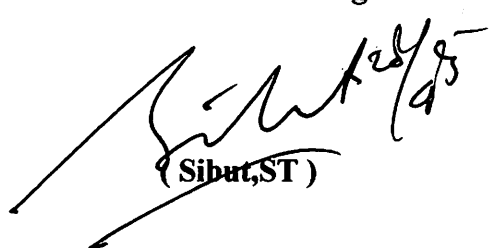
Mengetahui

Ka. Jur Teknik Mesin D-III



(Ir. Teguh Rahardjo, MT)

Dosen Pembimbing



(Sibut, ST)



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : Arif Riswanto
Nim : 01 . 51 . 006
Jurusan : Teknik Mesin
Program Studi : Diploma III
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Sistem Hidrolik Penekuk Plat Profil
Setengah Lingkaran
Pengajuan Tugas Akhir : 20 Januari 2005
Selesai Menulis T.A. : 25 Februari 2005
Dosen Pembimbing : Sibut, ST
Nilai Bimbingan : 85 (A)

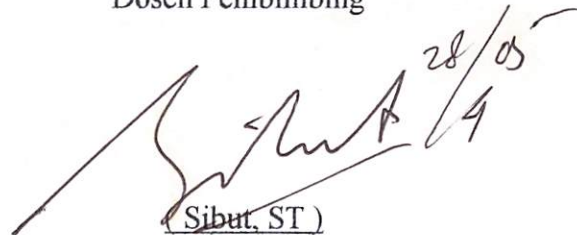
Mengetahui



Dekan Fakultas Teknologi Industri

(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Nip : 101.8100.036

Dosen Pembimbing


(Sibut, ST)



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA SIDANG TUGAS AKHIR

Nama : Arif Riswanto
Nim : 01 . 51 . 006
Jurusan : Teknik Mesin
Program Studi : Diploma III
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Sistem Hidrolik Penekuk Plat Profil Setengah Lingkaran

Dipertahankan dihadapan Team Penguji Ujian Tugas Akhir Jenjang Program Diploma Tiga (D-III) Pada :

Hari/Tanggal : Kamis / 3 Maret 2005
Nilai Ujian Sidang : 62,50 (B)

PANITIA UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua

(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Nip : 101.8100.036

Sekretaris

(Ir. Teguh Rahardjo, MT)
Nip : 131.991.184

Anggota

(Ir. Teguh Rahardjo, MT)
Nip : 131.991.184


(Ir. H. Wijadmoko, MT)
Nip : 101.830.0057

REKORD ACARA SIDANG TUGAS AKHIR

Nama	: Arief Rizwan
Nim	: 01.21.006
Jurusan	: Teknik Mesin
Program Studi	: Diploma III
Fakultas	: Teknologi Industri
Judul Tugas Akhir	: Perencanaan Sistem Hidrolik Bensin P1011
	: Setengah Lingkaran
Dipersembahkan dihadapan Tim Pengaji Ujian Tugas Akhir Jenuang	
Program Diploma Tiga (D-III) Pada :	
Hari/Tanggal	: Kamis, 3 Maret 2005
Nilai Ujian Sidang	: 65,20 (B)


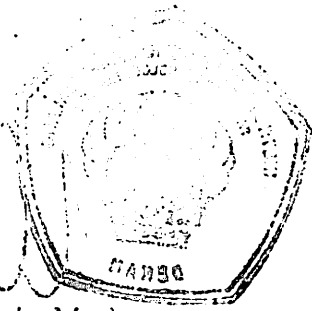
PANITIA UJIAN TUGAS AKHIR

Sekretaris



(Lt. Teguh Rahardjo, MT)
Nip : 131.991.184

Ketua

(Lt. Mochtar Anom, MS, MT)
Nip : 101.810.036

Anggota

(Lt. H. Wijanaroko, MT)
Nip : 101.830.057

(Lt. Teguh Rahardjo, MT)
Nip : 131.991.184

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arif Riswanto
Tempat tanggal lahir : Lumajang, 05 Desember 1981
Nim : 01.51.006
Jurusan : Teknik Mesin D-III
Fakultas : Teknik Industri
Alamat Asal : Jln. Bingkil no.34 Malang

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan tugas akhir yang telah saya buat merupakan hasil karya sendiri , dan bukan merupakan Duplikasi , serta tidak mengutip sebagian atau seluruhnya karya orang lain , kecuali yang telah disebut sumbernya.

Malang, Februari 2005

Penyusun



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama / Nim : ARIF RISWANTO
Jurusan : Teknik Mesin D- III
Pembimbing : Sibut, ST
Judul TA : **PERENCANAAN SISTEM HIDROLIK PENEKUK
PLAT PROFIL ' ½ LINGKARAN '.**

No	Keterangan	Tanggal	Paraf
1	Acc Proposal	08 – 01 – 2005	
2	Acc BAB I revisi BAB II dan periksa BAB III	28 – 01 – 2005	
3	Acc BAB II, Revisi BAB III	02 – 02 – 2005	
4	Acc BAB III , pembedulan rekapitulasi	05 – 02 – 2005	
5	Acc BAB IV	15 – 02 – 2005	
6	Acc Gambar	23 – 02 - 2005	

Malang, Februari 2005

Dosen Pembimbing

SIBUT, ST

LEMBAR PERSEMBAHAN

“Jauh jalan yang harus kutempuh, mungkin terjal dan mungkin gelap, tajam kerikil setiap saat menunggu dan biarpun suatu hal akan terjadi ARIF tidak akan Kehilangan Harapan

KARENA Harapan ADALAH suatu kebajikan”

Dengan menyebut Asma ALLAH yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang menjadikan sesuatu yang tak mungkin menjadi mungkin.

Kupersembahkan karya kecil ini UNTUK :

- *Ibunda* dan *Ayahanda* yang telah banyak mengucurkan keringat serta Doa untukku supaya aku menjadi yang terbaik,sekali lagi Makasih.
- Penyemangat Hidupku “*My love Ginoel yang Maniez*”
- Reynold dan teman kosnya,Makasih ya!!
- Buat Bejat 6 dan Bejat 7, Sinyo LULUS REK!! Makasio atas waktu yang kita alami bersama-sama.
- Buat Bu Sri dan Pak Wage,Makasih atas hari-hari yang indah selama kuliah.
- Buat Pak Eka sama adik Afif cepet selesaiin TA nya! Oke
- Buat Organisasi “PK”: Tukilowati, Tlengus, Patkey (Bila ada sumur diladang boleh kita numpang mandi bila ada hari-hari yang indah !! Boleh kita ketemu di Gang Macan Oyi!!)
- Sahabat-sahabatku yang ngak ada yang bener : Aji (tlengus), Anang (Gimon 378), Hendrik (patkey), Yudi (tukilowati), Hasan (Gus Bingung) MAKASIH atas hari-hari yang indah atas semuanya (MAKASIH LHOOO)
- ATAS SEMUA “yang pernah jadi kenangan” MAKASIIIIH.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul PERENCANAAN SISTEM HIDROLIK PENEKUK PLAT PROFIL “ ½ LINGKARAN “ sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan.

Dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan baik pengarahan maupun dari berbagai pihak. Untuk itu saya pribadi mengucapkan banyak terima kasih Kepada :

1. Yth. Bapak **Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Yth. Bapak **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang
3. Yth Bapak **Ir. Teguh Rahardjo, MT**, Selaku ketua jurusan Teknik Mesin D-3
4. Yth. Bapak **Sibut, ST**, Selaku Dosen Pembimbing.
5. Serta Kedua Orang Tua ku, semoga aku dapat menjadi Manusia yang engkau inginkan, Teman-teman yang selalu membantu dan. Terima kasih pula bagi yang tak tertulis hingga terselesaikan Tugas Akhir ini.

Saya menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak

Malang, Februari 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan.....	i
Lembar Pernyataan	ii
Lembar Asistensi	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penulisan	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metodologi Penulisan	2
1.5. Sistematika Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Masalah	4
2.2. Sifat – sifat Benda Cair	5
2.2.1. Kerapatan (Density).....	5
2.2.2. kekentalan (Viscosity)	5
2.2.3. Tegangan	6
2.3. Proses Konversi Pada Tenaga Hidrolis	7
2.4. Persamaan – persamaan Dasar	8
2.4.1. Hukum Pascal	9
2.4.2. Persamaan Kontinuitas	10
2.5. Aliran Laminer Dan Turbulen	11
2.5.1. Aliran Cairan Dari Bejana	14
2.6. Fluida Hidrolik	16

2.7. Peralatan Hidrolik	19
2.7.1. Pompa Hidrolik	19
2.7.1.1. Pemilihan Pompa	24
2.7.2. Valve (Katup)	27
2.7.2.1. Pemilihan Katup	28
2.7.3. Reservoir	32
2.7.4. Hose Dan Fitting (Sambungan)	34
2.7.5. Silinder Hidrolik	36
2.8. Daya Motor Penggerak	43

BAB III PERHITUNGAN

3.1. Perhitungan Sistem Hidrolik	44
3.2. Perhitungan Pompa Hidrolik	58
3.3. Perhitungan Katup Hidrolik	60
3.4. Perhitungan Daya Motor Penggerak	62
Rekapitulasi hasil perhitungan	64
Gambar Mesin Penekuk Plat Profil ‘ ½ Lingkaran ‘	66

BAB IV PENUTUP

4.1. Kesimpulan	67
4.2. Kritik Dan Saran	67

LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

ИУВЛЭН БҮЭСЭНЭ

ГҮҮНИЙНЭ

12 Күнэ тун болон ... 12

4 Г. Ковалович ... 13

ИУВЛА БҮЭСЭНЭ

12 Күнэ тун болон ... 12

13 Ковалович ... 13

14 Ковалович ... 14

15 Ковалович ... 15

16 Ковалович ... 16

17 Ковалович ... 17

ИУВЛА БҮЭСЭНЭ

18 Күнэ тун болон ... 18

19 Ковалович ... 19

20 Ковалович ... 20

21 Ковалович ... 21

22 Ковалович ... 22

23 Ковалович ... 23

24 Ковалович ... 24

25 Ковалович ... 25

26 Ковалович ... 26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Distribusi Tekanan Pada Ruang Tertutup	8
Gambar 2.2. Gaya Luar Diteruskan Kesegala Arah	9
Gambar 2.3. Hukum Aliran	11
Gambar 2.4. Aliran Laminer Dan Turbulen	11
Gambar 2.5. Aliran Lubang Samping Kecil	14
Gambar 2.6. Aliran Lubang Samping Besar	15
Gambar 2.7. Internal Gear Pump	26
Gambar 2.8. Eksternal Gear Pump	27
Gambar 2.9. Solenoid Valve	29
Gambar 2.10. Manual Direction control Valve	30
Gambar 2.11. Check Valve	31
Gambar 2. 12. Multi Manual Unit valve	32
Gambar 2.13. Reservoir	33
Gambar 2.14. Jenis Selang Untuk Sistem Hidrolik.....	35
Gambar 2.15. Penggunaan Adaptor	36
Gambar 2.16. Silinder Hidrolik Single Acting	38
Gambar 2.17. Silinder Hidrolik Double Acting	39
Gambar 2.18. Sirkuit Hidrolik	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien Faktor Untuk Katup Dan Fitting	14
Tabel 2.2. perbandingan pompa hidrolik menurut type	21

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Dengan semakin meningkatnya perkembangan teknologi industri dan kebutuhan manusia yang juga terus meningkat, manusia selalu berusaha Menciptakan alat yang sekiranya dapat membantu dan memudahkan pekerjaan serta untuk meningkatkan produksi, baik untuk perorangan maupun skala industri.

Dalam menyongsong perkembangan zaman yang semakin maju kita dituntut memberikan alternative guna menunjang pembangunan. Salah satu contoh yang dapat diberikan adalah penekuk plat dengan menggunakan sistem hidrolik

Hal ini biasanya dapat dilakukan didalam industri kecil atau besar. Dari sistim mekanik tersebut kami ingin mengembangkan menjadi peralatan yang lebih baik seiring dengan perkembangan teknologi dewasa ini. Hal ini dapat meningkatkan produktivitas secara maksimal dan efisiensi waktu.

1.2.Tujuan Penulisan

a. Tujuan Umum.

Tujuan umum yang ingin dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memudahkan pekerjaan dalam menekuk plat dengan profil ‘ ½ Lingkaran ‘.

b. Tujuan Khusus

tujuan khusus yang ingin dicapai adalah untuk merencanakan sebuah mesin penekuk plat dengan sistim hidrolik serta ukuran-ukuran yang direncanakan sesuai dengan syarat-syarat factor keamanan.

1.3. Batasan Masalah

Agar dalam perencanaan sebuah sistim mesin penekuk plat dengan sistim hidrolik terarah pembahasannya, maka dalam laporan Tugas Akhir ini penyusun membatasi permasalahannya hanya pada :

1. Perencanaan System Hidrolik penekuk plat profil ‘ ½ Lingkaran ‘ dengan ukuran tebal : 7 mm, jari-jari : 25,7 mm, panjang : 50 mm dengan bahan *plat*.
2. Perencanaan perhitungan sistem hidrolik penekuk plat profil ‘ ½ Lingkaran ‘.

1.4. Metodologi Penulisan

1. Metode kepustakaan.

Dilakukan dengan cara mempelajari buku-buku referensi atau literatur yang dapat dijadikan acuan bagi penulisan Tugas Akhir ini.

2. Metode observasi.

Dengan cara melakukan tinjauan khususnya pada tempat-tempat yang terdapat obyek yang berhubungan dengan penulisan Tugas Akhir ini

3. Metode bimbingan

Dalam penulisan Tugas Akhir ini kami membutuhkan bantuan dari dosen pembimbing untuk mengevaluasi serta memberikan petunjuk dalam pembahasan setiap permasalahan yang kami hadapi.

1.5. Sistematika Penulisan.

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini, kami bagi dalam beberapa bab, antara lain :

BAB I PENDAHULUAN.

Berisikan penjelasan yang mencakup latar belakang, batasan masalah, tujuan penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI.

Berisikan tentang dasar-dasar teori yang dijadikan acuan bagi penyusun dalam merencanakan sistim hidrolik pada mesin penekuk plat profil ‘ ½ Lingkaran ‘.

BAB III PERENCANAAN

Bab ini berisikan tentang perencanaan dan perhitungan mengenai sistim hidrolik pada mesin penekuk plat profil ‘ ½ Lingkaran ‘.

BAB IV PENUTUP

Berisikan tentang rekapitulasi data dari semua hal yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Masalah

Hidrolik dan mekanik fluida adalah bagian dari mekanik terpakai (*Applied Mechanics*) yang mempelajari tentang statika dan dinamika dari cairan dan gas. Hidrolika (*Hydraulics* dari bahasa Yunani Greek/Yunani yang berarti air) adalah ilmu yang mempelajari tentang pengaliran air, tetapi sering pula dipakai untuk jenis fluida atau cairan lainnya, misalnya dalam hidrolik control gear yang biasanya memakai oli sebagai cairan.

Perubahan bentuk yang terjadi adalah disebabkan karena gaya-gaya geser yang bekerja, karena itu benda cair tersebut mengalir. Sebaliknya bila benda cair itu dalam keadaan diam maka berarti tidak terdapat gaya-gaya geser yang bekerja dan semua gaya yang ada selalu tegak lurus terhadap bidang tempat cairan itu berada. Fluida dibagi dalam dua bagian, yaitu cairan dan gas.

Cairan tidak dapat dimanfaatkan dan bila terdapat suatu tempat maka cairan itu akan mengambil tempat yang sesuai dengan bentuk tempatnya dan permukaan akan terbentuk suatu batas dengan udara terbuka. Gas dapat mudah dimanfaatkan dan dapat mengembang mengisi seluruh ruangan tempat tinggalnya dan tidak berbentuk batas tertentu seperti halnya cairan.

Perbedaan benda padat dan cair :

1. Pada batas elastisitas tertentu, perubahan benda padat sedemikian rupa sehingga regangan (strain) berbanding lurus dengan tegangan (strees).
2. Regangan pada benda padat tidak tergantung dari waktu lamanya gaya bekerja dan apabila batas elastis dari benda padat itu tidak dilampaui, maka bila gaya itu tidak bekerja semula lagi, perubahan bentuk pun menghilang dan kembali kebentuk semula, sedangkan pada zat cair akan terus berlangsung perubahan bentuknya selama gaya bekerja dan tidak kembali kebentuk semula bila gaya tersebut tidak kembali.

2.2 Sifat-sifat Benda Cair.

2.2.1 Kerapatan (Density)

Ada tiga macam kerapatan (*density*) yang harus diketahui perbedaanya:

1. ρ (bahasa Yunani : rho) = kerapatan massa (massa density) ialah satuan massa per satuan isi : Kg/m^3 .
2. W = berat jenis (specific weight) ialah berat per satuan isi : N/m^3 .
3. s = kerapatan relatif ialah perbandingan berat suatu benda terhadap berat air yang mempunyai suhu 4°C dengan isi yang sama.

2.2.2 Kekentalan (Viscosity)

Benda atau zat cair yang dalam keadaan diam tidak menahan gaya geser, akan tetapi bila benda cair itu mengalir maka gaya geser akan bekerja diantara lapisan-lapisan cairan itu dan menyebabkan kecepatan yang berbeda-beda dari lapisan cairan. Kekentalan ialah *sifat cairan yang dapat menahan gaya-gaya geser*.

Kekentalan dinamis (η yang dalam bahasa Yunani : *eta*) ialah gaya gesek per satuan luas yang dibutuhkan untuk menggeser lapisan zat cair dengan satu satuan kecepatan terhadap lapisan yang berletakan di dalam zat cair itu, satuannya ialah $\text{N}\cdot\text{sec}/\text{m}^2$ atau $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{sec}$.

Kekentalan kinematis (ν yang dalam bahasa Yunani : *nu*)

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{(\text{kg}/\text{m}\cdot\text{sec})}{(\text{kg}/\text{m}^3)} = (\text{m}^2/\text{sec})$$

Dimana :

η = kekentalan dinamis ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{sec}$)

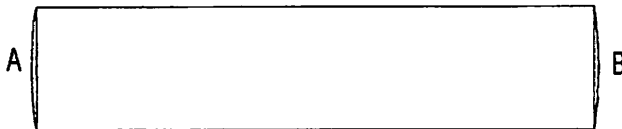
ρ = density (kg/m^3)

ν = kekentalan kinematis (m^2/sec)

Kekentalan (η) akan berkurang nilainya apabila suhu dinaikan sedangkan hubungan antara gas dengan Kekentalan (η) berbanding lurus atau bila gas mengalami kenaikan maka kekentalanpun akan mengalami kenaikan.

2.2.3 Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai beban per satuan luas penampang. Bila luasan penampang batang AB adalah A, dan beban yang diberikan sebesar P, maka tegangan pada penampang A adalah :



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

Dimana :

σ = Tegangan yang terjadi pada batang AB (N/m^2)

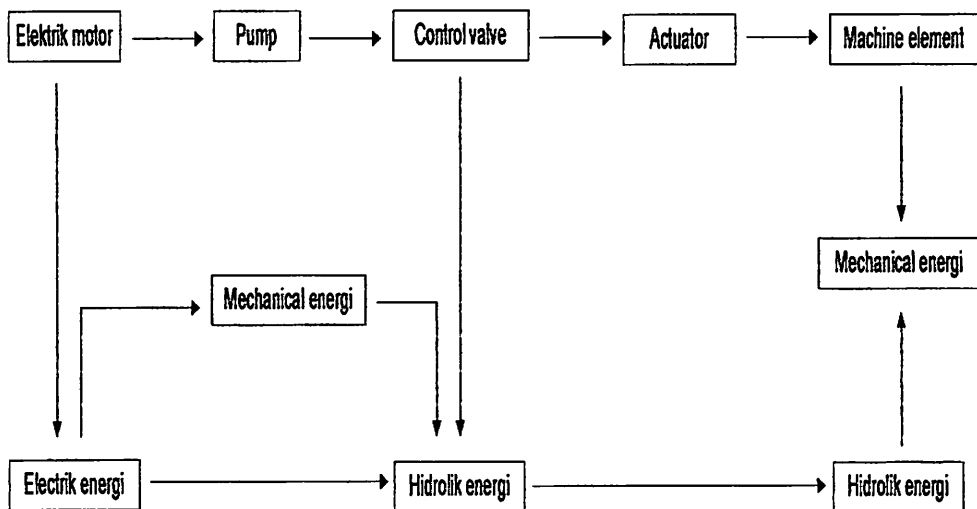
P = Beban yang diderita pada batang AB (N)

A = Luas penampang batang AB (m^2)

2.3. Proses Konversi Pada Tenaga Hidrolik

Sistem tenaga hidrolik dilihat dari prinsip kerjanya bisa dimasukkan pada sistem konversi energi, karena pada energi ini terjadi beberapa tingkat proses energi secara skematis, proses konversi tersebut adalah sebagai berikut :

Diagram Blok 2.3.1. Aliran energi instalasi hidrolik



Aliran energi yang melalui sebuah instalasi hidrolik berlangsung sebagai berikut :

1. Pengkonversian energi mekanis (motor listrik) menjadi energi hidrolik melalui pompa hidrolik dapat diartikan sebagai energi potensial ataupun sebagai kinetik dan suatu medium minyak hidrolik.
2. Pemindahan energi hidrolik oleh aliran fluida bertekanan dan pompa melalui komponen-komponen pengatur.

3. Pengubah energi hidrolik menjadi energi kinetik melalui silinder hidrolik.

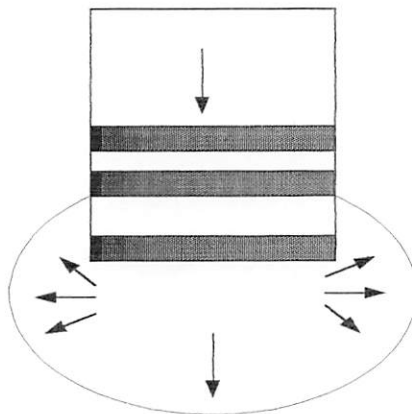
2.4 Persamaan – Persamaan Dasar

2.4.1 Hukum Pascal

Hukum yang menjadi dasar dari prinsip hidrolik adalah hukum pascal yaitu :

1. Tekanan statik fluida akan bekerja tegak lurus terhadap permukaan dinding.
2. Tekanan pada suatu titik akan bekerja ke segala arah dengan sama besar.
3. Tekanan yang bekerja pada suatu bagian dari fluida di dalam sebuah bejana tertutup akan diteruskan ke segala arah.

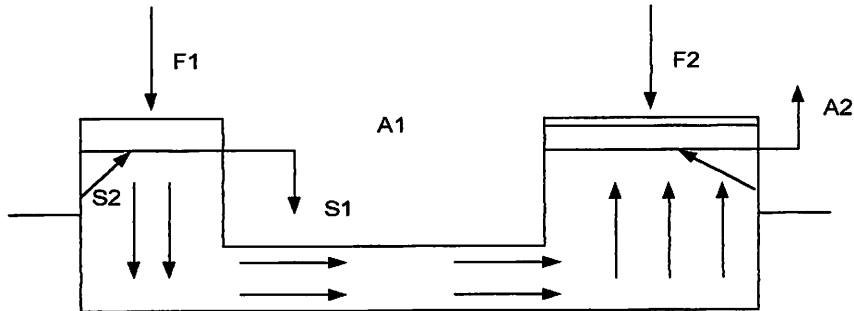
Gambar 2.1 : Distribusi Tekanan Pada Ruang Tertutup



Sumber : TP 501 Festo Didactic

Apabila gaya F bekerja pada suatu fluida tertutup melalui luasan permukaan A , maka tekanan akan terjadi dalam fluida tersebut. Tekanan yang bekerja sesuai dengan jumlah gaya yang dipakai secara tegak lurus menekan luasan permukaan tersebut.

Gambar 2.2 : Gaya Luar Diteruskan Kesegala Arah



Sumber : TP 501 Festo Didactic

Tekanan yang bekerja pada semua sisi secara merata (sama besar) dan serempak, sehingga tekanan itu diteruskan kesegala arah atau titik secara sama dan merata pula. Apabila permukaan A_1 ditekan dengan gaya F_1 , maka tekanan yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

Dimana:

P_1 = Tekanan pada torak 1 (N/m^2)

F_1 = Gaya pada torak 1 (N)

A = Luas penampang torak 1 (m^2)

Sehingga tekanan P akan diteruskan kesegala arah atau kesemua bagian, pada sistem demikian juga pada permukaan A_2 terangkat dengan gaya sebesar:

$$F_2 = P_2 \cdot A_2$$

Karena $P_1 = P_2$ Maka

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

2.4.2 Persamaan Kontinuitas

Hubungan – hubungan antara debit, luas penampang, kecepatan aliran fluida dalam suatu luasan tertentu disebut mekanika aliran bergerak. Apabila fluida yang sama mengalir dalam waktu yang sama pula, maka yang berubah adalah kecepatan volume alirannya.

Jarak yang ditempuh persatuan waktu disebut kecepatan. Perkalian antara kecepatan aliran dengan luas penampang yang dilalui akan menghasilkan debit.

$$Q = A \cdot V$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{det)}$$

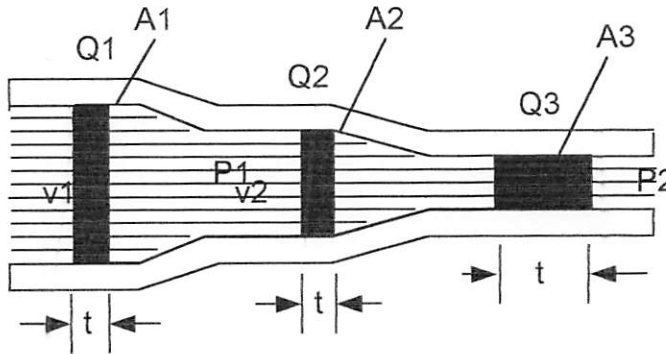
$$A = \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{Kecepatan (m/det)}$$

Sehingga persamaan kontinuitas menjadi :

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Gambar 2.3 : Hukum Aliran



Sumber : TP 501 Festo Didactic

2.5 Aliran Laminer Dan Turbulen

Aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran turbulen. Aliran laminer adalah aliran yang struktur alirannya terdiri dari gerakan – gerakan partikel fluida yang berlapis-lapis, sedangkan aliran turbulen adalah aliran yang struktur alirannya terdiri dari gerakan-gerakan partikel fluida tidak beraturan (acak) serta selain itu partikel-partikel yang bergerak saling mengisi pada badan aliran. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 2.4 : Aliran Laminer Dan Turbulen



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

Untuk mengetahui bagaimana pola aliran didalam pipa laminer atau turbulen maka digunakan persamaan reynold number, Re , dan angka Re sendiri tidak mempunyai satuan. Re tersebut adalah :

$$Re = \frac{v d_H}{\nu_k}$$

Dimana :

Re = Angka reynold.

V = Kecepatan aliran (m/det).

d_H = Diameter dalam pipa penghantar.

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

A = Luas penampang (m^2).

U = Keliling pipa.

ν_k = Viskositas kinematik (m^2/det).

Re kritis = 2300

Jenis aliran dapat ditentukan berdasarkan *angka reynold*, yaitu :

1. Jika $Re < 2300$, maka aliran adalah laminar
2. Jika $Re > 2300$, maka aliran adalah turbulen

Kehilangan energi yang terjadi dalam system dapat terjadi oleh karena adanya *heat loss* yaitu :

1. Kerugian pipa.
2. Kerugian di fitting.

Heat losses pipa dapat dihitung berdasarkan persamaan *darcey* :

$$H_1 = f \left[\frac{L}{d} \right] \left[\frac{V^2}{2g} \right]$$

Dimana :

f : Faktor gesekan.

L : Panjang pipa (m).

d : Diameter pipa (m).

V : Kecepatan rata-rata fluida (m/det²).

g : Gaya grafitasi (m/det²).

Kerugian atau kehilangan tekanan dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

A. Kerugian mayor (Mayor losses)

Kerugian mayor adalah kehilangan tekanan karena gesekan pada dinding pipa yang mempunyai luas penampang yang tetap akibat panjang pipa. Untuk aliran laminar faktor gesekan dapat dihitung :

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

Sedangkan untuk head losses pada pipa substitusi persamaan :

$$H_1 = \frac{64}{\text{Re}} \left[\frac{L}{d} \right] \left[\frac{V^2}{2g} \right]$$

B. Kerugian minor (minor losses)

Kerugian minor adalah kerugian tekanan akibat adanya fitting, katup, perubahan luasan, belokan, kerugian minor dapat ditulis sebagai berikut :

$$Hl = k \cdot \frac{v^1}{2g}$$

Untuk menentukan harga faktor koefisien dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 : Koefisien faktor untuk katup dan fitting

VALVE OR FITTING	KOEFISIEN FAKTOR
Globe valve : WIDE OPEN	10,0
Globe valve : ½ OPEN	12,50
Gate valve : ¾ OPEN	0,19
Gate valve : ½ OPEN	0,90
Gate valve : ¼ OPEN	24,0
Ball check valve	2,20

2.5.1. Aliran Cairan dari Bejana

Pada *gesek stasioner*, garis arus dan jalan arus berhimpit, sedangkan pada *gerak stasioner* garis-garis tidak berhimpit. Garis arus pada suatu saat memberi gambaran dari arah dan kecepatan dari titik-titik.

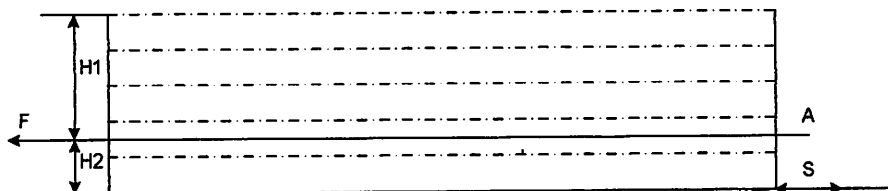
Untuk aliran lubang kecil :

$$V = C_v \sqrt{2.9.H} \dots\dots\dots \text{m/menit}$$

$$Q = C_d . A \sqrt{2.9.H} \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{menit.}$$

$$F = Q . V \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{menit.}$$

Gambar 2.5 : Aliran lubang samping kecil

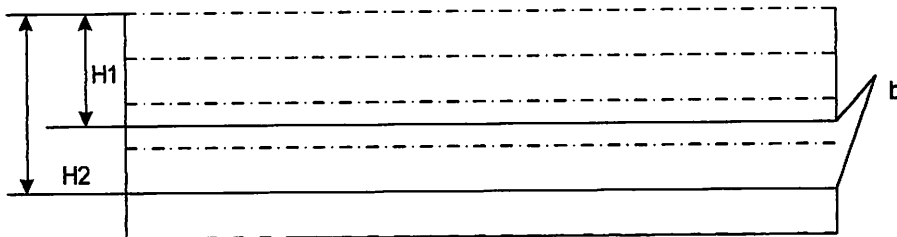


Aliran *lubang samping kecil* adalah aliran fluida yang bekerja pada suatu instalasi pipa dengan luasan penampang yang kecil yang menyebabkan aliran fluida menjadi lebih besar, keterangan gambar 2.5 adalah H_1 adalah *ketinggian Fluida* dari titik atas lubang yang akan dilewati oleh fluida, H_2 *ketinggian fluida* dari dasar dengan titik atas lubang aliran, A *luas penampang* (apabila fluida bekerja pada pipa atau sejenisnya) yang dilalui fluida, F adalah *gaya tekanan fluida* yang bekerja, S adalah gaya gravitasi fluida.

Untuk lubang samping besar:

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_2^{3/2} \cdot H_1^{3/2})} \dots\dots\dots L/\text{menit}$$

Gambar 2.6 : Aliran Lubang Samping Besar



Aliran lubang samping besar adalah aliran fluida yang bekerja pada suatu penampang yang mempunyai luasan yang besar, *maka aliran fluida tersebut* menjadikan gaya yang bekerja semakin kecil pada luasan tersebut dan pada titik b gambar 2.6 karena pada titik tersebut menyempit maka aliran fluida akan membesar (kuat) karena tekanan fluida selalu berpengaruh dengan luasan penampang yang dilewati oleh fluida, semakin besar luasan penampang maka aliran fluida semakin kecil (apabila gaya konstan dengan gaya pada luasan penampang yang lebih kecil).

Dimana :

V = Kecepatan luar

C_d = Koefisien pembuangan ($C_d = C_c \times C_v$)

C_c = Koefisien kontraksi ($C_c = 0,62$ untuk lubang dengan pinggiran tajam),($C_c = 0,97$ untuk lubang bulat sempurna).

C_v = Koefisien kecepatan

b = Lebar lubang

f = Gaya reaksi

Q = Volume aliran keluar

2.6 Fluida Hidrolik

Fluida hidrolik yang berwujud minyak oli merupakan bagian yang sangat penting pada suatu sistem pesawat hidrolik. Fluida hidrolik dalam aplikasinya mempunyai empat tujuan utama, yaitu :

1. Sebagai penerus gaya.

Aplikasi fluida sebagai media 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 di buka dengan segera dapat dipindahkan.

2. Pelumasan

Untuk menjamin umur pemakaian komponen hidrolik lebih lama, kandungan oli harus terdiri dari bahan-bahan tambahan utama yang di

inginkan untuk menjamin karakteristik inti keausan yang tinggi, tetapi tidak semua hidrolis meski mengandung bahan tambah.

3. Sebagai pengisi (sealing)

Dalam hal tertentu, fluida adalah hanya sebagai pengisi (penutup) terhadap tekanan didalam suatu komponen hidrolis, bahwa tidak ada cairan pengisi antara batang terhadap rumah katupnya untuk menekan kebocoran dari lintasan tekanan tinggi kelintasan tekanan rendah. Kerapatan mekanik pengepasan dari viscositas oli menentukan kebocoran rata-rata.

4. Sebagai pendingin

sirkulasi minyak oli melalui pipa-pipa penghantar dan saluran dinding bak penampung (resevoir) akan menyerap panas yang ditimbulkan dalam sistem hidrolis.

Selain fungsi-fungsi utama seperti tersebut diatas, fluida hidrolis akan lebih baik apabila memenuhi sejumlah peralatan-peralatan, antara lain:

- a. Mampu mencegah korosi atau kontaminasi
- b. Mampu mencegah adanya pembentukan endapan, getah oli dan pernis.
- c. Tidak mudah membentuk buih-buih oli.
- d. Memelihara kestabilan dengan sendirinya dengan cara demikian akan mengurangi ongkos penggantian fluida.
- e. Secara relatif mampu menjaga kekentalan walau dalam perbedaan temperatur sangat tinggi.

- f. Memisahkan kandungan air.
- g. Sesuai dengan penyekat dan gasket yang dipakai pada komponen.

Syarat-syarat kualitas yang harus dipenuhi sering dijumpai adanya hasil campuran dan tidak boleh dihadirkan pada setiap jenis fluida. Viscositas secara umum dianggap sesuatu yang paling penting dalam sifat-sifat fisik dari oli hidrolik, karena viscositas akan mempengaruhi kemampuan mengalir dan melumasi bagian-bagian yang bergesekan. Viscositas akan menentukan ketahanan dalam fluida hidrolik untuk mengalir. Nilai viscositas suatu fluida rendah jika fluida tersebut mengalir dengan mudah, selanjutnya disebut fluida ringan atau encer. Nilai viscositas suatu fluida tinggi jika fluida tersebut sukar mengalir, selanjutnya disebut fluida berat atau kental. Jenis yang dipakai dalam sistem hidrolik adalah oli.

Dalam praktek pemakaian, memilih oli dengan viscositas tertentu adalah suatu hal yang dianjurkan, sering kali pemilihan ini telah ditentukan oleh pembuatan pompa hidrolik. Sehingga pemilihan oli dengan spesifikasi tertentu akan memenuhi sifat dan karakteristik dari perangkat hidrolik yang telah direncanakan oleh pemilih. Gerakan viscositas oli yang tinggi memberikan pengisian yang baik antara celah pompa, katup dan motor.

Tetap apabila nilai viscositas oli terlalu tinggi, hal ini akan mengakibatkan hal-hal sebagai berikut:

1. Karena hambatan untuk mengalir besar, menyebabkan seretnya gerakan elemem penggerak (actuator dan kavitasi pompa (udara masuk kepompa)).

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

Sebaliknya apabila viscositas oli terlalu rendah, akan menyebabkan hal-hal sebagai berikut ;

1. Kerugian-kerugian kebocoran bagian dalam sangat berlebihan.
2. Tingkat Kausan sangat berlebihan karena pelumasan tidak mencukupi pada pompa dan motor.
3. Menurunkan efisiensi motor dan pompa.
4. Suhu oli naik karena kerugian-kerugian kebocoran bagian dalam.

2.7 Peralatan Hidrolik

Komponen hidrolik yang diproduksi oleh pabrik sudah distandarnisasi, misalnya standart ISO, JIS dan lain-lain yang di dalam merencanakannya sebagai sistem rangkaian.

2.7.1 Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik digunakan untuk mengubah tenaga mekanisme dari sumber luar menjadi fluida. Pompa hidrolik termasuk tipe positive displacement (perpindahan positif) yang dibagi menjadi tipe vane, tipe gear dan tipe piston.

Positif displacement pada umumnya digunakan pada sistem aliran tenaga . ketika diterapkan positif displacement pump mengalirkan fluida dari sistem hidrolik pada setiap putaran dari putaran poros pompa .Pompa ini mampu mengatasi kelebihan tekanan dari sistem, selain itu juga

mengatasi tahanan aliran yang disebabkan oleh gesekan. Dimana positif displacement pump memiliki beberapa keuntungan :

- a. Mampu membangkitkan tekanan tinggi
- b. Mempunyai efisiensi volumetric yang relatif tinggi
- c. Ukuran pompa relatif kecil
- d. Perubahan efisiensi relatif kecil pada daerah tekanan tertentu
- e. Dapat dioperasikan pada kebutuhan tekanan yang bervariasi.

Pompa hidrolik dapat juga di klasifikasikan menurut gerakan dari komponen internalnya yaitu :

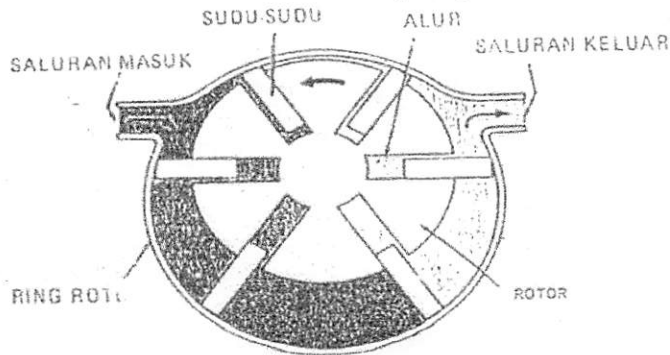
1. Pompa Vane
 - a. Tipe Vane seimbang
 - b. Tipe Vane tak seimbang
2. Pompa gear
 - a. Tipe gear eksternal
 - b. Tipe gear internal
3. Pompa piston
 - a. Tipe piston aksial
 - Tipe aksis belok
 - Tipe swashplate
 - b. Tipe piston radial tipe piston reciprocating

Tabel 2.2 Perbandingan Pompa Hidrolik Menurut Tipe

Type	Preasure (Bar)	Discharge (l/min)	Max.Speed (rpm)	Over all Efisiency (%)
Vane pump	100-160	2-950	2000-4000	75-79
Gear Pump	160-250	7-570	500-3500	80-90
Axial piston pump	160-320	2-1700	750-3000	89-95
Radial piston pump	160-320	20-700	960-3000	80-92

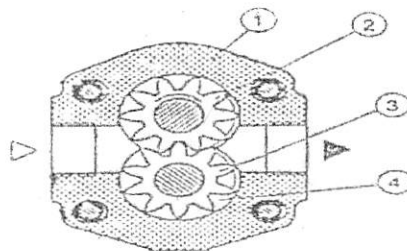
Sumber : TP 501 Festo Didactic

Gambar :Vane pump



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

Gambar :Gear pump

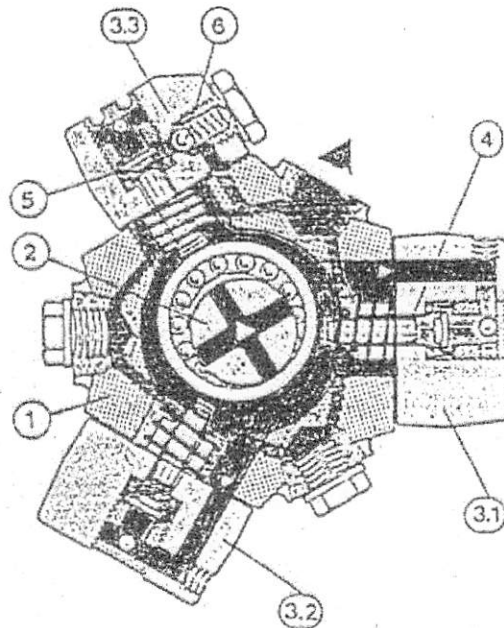


Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

Keterangan :

1. Rumah roda gigi.
2. Roda gigi pemutar.
3. Roda gigi terputar
4. Poros roda gigi.

Gambar axial Piston Pump



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

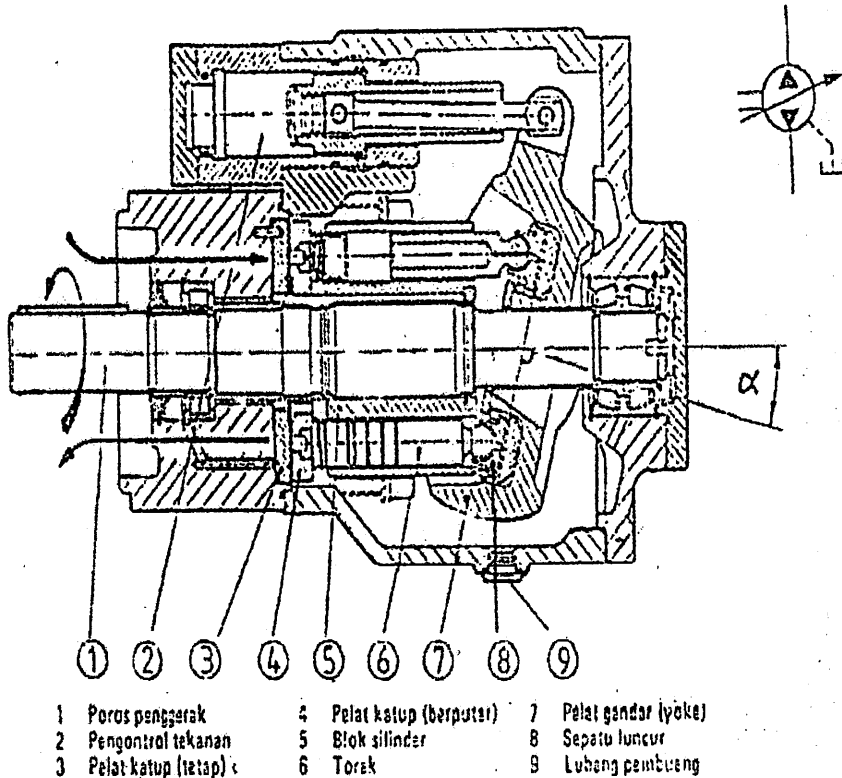
Keterangan:

1. Rumah pompa.
2. Poros eksentrik
3. Elemen pompa
4. Torak
5. Katup isap.
6. Katup pengontrol tekanan.

Keterangan gambar:

- 3.1. Gaya penghisapan menyebabkan pelat katup terangkat dari dudukannya dan ruang torak dapat terisi oleh fluida.
- 3.2. Kemudian torak terdorong keluar oleh poros eksentrik, dengan demikian mendorong pelat katup ke dalam dudukannya penyekat.
- 3.3. Pada saat yang sama bola daripada katup tekan (6) terangkat dari dudukannya.

Gambar : Radial Piston Pump



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

Rumus - rumus dari pompa hidrolik :

A. Out put Fluida (Lo)

$$L_o = \frac{P \cdot Q}{612} = 1,633 \times 10^3 \times P \cdot Q \dots\dots\dots \text{kw.}$$

Dimana :

Lo = Out put fluida

P = Discharge preasure (kg/cm²)

Q = Discharge at preasure P (1/min)

B. Input fluida (Li)

$$Li = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{6120} = 1,026 \times 10^2 \times TN \dots\dots\dots \text{kw.}$$

Dimana :

Li = Input fluida (kw)

T = Axial tourge (kgf.m)

N = Speed (rpm)

1kw = 102 kg . m/s

C. Volume efficiency (η_v)

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_o} \times 100\% \dots\dots\dots \%$$

Dimana :

η_v = Volume efficiency

Q_o = Flow sesungguhnya atau tekanan discharge (1/min)

Q = Debit aliran fluida (mm^3/s)

D. Overall efisiensi (η_T)

$$\eta_T = \frac{L_o}{L} \times 100\% \dots\dots\dots \%$$

Dimana :

L_o = kecepatan fluida keluar pompa (kg.mm/s)

L_i = kecepatan fluida masuk pompa (kg mm/s)

2.7.1.1 Pemilihan Pompa

Dalam hal pemilihan pompa hidrolik terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Tekanan maksimum yang diperlukan sistem untuk menghasilkan gaya keluar dengan elemen penggerak.
2. Daya pompa, kesesuaian pompa pada pengoperasiannya ringan mudah serta harga pembelian.
3. Kontrol aliran pompa selama sistem berada dalam tahap tak bergerak maupun bergerak dalam keadaan baik.

Sehingga dengan beberapa faktor yang ada di atas, maka pemilihan pompa dipilih dengan type roda gigi eksternal. Pemilihan pompa ini didasarkan atas beberapa alasan yaitu :

1. Kontruksi sederhana dan kokoh.
2. Kemantapan kerja pompa yang tinggi.
3. Tidak tergantung dari letak pemasang.
4. Sifat penghisap yang baik.
5. Relatif tidak peka terhadap kotoran.
6. Jangkauan putaran besar ($n = 500 - 3500$ rpm).
7. Dapat digunakan untuk berbagai tekanan (160 – 90%)
8. Efisiensi yang memadai (80 – 90%).

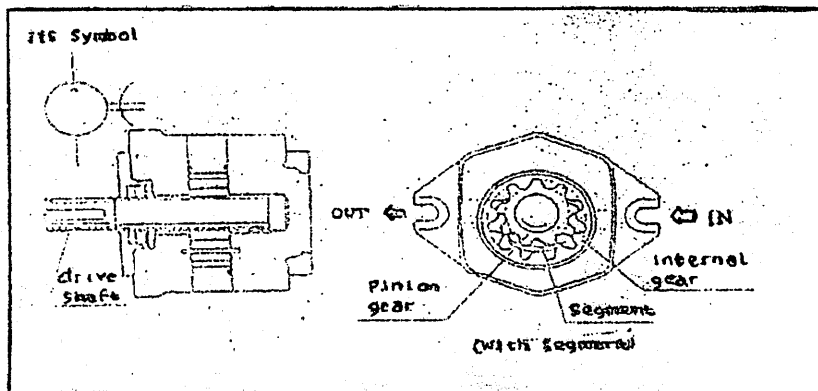
Berdasarkan tipe gigi, pompa roda gigi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Pompa roda gigi dalam (internal gear pump). Pada pompa roda gigi dalam tekanan ini dibangkitkan secara bertahap: mengikut sertakan roda gigi luar dan roda gigi dalam (rotor). Dari lubang-lubang hisap yang berbetuk celah, minyak dihisap kedalam rongga-rongga gigi

yang setelah dicengkram membuka kembali dan dibawa kesisi tekan. Percepatan antara sisi hisap dan sisi tekan dibentuk oleh gigi yang melakukan cengkraman dan juga oleh:

- Celah antara satu kepala gigi (roda dalam dan roda luar).
- Kepala – kepala gigi yang berbeda – beda pada sisi penhantar yang berbentuk sabit.

Gambar 2.7 : Internal Gear Pump



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

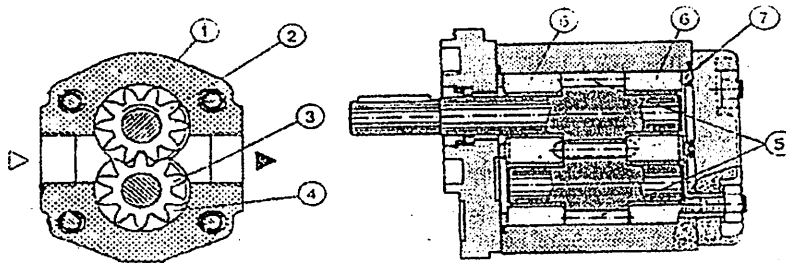
2. Pompa roda dengan gigi luar (eksternal gear pump).

Pada pompa gigi luar yang lurus dan dengan celah aksial yang konstan yaitu dengan membuat rumah pompa lebih lebar dari roda gigi sehingga terbentuklah celah aksial. Tipe ini sangat memadai untuk debit sampai 570 l/min pada putaran $n = 1500$ rpm dan untuk tekanan-tekanan kerja antara 40 – 350 bar. Sedangkan untuk pompa dengan gigi luar yang miring maka gigi-gigi akan mencengkram secara beraturan. Dengan demikian goyang tekanan di dalam rongga-rongga gigi tidak begitu kuat. Selain itu terdapat keuntung antara lain :

- a. Pompa dapat berjalan lebih tenang (getaran kecil)

- b. Dapat digunakan dalam tekanan rendah maupun tekanan tinggi dengan batas maksimum 350 bar.

Gambar 2.8 : Eksternal Gear Pump



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito.

2.7.2 Valve (katup)

Penggunaan katup dalam sistem hidrolik terutama digunakan untuk mengontrol atau mengatur aliran fluida baik dalam arah, kapasitas, dan tekanan agar tenaga yang dihasilkan pada pompa hidrolik bisa dimanfaatkan secara optimal berdaya guna.

Berdasarkan fungsinya katup bisa diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Pressure control valve

a. Pressure relief valve:

- Counter balance valve
- Unloading valve

b. Pressure sequence valve

c. Pressure reducing valve.

2. Directional control valve:

a. Solenoid valve.

b. Pilot operated solenoid directional control valve.

- c. Manual directional control valve.
- d. Check valve.
- e. Pilot operate check valve.
- f. Multiple manual unit valve.

3. Flow control valve:

- a. Throtting valve
- b. Flow control valve
- c. Flow control valve dengan shut – OH valve
- d. Pilot control flow control valve
- e. Flow control valve dengan relief valve
- f. Flow dividing valve

2.7.2.1 Pemilihan Katub

Dalam pemilihan katup yang sesuai dengan kontruksi serta pembiayaan maka perencana memilih direction control valve. Direction pembiayaan maka perencanaan memilih direction control valve dirancang untuk dihidupkan, dimatikan, control arah, mempercepat dan memperlambat silinder. Valve (katup) ini digunakan untuk diaplikasi dan banyak tipe.

Klasifikasi direction control valve:

1. Klasifikasi menurut jumlah lubang dan posisi kontrol dalam direction control valve. Jumlah lubang berarti jumlah pipa yang dihubungkan dan jumlah posisi control berarti jumlah posisi valve (katup).

2. Klasifikasi menurut fungsi, disamping operasi maju mundur dari silinder hidrolis, direction control valve, harus mempunyai fungsi untuk dimasukan kedalam sistem hidrolis sesuai spesifikasi dan tujuan dari actuator waktu menghentikannya (waktu direction control valve dalam posisi netral).

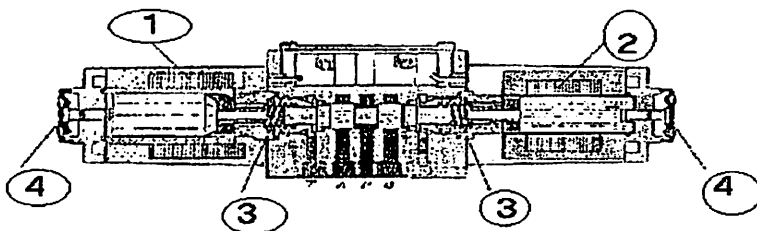
3. Klasifikasi menurut tipe operasi dan spring. Disamping klasifikasi menurut fungsi, direction control valve dapat disklasifikasikan menjadi tipe manual dan tipe mecanical, hidrolis, selenoid, dan pneumatic. Menurut tipe pemasangan spring offset yang dipakai dalam valve 2 posisi. Dalam tipe tanpa spring termasuk tipe detent (menahan) yang mampu menahan posisi valve.

Beberapa kontruksi dan ciri-ciri dari *direction control valve*:

1. Selenoid valve

Selenoid valve dapat untuk mengganti posisi sirkuit hidrolis minyak dengan operasi listrik dan manual swith, limit swith atau preasure switch. Selenoid yang dipakai adalah tipe AC operated, DC operated, dan tipe konversi AC/DC.

Gambar 2.9 : Selenoid Valve



Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolis, Tarsito

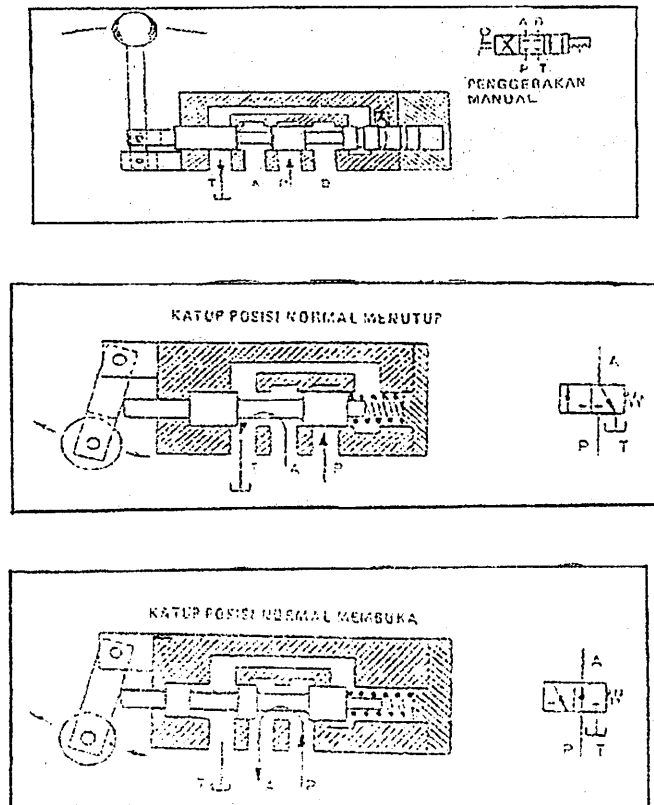
Keterangan :

1. Selenoid yang tercelup dalam oli.
2. Selonoid yang tercelup dalam oli.
3. Pegas.
4. Pegas.

2. Manual direction control valve

Arah dari flow minyak diganti dengan operasional manual (tangan). Dengan memutar pegangan direction control, spool bergerak kesalah satu arah kemudian bola ditekan terhadap alur spool dengan spring dibagian penahan untuk menahan spool center (valve tiga posisi) dan tipe spring offset (valve dua posisi), dimana spool kembali ke posisi semula dengan melepaskan pegangan.

Gambar 2.10 : Manual Direction Control Valve.



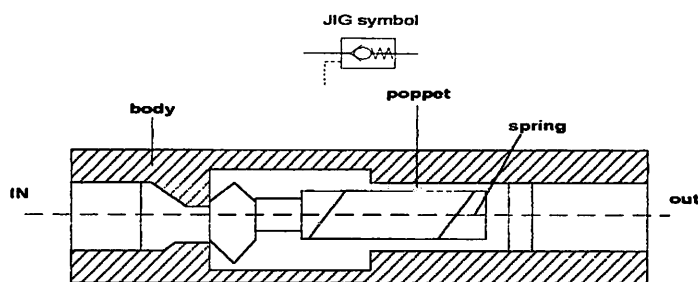
Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito.

Katup yang ditunjukkan pada gambar adalah katup dua posisi dengan tiga lubang saluran, dimana pada sisi normal (gaya penekan pegas) tidak memberikan kesempatan aliran dari lubang tekan P ke lubang saluran A. Dalam hal katup posisi normal membuka saluran tekanan P diberi kesempatan untuk mengalir ke lubang saluran A, sementara katup berada dalam posisi normal.

3. Check valve

Check valve dipakai untuk mengatur flow disirkuit hidrolik ke arah tertentu dibuka dengan crucking presuare tertentu dalam satu arah dan memutuskan flow sama sekali dalam arah balik. Tipe check valve dibagi menjadi tipe inline (lurus) dan angel (sudut).

Gambar 2.11 : Check Valve



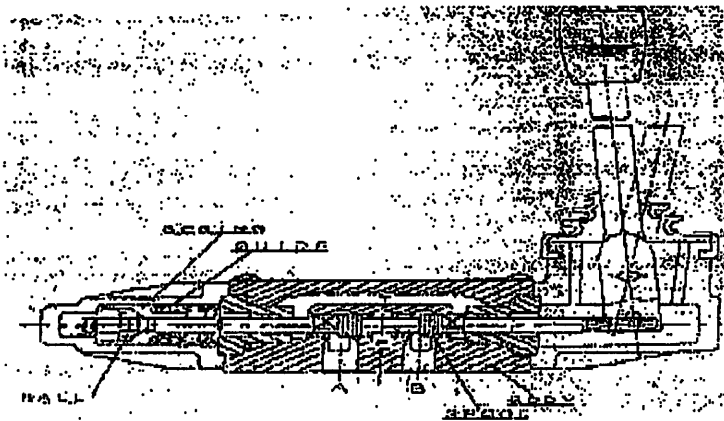
Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito

4. Multiple manual unit valve

Multiple Manual Unit Valve (valve banyak unit) terdiri dari sebuah relief valve, dan beberapa valve lubang, dan dipakai terutama untuk kendaraan bermotor. Jika direction control valve tidak dioperasikan, minyak yang keluar dari pompa kembali ke tangki melalui valve tanpa menghasilkan banyak tekanan, berarti tenaga yang berlubang dan panas yang ditimbulkan sedikit.

Sehingga dari klasifikasi tipe yang ada serta cara kerja dijelaskan diatas dan dengan pertimbangan pembiayaan, kontruksi dari sistem hidrolik yang kami buat maka perencanaan atau penulis menentukan katup direction control valve dengan tipe multiple manual unit valve untuk menggerakkan silinder hidrolik double actig.

Gambar 2.12 : Multi Manual Unit Valve



Sumber : Pesawat Hidrolik, Tarsito.

2.7.3 Reservoir

Ruangan penyimpanan fluida (oil) digunakan tangki atau disebut juga resevoir. Fluida dijaga agar tetap bersih dengan menggunakan saringan kasar (strainer), saringan halus (filter) atau pemisah magnetic sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

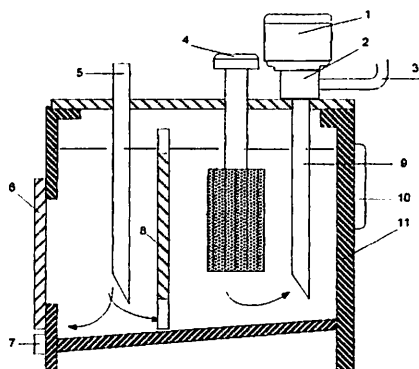
Pada prinsipnya resevoir mempunyai fungsi-fungsi penting yaitu :

1. Resevoir menyimpan fluida sehabis dipakai dari sistem hidrolik, dan bekerja sebagai penahan terhadap beban fluktuasi (gejolak) fluida yang disebabkan pemindahan aliran yang tidak sama pada elemen penggerak (sistem).

2. Reservoir mampu membuang panas yang ditimbulkan oleh tenaga pada elemen penggerak (katup).
3. Reservoir menetralkan adanya buih dan gelombang yang ditimbulkan, sehingga buih dan gelombang dapat terpisah dari fluida hidrolika.
4. Reservoir dapat memindahkan kotoran-kotoran fluida, endapan itu berada dibagian bawah reservoir, sehingga bebas dari fluidanya.

Gelombang-gelombang udara kadang ditimbulkan oleh jeratan udara atau aliran fluida yang datang dari saluran balik dan pembangunan, akan menimbulkan atau memberikan kesempatan untuk memercik pada permukaan fluida dalam reservoir. Sangatlah penting menggunakan saluran pernafasan yang cukup untuk menanggulangi aliran udara yang disebabkan oleh fluktuasi udara, karena volume udara dalam reservoir harus selalu berada pada tekanan atmosfer untuk menjamin kenormalan kerja pompa hidrolik.

Gambar 2.13 : Reservoir



Sumber : TP 501 Festo Didactic

Keterangan :

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Motor listrik | 7. Lubang pembuang |
| 2. Pompa. | 8. Plat pemisah |
| 3. Saluran ke sistem | 9. Saluran isap |
| 4. Saluran pernafasan | 10. Gerlas penduga |
| 5. Saluran kembali | 11. Reservoar (Bak) |
| 6. Tutup pembersian | |

2.7.4 Hose Dan Fitting (Sambungan)

Hose (pipa flexible) yang digunakan pada sistem pipa hidrolik terbuat dari bahan-bahan lapisan elastomerik, fiber dan anyaman atau tenunan kawat. Pipa flexible tersedia dalam berbagai ukuran. Lapisan pipa flexible bagian paling dalam harus cocok dengan aliran fluida yang dialirkan.

Pipa flexible (hose) hidrolik secara luas banyak digunakan karena mempermudah pemasangan dan mempunyai karakteristik meredam kejutan tekanan dan getaran mesin. Selang hidrolik untuk industri dan pemobilan dibuat menyesuaikan spesifikasi (SAE). Dua jenis selang hidrolik yang paling umum digunakan adalah anyaman kawat tunggal (*SAE 100 R1*) dan anyaman kawat (*SAE 100 R2*), yang akhirnya membedakan daerah kemampuan menerima tekanan. Selang untuk hidrolik digolongkan dan ditentukan oleh kekuatan konstruksi

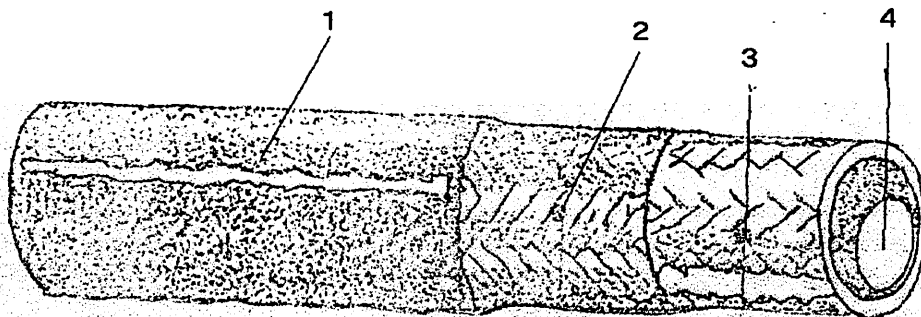
dindingnya. Ada empat jenis selang yang umum digunakan pada sistem hidrolik, yaitu:

1. Anyaman tenun.
2. Anyaman kawat tunggal.
3. Anyaman kawat ganda.
4. Kawat spiral.

Pada selang yang mengalirkan tekanan fluida lebih tinggi menggunakan lapisan kawat yang lebih kenyal (kuat) atau lapisan-lapisan external.

Dibawah ini gambar jenis selang untuk sistem hidrolik:

Gambar 2.14 : Jenis Selang untuk Sistem Hidrolik



Sumber : TP 501 Festo Didactic

Sedangkan fitting (*sambungan*) merupakan bagian dari sistem hidrolik yang digunakan untuk menyambung pada pipa atau selang, dimana dalam penyambungan selang ada dua jenis yang digunakan, yaitu:

1. Penyambungan bagian dari selang yang mempunyai soket dan nepel atau sarung.

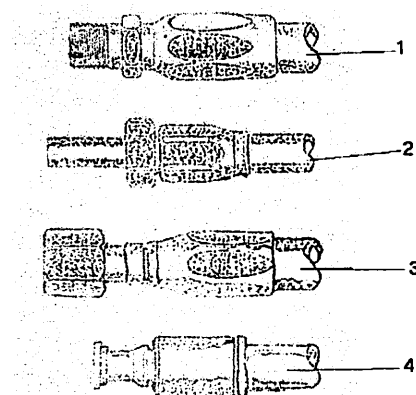
2. Adaptor bagian terpisah untuk menyambung penyambungan selang kesaluran lain.

Penyambungan ataupun adaptor keduanya disebut penyambungan betina dan jantan. Penyambungan selang tersebut dari baja, kuningan, baja tahan karat atau dalam pemakaian terbuat dari plastik. Bahan baja yang umumnya dipakai karena mampu melawan beberapa jenis tekanan dan panas yang tinggi.

Adaptor digunakan dalam 4 cara :

1. Untuk menghubungkan penyambungan kesuatu komponen.
2. Untuk menghubungkan dua saluran atau lebih.
3. Untuk mengganti gusing dan reduser.
4. Untuk menghubungkan saluran dan jangkar (penyambungan pada dinding pemisah).

Gambar 2.15 : Penggunaan Adaptor



Sumber : TP 501 Festo didactic

2.7.5. Silinder Hidrolik

Aktuator merupakan alat untuk mengubah energi hidrolik minyak flow rate dan tekanan menjadi energi mekanis, kecepatan dan gaya.

Aktuator dibagi menjadi beberapa tipe operasi sebagai berikut :

1. Silinder Hidrolik.
2. Motor hidrolik.
3. Motor oscillating (ayun).

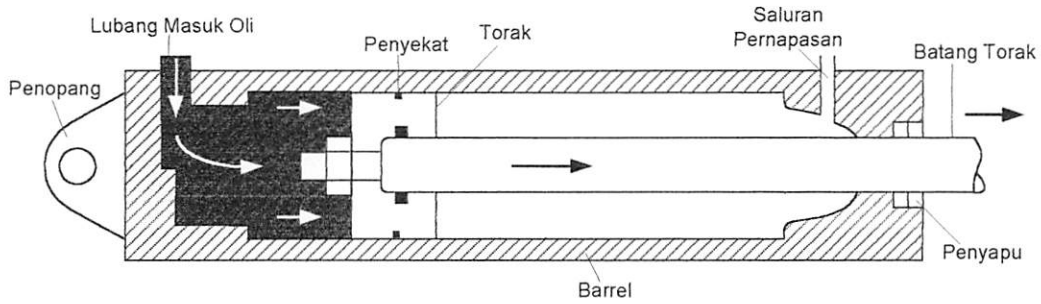
Silinder hidrolik bekerja dengan lurus adalah tipe aktuator yang paling banyak dipakai. Baik tipe single acting maupun double acting dibagi menjadi tipe single road dan tipe double road serta tipe telescopic yang mempunyai sebuah road tipe tabung multi state (banyak tabung) yang mampu memberikan stroke kerja yang panjang.

Konstruksi silinder hidrolik mempunyai dua tipe :

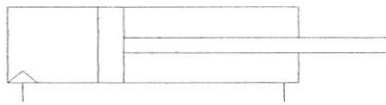
1. *Tipe single acting* : strokenya bekerja satu arah saja stroke baliknya dijalankan oleh gravitasinya atau tenaga mekanis.
2. *Tipe double acting* : strokenya bekerja dua arah dengan memakai kedua pihak piston.

Pada silinder ganda dengan satu batang torak disebut silinder differensial karena luasan penampang yang menerima tekanan oli berbeda. Sehingga gaya pada saat maju dan mundur berbeda besarnya. Silinder jenis ini biasanya didesain untuk gerakan lebih lambat, langkah lebih bertenaga ketika torak bergerak mundur.

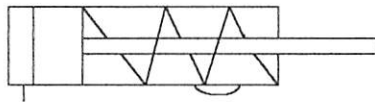
Gambar 2.16 : Silinder hidrolis single acting



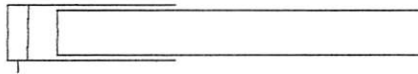
Simbol- simbol single acting



Silinder tunggal beban
mengembalikan posisi torak



Silinder tunggal pegas
mengembalikan posisi torak



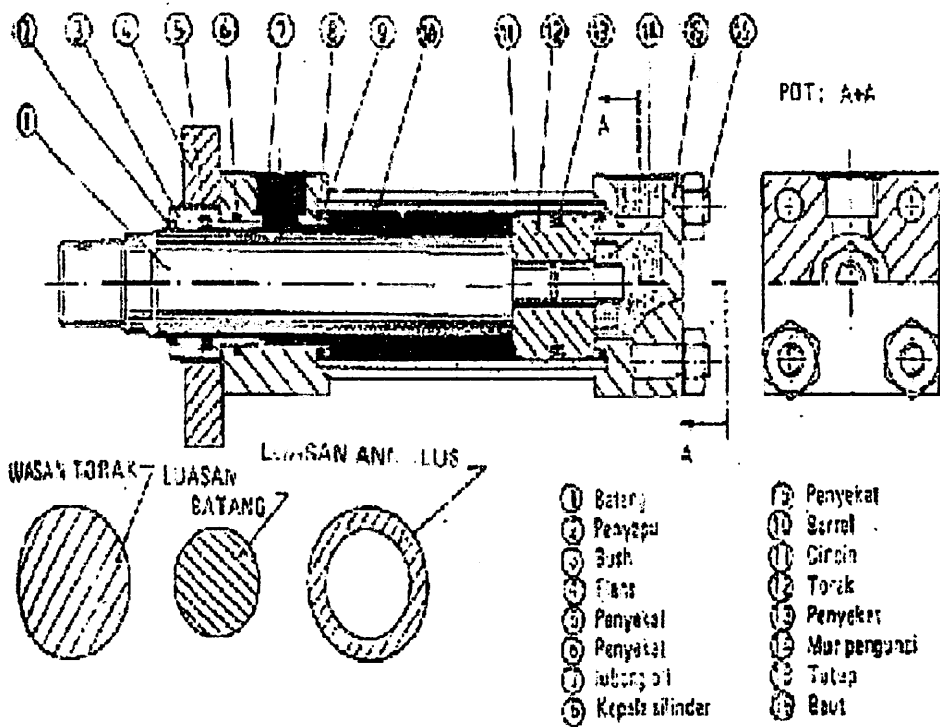
Silinder tunggal beban
mengembalikan posisi ram

Silinder single acting

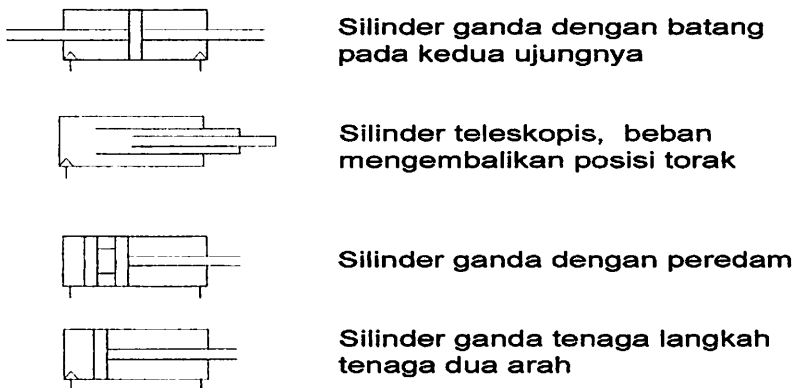
Sumber : Pesawat tenaga hidrolis, Tarsito

Silinder single acting pada silinder ini hanya memberikan gaya satu arah. Tekanan oli hanya dialirkan pada satu sisi silinder. Torak dan batang toraknya didorong keluar dari rumah silinder, dan digunakan untuk menggerakkan beban. Ketika tekanan oli dilepas, berat beban atau gaya pegas mendorong torak keposisi semula. Istilah ini sering disebut dengan posisi mundur. Silinder ini biasanya dipasang dalam arah tegak, dengan demikian mengakibatkan beban untuk turun kembali keposisi awal. Apabila silinder dipasang horizontal maka harus dilengkapi dengan pegas untuk mengembalikan keposisi awal secara otomatis.

Gambar 2.17 : Silinder Hidrolik Double Acting



Simbol- simbol Double acting

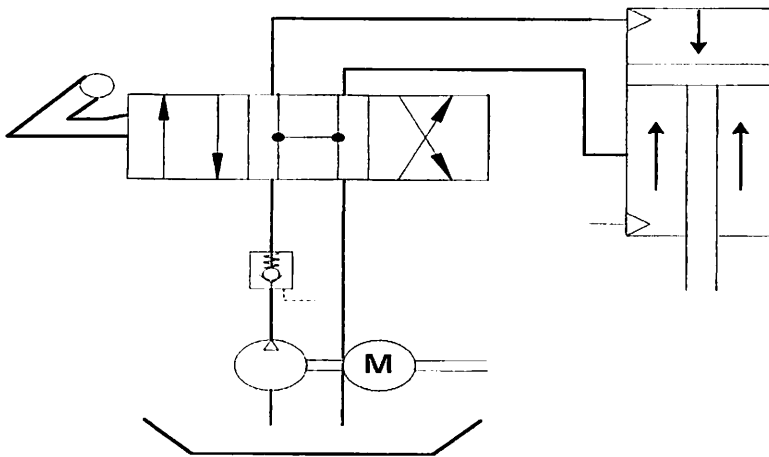


Sumber : Pesawat Tenaga Hidrolik, Tarsito.

Untuk silinder double acting memungkinkan pemakaian gaya hidrolik dalam dua arah. Tetapi langkah mundur memberikan gaya lebih kecil dari pada langkah maju, semenjak fluida bertekanan bergerak pada

luasannya yang lebih kecil dikenal sebagai “luas annulus”. Oli masuk ke salah satu ujung silinder untuk menggerakkan torak maju, dan masuk ke ujung silinder yang lain untuk menggerakkan torak.

Gambar 2.18 : Sirkuit Hidrolik



Rumus perhitungan silinder hidrolik

Untuk out put dan speed silinder:

Out put silinder = Tekanan x Luas penampang silinder

(kalau back pressure silinder adalah nol)

$$F_1 = P_1 \times A = P_1 \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$F_2 = P_2 \times B = P_2 \times \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)$$

$$\text{Speed silinder} = \frac{\text{jumlah min yang masuk}}{\text{luas penampang silinder}}$$

$$V_1 = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \dots\dots\dots \text{cm} / \text{min}$$

$$V_1 = \frac{Q_2}{B} = \frac{Q_2}{\frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)} \dots\dots\dots \text{cm} / \text{min}$$

dimana :

F_1 = Gaya maju silinder (kgf)

F_2 = Gaya mundur silinder (kgf)

A = Luas penampang silinder (cm^2)

B = Luas penampang silinder di pihak nol (cm^2)

P_1 = Tekanan dipihak A (kg/cm^2)

P_2 = Tekanan dipihak B (kg/cm^2)

D = Diameter dalam silinder (cm)

d = Diameter rod (cm/min)

V_1 = Kecepatan maju rod (cm/min)

V_2 = Kecepatan mundur rod (cm/min)

Q_1 = Kwantitas minyak masuk di pihak piston (cm^2/min)

Q_2 = Kwantitas minyak masuk di pihak rod (cm^2/min)

Untuk beban frictional resistense (*tahanan friksi*)

- Beban friksi sebelum berbeda start $F_s = W \times \mu_s$
- Beban friksi sesudah $F_s = W \times \mu_d$

Koefisien friksi berbeda menurut kondisi permukaan kontak koefisien dipermukaan slidding dari mechine logis pada umumnya adalah :

$$\mu < 0,2 - 0,3$$

$$\mu < 0,05 - 0,15$$

Dimana :

W = Beban

μ_s = Koefisien friksi statis

μ_d = Koefisien friksi dinamis

Untuk beban karena inersia

Bila suatu beban dipercepat, benda itu mempunyai beban inersia yaitu suatu hasil dari percepatan dan massa dari benda bergerak jika percepatannya konstan, beban inersia dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$F_a = \frac{W}{g} \times a \dots \dots \dots \text{kg} \cdot \text{m} / \text{det}$$

$$\text{Percepatan } a = \frac{\text{speed yang berlalu}}{\text{Waktu yang diperlukan untuk percepatan}}$$

Dimana :

g = Percepatan gravitasi (m/det²)

a = Percepatan (m/det²)

Sehingga dengan beban percepatan adalah jumlah beban friksi dinamis dan beban inersia.

Untuk menentukan diameter piston :

$$P = \frac{F}{A} \dots \dots \dots A = \frac{\pi}{4} \times d^2 \dots \dots \dots \text{kg} / \text{cm}^2$$

$$P = \frac{4 F}{\pi \times d^2} \dots \dots \dots \text{kg} / \text{cm}^2$$

Dimana :

P = Tekanan (kg/cm²)

F = Gaya silinder (kgf)

A = Luas penampang (cm)

2.8 Daya Motor Penggerak

Didalam pemilihan daya motor penggerak, maka daya motor penggerak harus lebih besar dari pompa yang digerakkan. Untuk melayani aliran fluida permenit, dan motor dapat diberikan daya yang cukup kuat kepada pompa maka daya motor dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P_{motor} = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{6120} \dots\dots\dots kw$$

BAB III

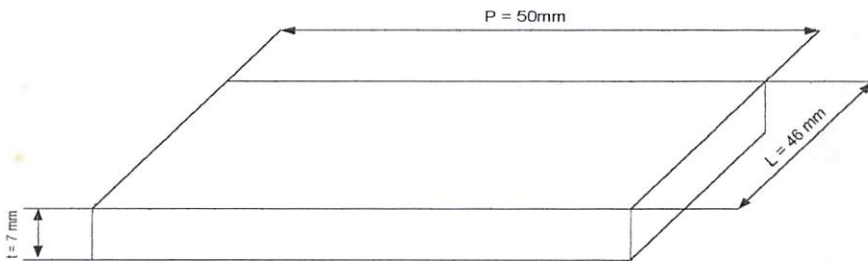
PERHITUNGAN

3.1. Perhitungan Sistem Hidrolik

a. Perhitungan gaya tekuk pada plat :

Benda kerja yang akan ditekuk adalah dari bahan plat ST 37, yang mempunyai ukuran :

Gambar 3.1 benda kerja (plat)



t (tebal) : 7 mm = 0,7 cm

P (panjang) : 5cm

l (lebar) : 4,6 cm

Maka kita dapat menghitung beban tekuk untuk dapat menekuk plat tersebut:

$$P = \tau_{tarik} \times A \quad (kg)$$

Dimana :

P = beban tekan yang dibutuhkan (kg)

τ_{tarik} = tegangan tarik ijin pada benda kerja ($37 \text{ kg/mm}^2 = 3700 \text{ kg/cm}^2$)

P = tekanan yang dibutuhkan (N/cm^2)

A = luas penampang yang membebani (cm^2)

e. Perhitungan diameter piston (d)

Bila diketahui tekanan: $341891,16 N/cm^2$ dan gaya : $12691000 N$, maka dapat diketahui diameter piston yang direncanakan :

$$P = \frac{F}{A} (N/cm^2)$$

$$P = \frac{F}{\pi/4 \times d^2} (N/cm^2)$$

$$F = P \cdot \pi/4 \cdot d^2 (N)$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{12691000}{0,785 \times 341891,16}} \\ &= \sqrt{\frac{12691000}{268384,56}} \\ &= \sqrt{47,28} \\ &= 6,8 \text{ cm} = 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

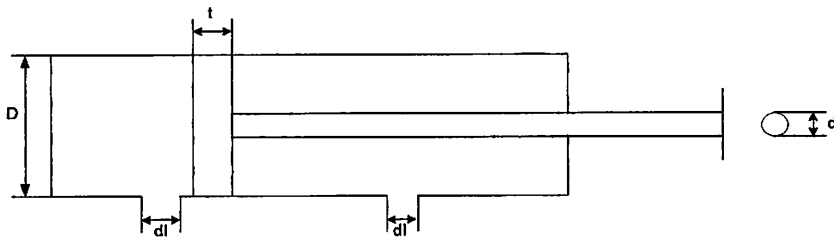
d. Dimeter batang torak (d_z)

Telah direncanakan diameter batang torak adalah ½ dari diameter torak maka $68 \times \frac{1}{2} = 34 \text{ mm}$ dengan bahan baja strip ST 37 .

e. Perhitungan silinder hidrolik

Bahan yang direncanakan adalah dari baja ST 42 (baja dengan syarat-syarat percobaan), dimana ST 42 ini menunjukkan kekuatan tarik maksimum dalam kg/mm^2 :

Gambar 3.4. silinder hidrolis



1. Tegangan tarik pada dinding silinder

$$\tau_t = \frac{P \times d}{2 \cdot t \cdot \mu}$$

Dimana :

P : Tekanan fluida = 341891,16 N/cm² = 34189,11 kg/cm²

d : Diameter torak = 68 mm = 6,8 cm

μ : Efisiensi gabungan = 90 %

t : tebal tabung yang direncanakan = 12 mm = 1,2 cm

Maka :

$$\tau_t = \frac{34189,11 \times 6,8}{2 \cdot 1,2 \cdot 0,9}$$

$$\tau_t = \frac{232485,88}{2,16}$$

$$= 107632,35 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tegangan yang menekan dinding dalam (τ_o)

$$\tau_o = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t}$$

Dimana :

τ_o (tegangan yang menekan dinding dalam) kg/cm²

P (tekanan fluida) = 34189,11 kg/cm²

$$t \text{ (tebal tabung)} = 12 \text{ mm} = 1,2 \text{ cm}$$

$$d \text{ (diameter dalam tabung)} = 68 \text{ mm} = 6,8 \text{ cm}$$

Jadi tegangan yang menekan dinding dalam silinder adalah :

$$\tau_0 = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t}$$

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \frac{34189,11 \times 6,8}{2 \times 1,2} \\ &= 96869,145 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

3. Tegangan tangensial (τ_t)

$$\tau_t = \frac{P(d_2^2 - d_1^2)}{d_2^2 - d_1^2}$$

Dimana besarnya d_2 adalah:

$$\begin{aligned} D_2 &= d_1 + (2t) \\ &= 6,8 + (2 \times 1,2) \\ &= 16,32 \text{ cm} \end{aligned}$$

Sehingga besar tegangan tangensial adalah :

$$\begin{aligned} \tau_t &= \frac{P(d_2^2 + d_1^2)}{d_2^2 - d_1^2} \\ \tau_t &= \frac{34189,11 (16,32^2 + 6,8^2)}{16,32^2 - 6,8^2} \\ &= \frac{10686832}{220,1} \\ &= 48554,43 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\tau_t = \text{tegangan tangensial (kg/cm}^2\text{)}$$

$$d_1^2 = \text{diameter torak (cm)}$$

d_2^2 = diameter besar torak (cm)

P = tekanan hidrolik (kg/cm²)

4. Perhitungan gaya torak diketahui data-data sebagai berikut :

Diketahui data-data sebagai berikut :

D = diameter silinder (6,8 cm)

d = batang torak (3,4 cm)

Untuk silinder mempunyai gaya torak efektif karena jenis silinder mempunyai diameter dan tekanan. Maka untuk silinder digunakan rumus sebagai berikut :

$$F_D = \frac{0,785 \times P \times d_1^2}{10000} (kN)$$

$$F_Z = \frac{0,785 \times P \times d_2^2}{10000} (kN)$$

Dimana :

F = Gaya torak efektif (kN)

A = luas penampang tanpa batang torak (cm²)

A' = luas penampang batang torak (cm²)

R_r = (Gaya gesek, (80%-90%) diambil 90%.

P = Tekanan (341891,16 N/cm² = 34189,11 kg/cm²)

Dari persamaan luas penampang torak adalah:

$$A = \frac{0,785 \times d_1^2}{100} (cm^2) \quad d_1 = \text{Diameter torak dalam satuan (mm)}$$
$$= \frac{0,785 \times 68^2}{100} = 36,29 \text{ cm}^2$$

Luas penampang batang torak (A') :

$$A = \frac{0,785 \times d_2^2}{100} (cm^2) \quad d_2 \text{ . Diameter batang torak dalam satuan (mm)}$$
$$= \frac{0,785 \times 34^2}{100} = 9,07 \text{ cm}^2$$

Luas penampang kerja (annulus area) = luas penampang torak – luas penampang batang torak

$$A = \frac{0,785 \times (d_1^2 - d_2^2)}{100} (cm^2) \quad d_2 \text{ dan } d_1 = \text{Diameter dalam satuan (mm)}$$
$$= \frac{0,785 \times (266,34 - 46,24)}{100} = 1,72 \text{ cm}^2$$

Dimana :

$$A = \text{luas penampang torak (cm}^2\text{)}$$

$$A' = \text{luas penampang batang torak (cm}^2\text{)}$$

$$A_R = \text{Luas penampang kerja (annulus area = cm}^2\text{)}$$

Gaya torak pada langkah maju yaitu sebagai berikut :

$$F_D = \frac{0,785 \times P \times d_1^2}{10000} (kN)$$
$$= \frac{0,785 \times 341891,16 \times 6,8^2}{10000}$$
$$= 1241 \text{ kN}$$

$$F_{\text{efektif}} = (P \cdot A) - R_r$$

$$= 1241 - (1241 \times 90 \%)$$

$$= 124,1 \text{ kN}$$

Gaya torak pada langkah mundur

$$\begin{aligned} F_z &= \frac{0,785 \times P \times (d_1^2 - d_2^2)}{10000} \text{ (kN)} \\ &= \frac{0,785 \times 341891,16 \times (6,8^2 - 3,4^2)}{10000} \\ &= 930,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{efektif}} &= (A \cdot P) - R_r \\ &= 930,75 - (930,75 \times 90\%) \\ &= 93,075 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dimana :

F_d = Gaya torak maju (kN)

F_z = Gaya torak mundur (kN)

d_1 = Diameter torak dalam (cm)

d_2 = diameter batang torak dalam (cm)

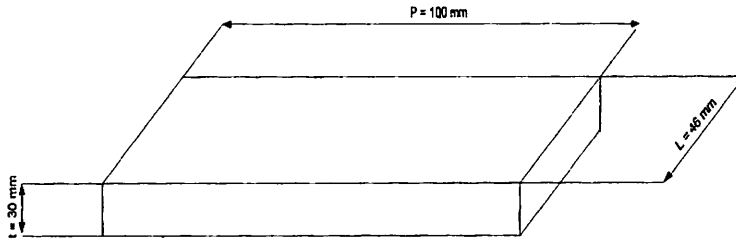
Gaya dorong batang torak F_s (Gaya dorong maju dengan pemindaan difrensial :

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{0,785 \times P \times d_2^2}{10000} \text{ (kN)} \\ &= \frac{0,785 \times 341891,16 \times 3,4^2}{10000} \\ &= 310,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

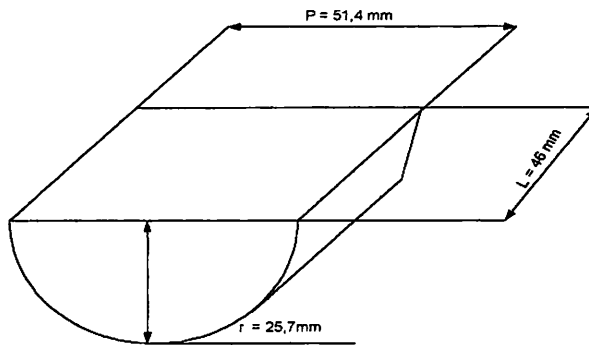
5. Gaya pada daish

Bila diketahui bentuk daish (cetakan penekuk plat profil '1/2 Lingkaran' dengan bahan baja ST 37) adalah:

Gambar 3.6 untuk potongan (A)



Gambar 3.7 untuk potongan (B)



Maka dari potongan (A) akan didapat kan massa (m_A) dari daish :

$$m_A = \rho \times v_A \dots\dots(kg)$$

Dimana :

$$\rho \text{ (rapat massa baja)} = 7,8 \times 10^3 \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

$$v \text{ (volume daish A) } = P \times L \times t \dots\dots m^3$$

dimana:	P (panjang)	: 10cm = 0,1 m
	L (lebar)	: 46mm = 0,046 m
	t (tebal)	: 20mm = 0,002 m
		= 0,1 x 0,046 x 0,002
		= 9,2 x 10 ⁻⁶ m ³

Maka:

$$m_A = (7,8 \times 10^3) \times (9,2 \times 10^{-6})$$

$$= 0,07176 \text{ kg}$$

$$m_B = \rho \times v_B \dots \dots \dots (\text{kg})$$

$$v \text{ (volume daish B)} = P \times L \times t \dots \dots m^3$$

Dimana:

$$P \text{ (panjang)} : 51,4 \text{ mm} = 0,0514 \text{ m}$$

$$L \text{ (lebar)} : 46 \text{ mm} = 0,046 \text{ m}$$

$$t \text{ (tebal)} : 25,7 \text{ mm} = 0,0257 \text{ m}$$

$$= 0,0514 \times 0,046 \times 0,0257$$

$$= 6,076508 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$m_B = (7,8 \times 10^3) \times (6,076508 \times 10^{-5})$$

$$= 0,479 \text{ kg}$$

Maka beban total (m_{total}) adalah

$$m_{\text{total}} = m_A + m_B$$

$$= 0,07176 + 0,479 \text{ kg}$$

$$= 0,55076 \text{ kg}$$

Maka dapat dicari gaya pada daish yang bekerja pada plat:

$$F = m_{\text{tot}} \times g \dots \dots \dots (\text{N})$$

$$F = 0,55076 \times 9,8 \dots \dots (\text{N})$$

$$= 5,397 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = 539,7 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{s}^2 = \frac{539,7}{10000} = 0,05397 \text{ kN}$$

Dimana :

F : Gaya daish (N)

m_{tot} : Total massa daish (kg)

g : Gaya gravitasi ($9,8 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$)

Sehingga gaya efektif total pada langkah maju adalah:

$$\begin{aligned}F_{\text{tot}} &= F + F_{\text{daish}} \\ &= 1241 + 0,05397 \\ &= 1241,05397 \text{ kN}\end{aligned}$$

Sehingga, gaya efektif total pada langkah mundur adalah :

$$\begin{aligned}F_{\text{tot}} &= F + F_{\text{daish}} \\ &= 930,75 + 0,05397 \\ &= 930,80397 \text{ kN}\end{aligned}$$

Jadi gaya gerak efektif silinder kerja adalah :

-Gaya gerak maju = 1241,05397 kN

-Gaya gerak mundur = 930,80397 kN

f. Perhitungan piston

Telah direncanakan piston untuk silinder dengan bahan ST 37 dengan kekuatan bahan maksimum $370 \text{ N/mm}^2 = 37000 \text{ N/cm}^2$ dan faktor keamanan (sf) 5, maka tegangan ijin bahan adalah

$$\sigma_t = \frac{\text{kekua tan bahan}}{\text{faktor keamanan}}$$

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{37000}{5} \\ &= 7400 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_g &= \mu k \times \sigma_t \\ &= 0,57 \times 7400 \\ &= 4218 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

Dimana:

σ_t = tegangan tarik (N/cm^2)

σ_g = tegangan geser (N/cm^2)

μk = Koefisien Gesek (0,57)

untuk mengetahui ketebalan piston dan menetukannya maka kita dapat mencari dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma t = \frac{F}{A} (N / cm^2)$$

Dimana:

F = Gaya yang bekerja (gaya efektif total langkah maju N/cm^2)

A = Luas bagian kritis yang menahan beban (cm^2)

$$= \pi \times D \times t$$

Sehingga berdasarkan persamaan tersebut diatas dapat diketahui tebal piston untuk silinder hidrolik, yaitu :

$$t = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot \sigma g} (cm)$$

$$t = \frac{1241000}{3,14 \cdot 68 \cdot 4218}$$

$$= \frac{1241000}{90062,736}$$

$$= 1,37 \text{ mm}$$

Dalam perencanaan untuk menjaga keamanan dan menghindari kerusakan, maka tebalnya piston diambil 40 mm.

SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

SECRET

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL

g. Perhitungan perencanaan beban kritis pada batang torak

Batang torak tersebut dari ST 42, dengan modulus elastisitas (E) bahan adalah $2,1 \times 10^{10}$ kg/mm².

- Beban tarik :

- Untuk menahan beban tekuk atau beban kritis yang terjadi adalah (Rumus Euler)

Disamakan :

$$K = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{S k^2}$$

Dimana :

K = beban kritis yang terjadi (kg)

E = Modulus elastisitas bahan (st 42) adalah $2,1 \cdot 10^{10}$ x 9,80665 kg/m

I = Inersia batang torak (mm) = Besarnya $\frac{\pi}{64} \times d^4$ jadi

$$I = \frac{3,14}{64} \times 0,034^4 = 6,667370496 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

sK = Panjang batang yang menekuk bebas (panjang langkah)

$$= 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

S = faktor keamanan (biasanya 2,5 – 3,5)

Maka dari persamaan tersebut diatas diperoleh :

$$k = \frac{\pi^2 \times 2,1 \times 10^{10} \times 9,80665 \times 6,66730498 \times 10^{-5}}{0,5^2}$$
$$= \frac{13537846,575}{0,25}$$

$$= 16713390,83 \text{ kN (kilo Newton)}$$

$$F \text{ (pembebanan aman) adalah : } F = \frac{K}{3,5}$$

$$F = \frac{16713390,83}{3,5}$$
$$= 4775254,554 \text{ kN (kilo Newton)}$$

3.2 Perhitungan pompa hidrolik

Dalam penggunaan pompa hidrolik direncanakan jenis pompa roda gigi luar dengan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

$$D = \text{Diameter torak : } 68 \text{ mm} = 6,8 \text{ cm}$$

$$d = \text{Diameter batang torak : } 34 \text{ mm} = 3,4 \text{ cm}$$

$$S = \text{Panjang aliran (jarak yang ditempuh) : } 500 \text{ mm} = 50 \text{ cm}$$

$$t = \text{Waktu } 6,4 \text{ s}$$

1. Perhitungan volume silinder

Maka diketahui volume silinder dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{\mu}{4} x (D^2 - d^2) x S$$
$$= \frac{0,9}{4} x (6,8^2 - 3,4^2) x 50$$
$$= 390,15 \text{ cm}^3$$

2. Perhitungan debit aliran (Q)

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (cm}^3\text{)}$$
$$= \frac{390,15}{6,4}$$
$$= 60,9 \text{ cm}^3 / \text{det}$$

3. kecepatan fluida (v_f)

$$\begin{aligned}v_f &= \frac{Q}{A} \text{ (cm/s)} \\ &= \frac{60,9}{9,07} \\ &= 6,71 \text{ cm/det}\end{aligned}$$

5. Aliran rata-rata maju (Q)

$$\begin{aligned}Q &= \frac{V_f \times d_1^2 \times \pi / 4}{t} \text{ (.cm}^3 \text{ / det)} \\ &= \frac{6,71 \times 6,8^2 \times 0,785}{6,4} \\ &= 38,05 \text{ cm}^3 \text{ / det}\end{aligned}$$

6. Aliran rata-rata mundur (Q')

$$\begin{aligned}Q' &= \frac{V_f \times (d_1^2 - d_2^2) \times \pi / 4}{t} \text{ (.cm}^3 \text{ / det)} \\ &= \frac{6,71 \times (6,8^2 - 3,4^2) \times 0,785}{6,4} \\ &= 28,54 \text{ cm}^3 \text{ / det}\end{aligned}$$

7. Volume efisiensi (η_v)

$$\begin{aligned}\eta_v &= \frac{Q'}{Q} \times 100\% \\ &= \frac{28,54}{38,05} \times 100\% \\ &= 75\%\end{aligned}$$

8. kecepatan fluida keluar pompa pada saat torak maju (l_o)

$$\begin{aligned}L_o &= \frac{P \times Q}{612} \\ &= \frac{34189,11 \times 38,05}{612} \\ &= 2125,6 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

9. Kecepatan fluida keluar pada saat torak mundur (L_i)

$$\begin{aligned}L_i &= \frac{P \cdot Q'}{612} \\ &= \frac{34189,11 \times 28,54}{612} \\ &= 1594,37 \text{ kg.cm/s}\end{aligned}$$

10. Overall efisiensi (η_T)

$$\begin{aligned}\mu_T &= \frac{L_i}{L_o} \\ &= \frac{1594,37}{2125,6} \times 100\% \\ &= 75 \%\end{aligned}$$

11 .Maka dapat diketahui tenaga pompa yang bekerja termasuk efisiensinya

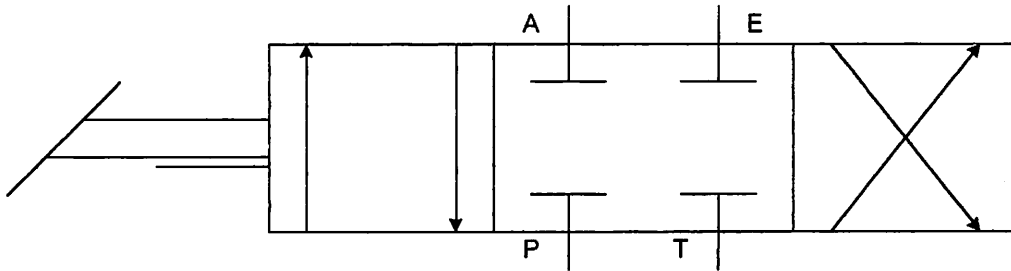
(η_p), adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P &= \frac{P \times Q \times 100}{\eta_p} \\ &= \frac{3418911600 \times 13,68 \times 100}{10^3 \times 10^3 \times 60 \times 90} \\ &= \frac{4,677071069 \times 10^{12}}{5400000000} \\ &= 866,124 \text{ kw}\end{aligned}$$

3.3. Perhitungan Katup Hidrolik

Adapun yang harus dihitung dalam perencanaan katup hidrolik adalah :

Gambar 3.8. Katup (valve)



1. Luas Penampang yang berhubungan dengan minyak (A_k)

$$A_k = \frac{\pi}{4}(d_k^2 - d_v^2)$$

Dimana :

d_k = Diameter tabung katup yang direncanakan adalah 65 mm

d_v = Diameter piston katup yang direncanakan adalah 60 mm

Jadi luas penampang yang berhubungan dengan minyak adalah :

$$A_k = \frac{\pi}{4}(d_k^2 - d_v^2)$$

$$A_k = \frac{3,14}{4}(65^2 - 60^2)$$

$$= 3,925 \text{ mm}^2$$

2. Gaya diperlukan untuk menggerakkan katup adalah :

$$F = P \cdot A$$

Dimana :

P = Tekanan fluida 34189,16 kg/cm²

A = Luas penampang torak 9,07 cm²

Maka gaya yang diperlukan untuk menggerakkan katup adalah :

$$\begin{aligned} F &= P \cdot A \\ &= 34189,16 \times 9,07 \\ &= 310095,6812 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

3. Usaha yang dilakukan oleh katup (U_k)

$$U_k = F \cdot s$$

Dimana :

F = Gaya yang diperlukan untuk menggerakkan katup

S = Jarak katup yang direncanakan : 35 mm = 3,5 cm

Jadi usaha yang dilakukan katup sebesar :

$$\begin{aligned} U_k &= F \cdot s \\ &= 310095,6812 \times 3,5 \\ &= 1085334,88 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4. Tegangan tarik yang diijinkan (τ_t)

$$\tau_t = \frac{P(d_k^2 - d_v^2)}{2 \cdot t \cdot \mu_t}$$

Dimana :

P = Tekanan fluida = 34189,116 kg/cm²

t = Tebal tabung 12.mm = 1,2 cm

d_k = Diameter katup bagian dalam = 65mm = 6,5 cm

d_v = Diameter piston katup = 60 mm = 6 cm

μ_t = Effisiensi gabungan = 0,9

jadi tegangan tarik yang diijinkan adalah :

$$\begin{aligned}\tau_t &= \frac{P(d_k^2 - d_v^2)}{2 \cdot t \cdot \mu_1} \\ &= \frac{34189,116 \cdot (6,5^2 - 6^2)}{2 \cdot 12 \cdot 0,9} \\ &= 9892,68 \text{ N/cm}^2\end{aligned}$$

3.4. Perhitungan daya motor penggerak (motor listrik)

Dalam perhitungan penggerak sistem hidrolik , maka daya motor penggerak harus lebih besar dari daya pompa yang digerakkan .

1. Perhitungan daya motor penggerak

maka dapat diketahui daya penggerak motor yang sebenarnya yang dibutuhkan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$N = Q \cdot P \cdot \mu_t \cdot \frac{1}{6000}$$

dimana :

$$Q = \text{Debit} : 3,805 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = \text{Tekanan} : 341891160 \text{ N/m}^2$$

$$\mu_t = \text{efisiensi} : 75$$

Maka dapat diketahui Daya motor yang dibutuhkan pada sistem hidrolik sebagai berikut :

$$N = 3,805 \cdot 10^{-5} \cdot 341891160 \cdot 75 \cdot \frac{1}{1000}$$

$$N = 975,67 \text{ Kw}$$

REKAPITULASI DATA

P_{cr} (Beban tekuk plat)	: 12950 kg
F (Gaya tekan yang dibutuhkan)	: 126191000 N
P (tekanan hidrolis)	: 341891,16 N/cm ²
D (Diameter torak)	: 68 mm
d (Diameter batang torak)	: 34 mm
τ_t (Tegangan tarik pada silinder)	: 107632,35 kg/cm ²
τ_o (Tegangan tekan pada dinding dalam)	: 96869,145 kg/cm ²
τ_t (Tegangan tangensial)	: 48554,43 kg/cm ²
F (Gaya torak efektif maju)	: 1241 kN
F (Gaya torak efektif mundur)	: 930,75 kN
F (Gaya daish)	: 0,05397 kN
F_{tot} (gaya torak maju + gaya daish)	: 1241,05397 kN
F_{tot} (gaya torak mundur + gaya daish)	: 930,80397 kN
t (Direncanakan tebal piston)	: 40 mm
τ_t (tegangan tarik piston)	: 8,436 N/mm ²
K (beban kritis batang torak)	: 16713390,83 kN (kilo newton)
F (pembebanan aman)	: 4775254,554 kN (kilo newton)
V (volume silinder)	: 390,15 cm ³
Q (debit aliran)	: 60,9 cm ³ /s
V_f (kecepatan fluida kerja)	: 6,71 cm/s
Lo (kecepatan fluida keluar pompa)	: 2125,6 kg.cm ³ /s

Li (kecepatan fluida masuk pompa) : $1594,37 \text{ kg}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$

μ_v (volume efisiensi) : 75 %

μ_T (overall efisiensi) : 75 %

A_k (luas penampang yang berhubungan dengan torak) : $3,925 \text{ mm}^2$

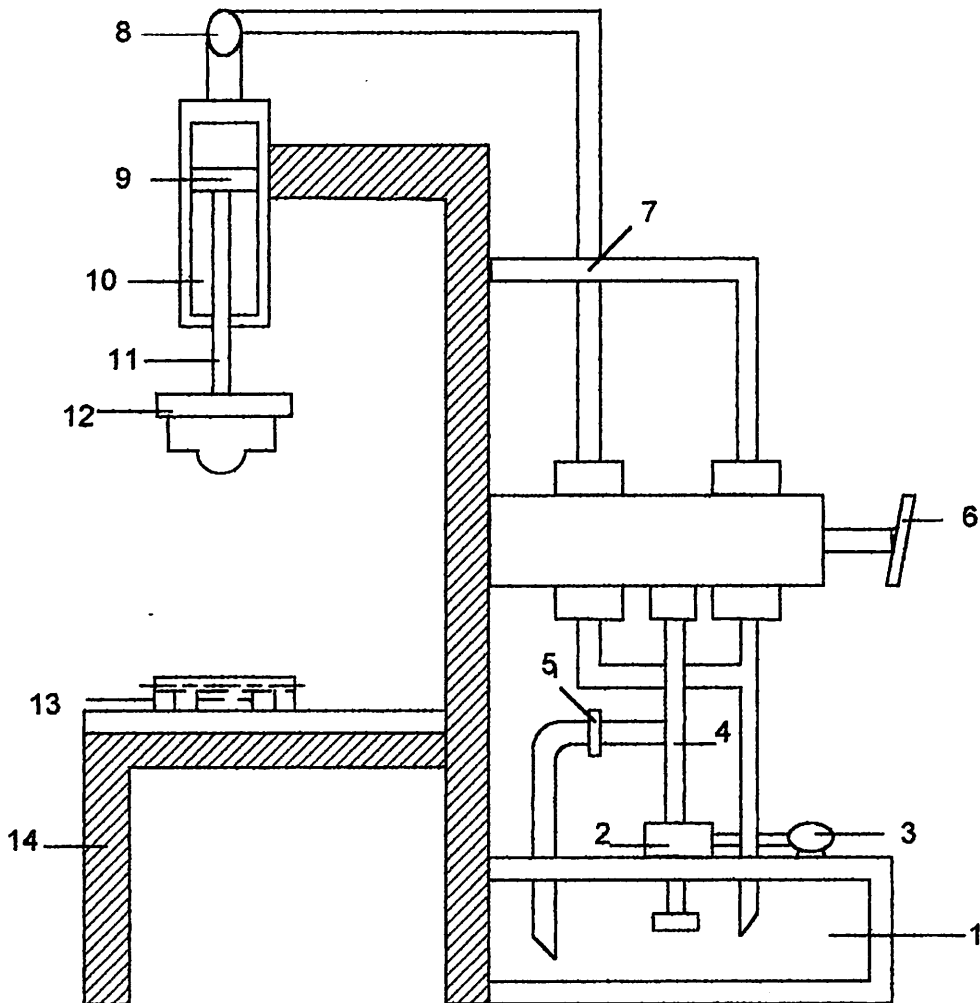
F (gaya yang diperlukan menggerakkan katup) : $3100095,6812 \text{ kg}/\text{cm}^2$

U_k (usaha yang dilakukan katup) : $1085334,88 \text{ kg}/\text{cm}^2$

τ_t (tegangan tarik ijin katup) : $9892,68 \text{ kg}/\text{cm}^2$

N (daya motor) : 975,67 Kw

Gambar Mesin Hidrolik Penekuk Plat Profil ‘ ½ LINGKARAN ‘.



Keterangan :

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. Reservoir. | 8. Pengatur tekanan . |
| 2. Pompa hidrolik | 9. Piston . |
| 3. Motor . | 10. Silinder. |
| 4. Katub balik. | 11. Batang piston. |
| 5. Katup pelepas tekan. | 12. Daish atas. |
| 6. Katup pengatur aliran . | 13. Daish bawah. |
| 7. Pipa alir | 14. Kerangka |

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil perencanaan sistem hidrolik pada mesin penekuk plat profil “1/2 LINGKARAN” dibahas pada bab-bab terdahulu dan penulis membuat dalam bentuk nyata, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dalam merancang suatu peralatan bantu industri tidak cukup hanya merancangnya saja, akan tetapi diperlukan analisa bahan yang digunakan, dan juga proses pengerjaannya.
2. Pemilihan bahan sangat menentukan dalam perencanaan sistem hidrolik pada mesin penekuk plat profil “1/2 LINGKARAN”.
3. Kesalahan yang dapat terjadi saat pengukuran kebanyakan disebabkan karena perencanaan yang tidak baik.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan sistem hidrolik pada mesin penekuk plat profil “1/2 LINGKARAN” ada beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis adalah sebagai berikut :

1. Pada saat perencanaan hendaknya bahan yang dipilih memenuhi syarat keamanan, harga tidak terlalu tinggi, mudah didapat, dan hasilnya bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- Ir.Achmat Taufik,Petunjuk Praktikum Hydraulic Control System
- Hartono.S,Sistem kontrol Dan Pesawat Tenaga Hidrolik,Penerbit Tarsito,
Bandung,1998
- Hidrolik,VEDC,Bandung Tahun 1987
- John j.Pippenger,Tyler G.Hicks . Industrial Hydraulics
- Pneumatik Dan Hindrolik,Industrial Training Swervice . ITB . Tahun 1996
- Slamet Riva'I,Sistem Pnematik Dan Hidrolik
- Sularso, Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin,PT.Pradnya Paramita
Jakarta.



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-2014/I.TA/8/04

Malang 8 Pebruari 2005

Tempiran : -----

Perihal : *Bimbingan Tugas Akhir.*

Keperada : Yth. Sdr/i. Sibut. ST

Dosen Institut Teknologi Nasional

Di

Malang.

Dengan hormat.

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan **Tugas Akhir** untuk mahasiswa:

Nama : Arif Riswanto
NIM : 0151006
Semester : IX (Sembilan)
Jurusan : Teknik Mesin Diploma Tiga (D. III)
Fakultas : Teknologi Industri

Maka dengan ini pembimbingan Tugas Akhir tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara/i selama 1 (Satu) bulan, terhitung mulai tanggal, 8 Pebruari s/d 8 Juli 2005 Adapun tugas tersebut untuk memenuhi persyaratan di dalam menempuh Ujian Tugas Akhir Diploma Tiga.

Demikian agar maklum, dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan banyak terima kasih.

Jurusan Teknik Mesin Diploma Tiga (D. III)

Ketua

Ir. TEGUH RAHARDJO, MT

NIP.: 131 991 184

Penyampaian kepada Yth.:

1. Mahasiswa yang bersangkutan.
2. Arsip.

Указ
Государственный архив Российской Федерации
Секция по организации хранения, комплектования, учета и использования документов Архивного фонда Российской Федерации и негосударственных архивов

ПРАВИЛА
ОБРАБОТКИ

ПРАВИЛА

Правила обработки документов в архивах (с 1991 г.)

1. Настоящие Правила являются основой для разработки и применения правил обработки документов в архивах.

2. Настоящие Правила распространяются на документы, поступающие в архивы, независимо от их происхождения, формы, содержания и назначения.

- 1.1. Целью обработки документов является обеспечение их сохранности, полноты, достоверности, доступности и удобства использования.
- 1.2. Обработка документов осуществляется в соответствии с требованиями настоящих Правил.
- 1.3. Обработка документов осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.55-78.
- 1.4. Обработка документов осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.56-78.
- 1.5. Обработка документов осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.57-78.

3. Настоящие Правила применяются к документам, поступающим в архивы, независимо от их происхождения, формы, содержания и назначения.

4. Настоящие Правила применяются к документам, поступающим в архивы, независимо от их происхождения, формы, содержания и назначения.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5. Настоящие Правила являются основой для разработки и применения правил обработки документов в архивах.

6. Настоящие Правила являются основой для разработки и применения правил обработки документов в архивах.

7. Настоящие Правила являются основой для разработки и применения правил обработки документов в архивах.

8. Настоящие Правила являются основой для разработки и применения правил обработки документов в архивах.

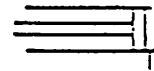
9. Настоящие Правила являются основой для разработки и применения правил обработки документов в архивах.

Lampiran 1. Simbol Komponen Hidrolik

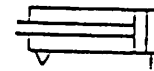
Tabel 1

Elemen penggerak linier

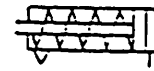
Ram gerakan tunggal (beban mengembalikan posisi ram)



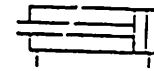
Elemen penggerak gerakan tunggal (beban mengembalikan posisi torak)



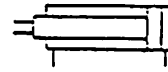
Elemen penggerak gerakan tunggal (pegas mengembalikan posisi torak)



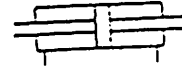
Elemen penggerak gerakan ganda



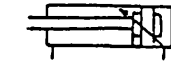
Elemen penggerak diferensial dengan batang torak besar.



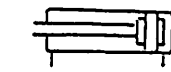
Elemen penggerak gerakan ganda dengan dua sisi batang torak.



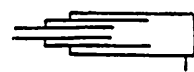
Torak dengan peredaman posisi ujung dapat disetel



Torak dengan peredaman posisi ujung tetap



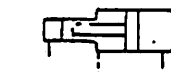
Elemen penggerak gerakan tunggal, teleskopis



Elemen penggerak gerakan ganda, teleskopis



Penguat tekanan



Tabel 2

Katup-katup pengarah

Katup pengarah dengan dua posisi yang berlainan.



Katup pengarah dengan tiga posisi berlainan.



Katup pengarah dengan posisi-posisi penyeberangan nerarti.



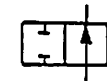
Katup dengan dua dan satu posisi peneratan menengah jumlah tak terbatas yang berlainan.



Katup dengan tiga dan satu posisi peneratan menengah jumlah tak terbatas yang berlainan.



Katup dua lubang saluran, dua posisi



Katup tiga lubang saluran, dua posisi



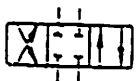
Katup empat lubang saluran, dua posisi



Katup lima lubang saluran, dua posisi



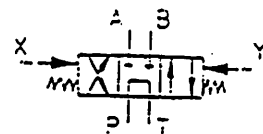
Katup empat lubang saluran, tiga posisi dengan posisi tengah tertutup penuh.



Penandaan lubang katup :

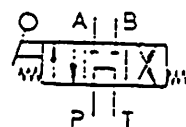
Saluran kerja A, B

Saluran pemandu X, Y

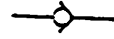


Saluran tekanan P

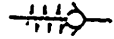
Saluran reservoir T



Katup balik



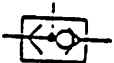
Katup balik dilawan pegas



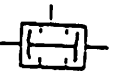
Katup balik dioperasikan pemandu



Katup fungsi OR



Katup fungsi AND



Katup pemerlambat

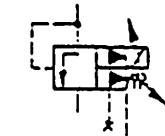


Katup pemerlambat



Katup servo dan proportional

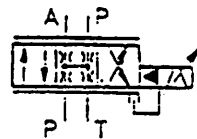
Katup pelepas tekanan kontrol proporsional (dengan pembatasan tekanan maksimum integral)



Katup pengarah proporsional dioperasikan pemandu.

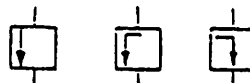


Katup servo empat lubang saluran dengan feedback mekanik, overlapping standard.

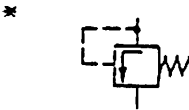


Pengontrol tekanan

Mulut penghambat normal menutup atau normal membuka. (* khusus)















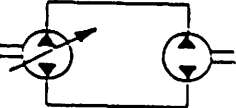




Katup pelepas tekanan (tetap)



Tabel 3

Pompa, motor, dan elemen penggerak

	Tetap	Variabel
Pompa arah putaran tunggal		
Pompa arah putaran dobel		
Motor arah putaran tunggal		
Motor arah putaran dobel		
Pompa/motor arah putaran tunggal dengan pembalikan arah aliran.		
Pompa/motor arah putaran tunggal dengan arah aliran tunggal.		
Pompa/motor arah putaran dobel dengan dua arah aliran.		
Penggerak hidrostatik, jenis sistem belah.		
Penggerak hidrostatik gabungan, output dapat dibalik.		
Elemen penggerak semi rotari.		

Motor listrik (penggerak)



Motor bakar (penggerak)



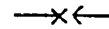
Motor listrik dengan pompa dan kopling penggerak



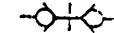
Saluran tertutup



Saluran tertutup dengan pelepas



Kopling penyambung cepat



Sambungan rotari



Akumulator (simbol umum)



Akumulator pegas



Akumulator gas



Pendingin



Pengontrol suhu

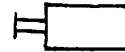


Filter (halus atau kasar)



Mekanik (penggerak) pengontrol katup

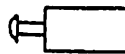
Kontrol tak tentu (umum)



Tuas tangan (rotari atau linier)



Tombol tekan



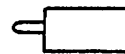
Tuas kaki (pedal)



Rol kem



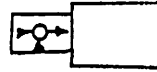
Plunyer (torak atau bola)



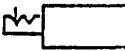
Pegas



Servo



Detent



Pelepasan tekanan



Pemakaian tekanan



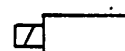
Pemandu pneumatik



Pemandu hidrolik



Solenoid



Pemandu elektro-hidrolik



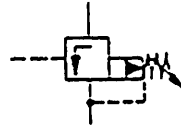
Pemandu pneumatik/hidrolik



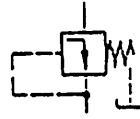
Posisi tengah katup dengan pegas



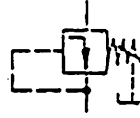
Katup offloading.



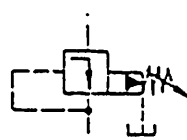
Katup penurun tekanan (tetap)



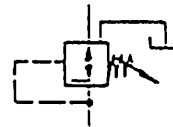
Katup penurun tekanan (dapat disetel)



Katup penurun tekanan dioperasikan pemandu.

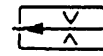


Katup penurun tekanan dengan pelepasan sistem sekunder.



Pengontrol aliran

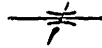
Katup penceraat : dapat di pengaruhi viskosita



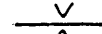
Katup penceraat (tetap)



Katup penceraat (dapat disetel)



Katup kontrol aliran, tekanan dan suhu dikompensasikan



Katup kontrol aliran dengan aliran kembali bebas.



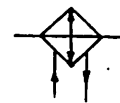
Katup kontrol aliran by-pass



Pembagi aliran



Pendingin dilengkapi saluran cairan pendingin



Pemanas



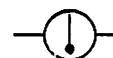
Pengukur tekanan, indikator tekanan



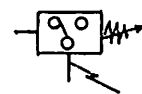
Pengukur aliran



Thermometer



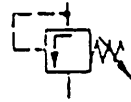
Saklar listrik oleh tekanan



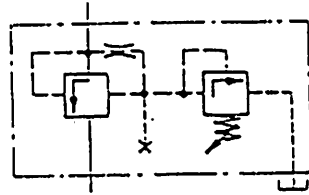
Katup penutup



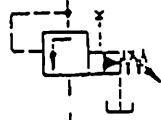
Katup pelepas tekanan (dapat disetel)



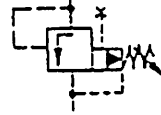
Simbol detail katup pelepas tekanan dioperasikan pemandu (katup pelepas gabungan).



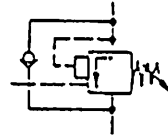
Simbol katup pelepas gabungan yang disederhanakan (aliran pemandu dibuang ke luar).



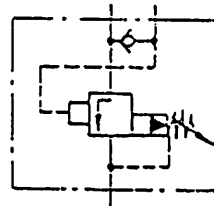
Simbol katup pelepas gabungan yang disederhanakan (aliran pemandu dibuang ke dalam).



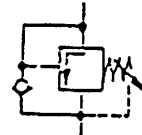
Katup rem



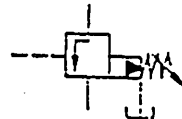
Katup unloading (katup pengisi akumulator).



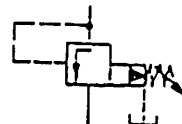
Katup konterbalans (katup tekanan balik).















Katup sekuens dengan kontrol terpisah (pemandu eksternal).



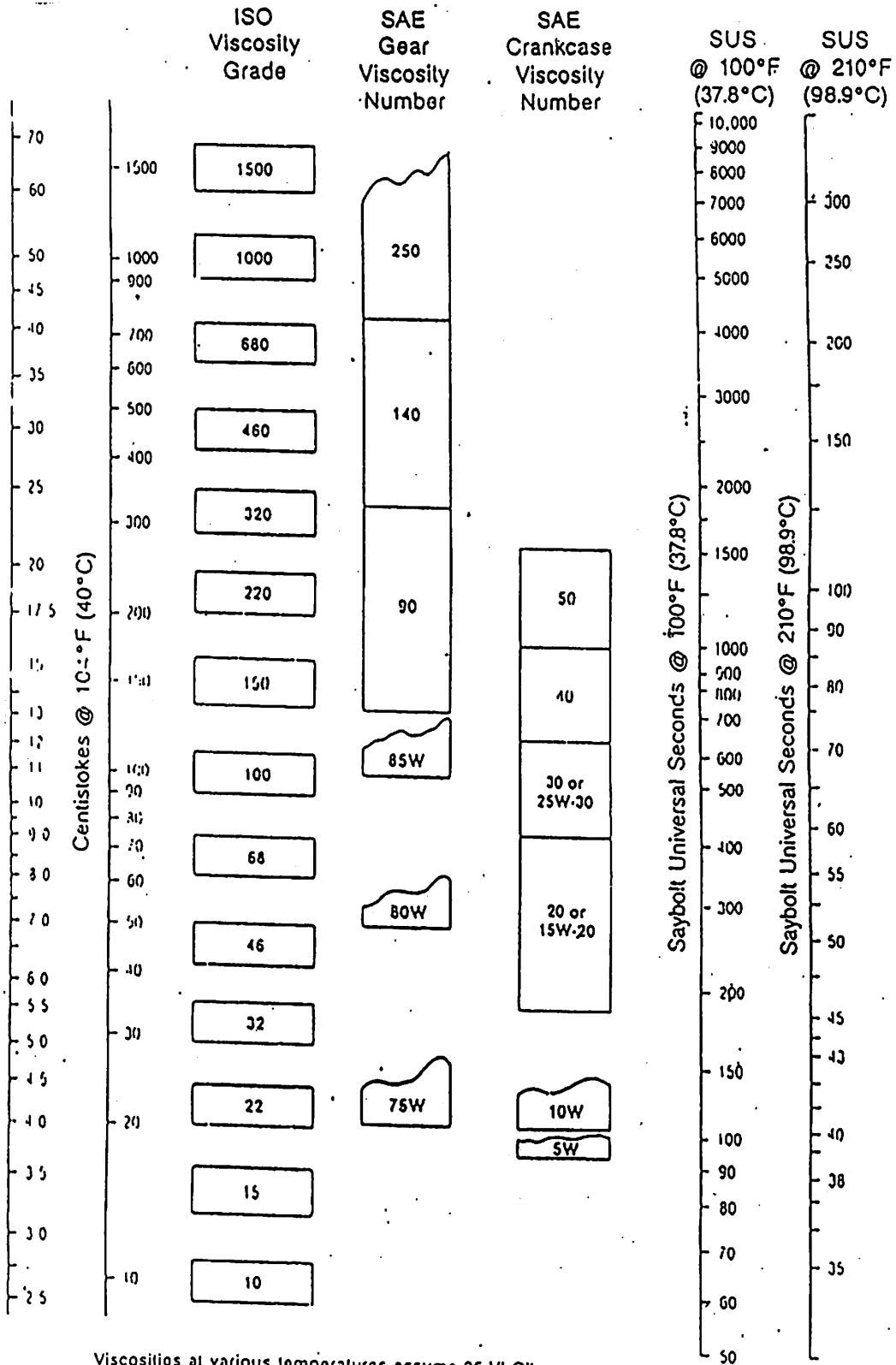
Katup sekuens dengan kontrol langsung (pemandu internal).



Pemipaan dan penyimpanan fluida

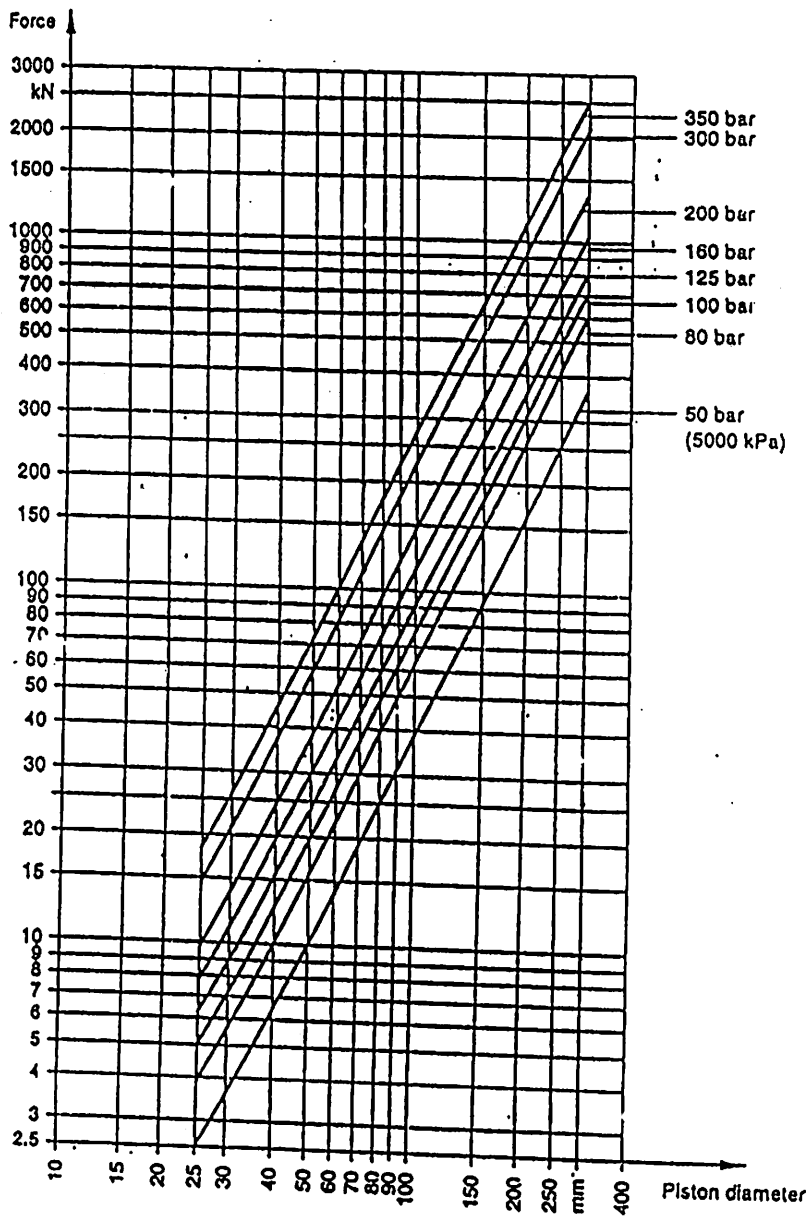
Sumber tekanan	
Saluran kerja, saluran kembali, saluran pemberi	
Saluran kontrol pemandu	
Saluran pembuang	
Saluran tertutup	
Pipa fleksibel	
Saluran listrik	
Sambungan pipa saluran	
Persilangan pipa saluran (tidak berhubungan)	
Pelepasan udara	
Reservoar dengan pipa saluran masuk di bawah permukaan fluida	
Reservoar dengan pipa saluran masuk di atas permukaan fluida	

Lampiran 2 Persamaan Klasifikasi Viskositas



Viscosities at various temperatures assume 95 VI Oils.

NOTE: Viscosities at various temperatures are related horizontally. SAE gear and crankcase specifications are at 100°C (212°F) only.



Lampiran 4 Pemilihan Selang untuk Berbagai Tekanan

Kuantitas	Simbol	Satuan SI	Satuan-satuan lain yang diakui
Luas penampang	A	m ²	mm ² , km ² , cm ²
Percepatan	a	m/det ²	
Pemindahan	V	m ³	mL, cm ³
Aliran rata-rata (debit)	Q	m ³ /det	L/men
Gaya	F	N	kN, MN
Frekuensi	f	Hz	det ⁻¹
Konstanta lingkaran	π	3,1416	
Panjang	ℓ	m	mm, cm, km
Massa	m	kg	
Momen	M	Nm	kNm, MNm
Tenaga	P	W	kW, MW
Tekanan	p	Pa	kPa, MPa, BAR (Bar)
Radius	r	m	mm, cm
Putaran	n	detik ⁻¹	menit ⁻¹
Suhu	T	K	°C
Torsi	M	Nm	kNm, MNm
Kecepatan	v	m/det	m/men, km/jam
Waktu	t	detik	mdet, menit, jam, hari
Viskositas (dinamik)	η	Pa.det	N.det.m ⁻²
Viskositas (kinetik)	ν	m ² /det	mm ² /det = 1 cSt
Volume	V	m ³	mL, cm ³
Kerja	W	J	kJ, mJ

Lampiran 5 Simbol dan Satuan Dasar

Besaran	Satuan	Arti
<i>A</i>	m ²	Luas, penampang
<i>a</i>	m/s ²	Percepatan, pelambanan
<i>B, b</i>	m	Lebar
<i>c</i>	m/s	Kecepatan mutlak, kecepatan bunyi
<i>c_F</i>	l	Koefisien tahanan
<i>c_p</i>	kJ/kg · K	Kalor-jenis Isobar
<i>c_v</i>	kJ/kg · K	Kalor-jenis Isokor
<i>c_w</i>	l	Koefisien tahanan
<i>D, d</i>	m	Diameter
<i>E</i>	N/m ²	Modulus elastisitas
<i>e</i>	m	Jarak
<i>F</i>	N	Gaya
<i>G</i>	N	Bobot
<i>g</i>	m/s ²	Percepatan medan-bobot (gravitasi)
<i>H</i>	m	Ketinggian, tinggi jatuh, tinggi angkat
<i>h</i>	N	Gaya horisontal
<i>h</i>	m	Tinggi
<i>I</i>	m ⁴	Momen kelambanan
<i>I</i>	kg · m/s	Impuls
<i>i</i>	l%	Kemiringan
<i>k</i>	m, mm	Kekasaran mutlak
<i>L, l</i>	m	Panjang
<i>M</i>	m · N	Kopel, momen
<i>M_d</i>	m · N	Kopel momen
<i>m</i>	kg	Massa
<i>m</i>	kg/s	Debit massa
<i>m</i>	l	Perbandingan luas dari lubang-lubang pengecik
<i>n</i>	l	Eksponen dari profil kecepatan
<i>n</i>	l	Jumlah
<i>O</i>	m ²	Luas
<i>P</i>	W	Daya (J/s)
<i>p</i>	bar; N/m ²	Tekanan (1 N/m ² = 1 Pa)
<i>R</i>	m	Jari-jari, radius
<i>R</i>	N	Resultan (gaya)
<i>Re</i>	l	Bilangan Reynolds
<i>r</i>	m	Jari-jari, radius
<i>s</i>	m	Jalan, panjang, jarak, tebal dinding
<i>T</i>	K	Temperatur mutlak (Kelvin)
<i>t</i>	m	Kedalaman, jarak, tusukan
<i>t</i>	s	Waktu
<i>t</i>	°C	Temperatur
<i>U</i>	m	Keliling
<i>u</i>	m/s	Kecepatan keliling
<i>V</i>	m ³	Volume
<i>v</i>	m ³ /s	Debit aliran volume
<i>v</i>	m/s	Kecepatan mutlak
<i>w</i>	m/s	Kecepatan relatif
<i>x</i>	m	Panjang, jarak, kordinat
<i>y</i>	m	Panjang, jarak, kordinat
<i>z</i>	m	Tinggi, kordinat
<i>α</i>	grd	Sudut, busur
<i>α</i>	l	Koefisien-ekspansi pada pengecikan
<i>β</i>	grd	Sudut, busur
<i>β</i>	l/°C	Koefisien muai
<i>γ</i>	grd	Sudut gelincir, sudut, busur
<i>δ</i>	m, mm	Tebal lapisan batas
<i>δ, φ</i>	grd	Sudut, busur

ϵ	1	Koefisien-ekspansi pada pengekikan
ζ	1	Koefisien tahanan untuk kehilangan tekanan setempat
η	Pa · s	Viskositas dinamik
η	1	Efisiensi
κ	1	Eksponen dari isentrop
λ	1	Koefisien gesekan untuk pipa
ν	m ² /s	Viskositas kinematik
ρ	kg/m ³	Kerapatan, massa volumik
σ	N/m	Tegangan permukaan
τ	N/m ²	Tegangan geser
ω	s ⁻¹	Kecepatan sudut

Angka-angka tetap bahan-bahan
1. Dari logam. — a. Baja dan bahan yang menggantikannya
Semua harga dalam kg/mm²

B A H A N	Kekerasan		Mod. kenyal E	Mod. kelic	Batas seban- ding	Batas pnj.	Perpan- jangan % L = 10 d
	tarik	tekan					
Besi cair (tua)	34— 43	34—43	21300	8200	18 e.h.	20 e.h.	20
Baja bangunan St. 37	37— 46	37—46	21000	8100	18— 23	20—25	20
Baja bangunan St. 52	52— 64	52—64	21000	8100	--	28—35	18
Baja nikel Jerman	56— 58	70	21000	8100	--	--	20
Baja nikel Am.	60— 70	70	21300	8200	--	36 e.h.	--
Baja silicium	50— 62	--	21000	8500	32— 36	36—42	20
Kawat besi	40— 56	--	20000	7700	42	--	--
Kawat baja	50— 65	--	21500	8300	--	--	--
Kawat baja	100—190	--	21500	8300	--	--	--
Kawat jembatan ulir bulat 150	--	--	--	--	--	--	--
Kawat jembatan tertutup (dipr.)	180	--	--	--	--	--	--
Kawat klavir (Amerika)	250	--	--	--	--	--	--
Kawat klavir (Jerman)	120—150	--	--	--	--	100-135	6—5%
Besi tuang	12— 24	60—85	10000	3850	ta'ada	ta'ada	ta'ada
Baja tuang	20—35—70	60—85	21500	8300	20 e.h.	21 e.h.	--
Alumunium (tuang)	8— 15	60—85	7700	--	4,4-4,8	50	20%
Alumunium (batang)	20— 25	--	7700	--	--	≈22	40%

Satuan Utama yang Digunakan dalam Mekanika

Kuantitas	Sistem Internasional			Sistem Satuan AS (USCS)		
	Unit	Simbol	Rumus	Unit	Simbol	Rumus
Akselerasi (angular)	radian per second squared		rad/s ²	radian per second squared		rad/s ²
Akselerasi (linier)	meter per second squared		m/s ²	foot per second squared		ft/s ²
Luas	square meter		m ²	square foot		ft ²
Densitas (massa) (Massa jenis)	kilogram per cubic meter		kg/m ³	slug per cubic foot		slug/ft ³
Densitas (berat) (Berat jenis)	newton per cubic meter		N/m ³	pound per cubic foot	pcf	lb/ft ³
Energi; kerja	joule	J	N·m	foot-pound		ft·lb
Gaya	newton	N	kg·m/s ²	pound	lb	(base unit)
Gaya per satuan (intensitas gaya)	newton per meter		N/m	pound per foot		lb/ft
Frekuensi	hertz	Hz	s ⁻¹	hertz	Hz	s ⁻¹
Panjang	meter	m	(base unit)	foot	ft	(base unit)
Massa	kilogram	kg	(base unit)	slug		lb·s ² /ft
Momen gaya; torque	newton meter		N·m	pound-foot		lb·ft
Momen inersia (luas)	meter to fourth power		m ⁴	inch to fourth power		in. ⁴
Momen inersia (massa)	kilogram meter squared		kg·m ²	slug foot squared		slug·ft ²
Daya	watt	W	J/s(N·m/s)	foot-pound squared		ft·lb/s
Tekanan	pascal	Pa	N/m ²	pound per square foot	psf	lb/ft ²
Modulus penampang	meter to third power		m ³	inch to third power		in. ³
Tegangan	pascal	Pa	N/m ²	pound per square inch	psi	lb/in. ²
Waktu	second	s	(base unit)	second	s	(base unit)
Kecepatan (angular)	radian per second		rad/s	radian per second		rad/s
Kecepatan (linier)	meter per second		m/s	foot per second	fps	ft/s
Isi (zat cair)	liter	L	10 ⁻³ m ³	gallon	gal.	231 in. ³
Isi (zat padat)	cubic meter		m ³	cubic foot	cf	ft ³

Konstanta-konstanta Dasar

Besaran	Simbol	Nilai Pendekatan	Nilai Terbaik yang terakhir ¹
Laju cahaya di ruang hampa	c	$3,00 \times 10^8$ m/s	$2,99792458 \times 10^8$ m/s
Konstanta Gravitasi	G	$6,67 \times 10^{-11}$ N·m ² /kg ²	$6,67259(85) \times 10^{-11}$ N·m ² /kg ²
Bilangan Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23}$ mol ⁻¹	$6,0221367(36) \times 10^{23}$ mol ⁻¹
Konstanta gas	R	$8,315$ J/mol·K = $1,99$ kal/mol·K = $0,082$ atm·liter/mol·K	$8,314510(70)$ J/mol·K
Konstanta Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K	$1,380658(12) \times 10^{-23}$ J/K
Muatan elektron	e	$1,60 \times 10^{-19}$ C	$1,6021733(49) \times 10^{-19}$ C
Konstanta Stefan-Boltzmann	σ	$5,67 \times 10^{-8}$ W/m ² ·K ⁴	$5,67051(19) \times 10^{-8}$ W/m ² ·K ⁴
Permitivitas hampa udara	$\epsilon_0 = (1/c^2)\mu_0$	$8,85 \times 10^{-12}$ C ² /N·m ²	$8,854187817 \dots \times 10^{-12}$ C ² /N·m ²
Permeabilitas hampa udara	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A	$1,2566370614 \dots \times 10^{-6}$ T·m/A
Konstanta Planck	h	$6,63 \times 10^{-34}$ J·s	$6,6260755(40) \times 10^{-34}$ J·s
Massa diam elektron	m_e	$9,11 \times 10^{-31}$ kg = $0,000549$ u = $0,511$ MeV/c ²	$9,1093897(54) \times 10^{-31}$ kg = $5,48579903(13) \times 10^{-4}$ sma
Massa diam proton	m_p	$1,6726 \times 10^{-27}$ kg = $1,00728$ u = $938,3$ MeV/c ²	$1,6726231(10) \times 10^{-27}$ kg = $1,007276479(12)$ sma
Massa diam neutron	m_n	$1,6749 \times 10^{-27}$ kg = $1,008665$ u = $939,6$ MeV/c ²	$1,6749286(10) \times 10^{-27}$ kg = $1,008664904(14)$ sma
Satuan massa atom (1 sma)		$1,6605 \times 10^{-27}$ kg = $931,5$ MeV/c ²	$1,6605402(10) \times 10^{-27}$ kg = $931,49432(28)$ MeV/c ²

¹Ditinjau oleh B.N. Taylor, National Institute of Standards and Technology.

Angka-angka dalam kurung menandakan simpangan baku ketakpastian eksperimen pada digit-digit akhir. Nilai tanpa kurung adalah nilai eksak. (Yaitu, besaran yang terdefinisi)

Data Lain yang Berguna

Ekivalen Joule (1 kal)	4,186 J
Nol Absolut (0 K)	-273,15°C
Bumi: Massa	$5,97 \times 10^{24}$ kg
Radius (rata-rata)	$6,38 \times 10^3$ km
Bulan: Massa	$7,35 \times 10^{22}$ kg
Radius (rata-rata)	$1,74 \times 10^3$ km
Matahari: Massa	$1,99 \times 10^{30}$ kg
Radius (rata-rata)	$6,96 \times 10^5$ km
Jarak Bumi-Matahari (rata-rata)	$149,6 \times 10^6$ km
Jarak Bumi-bulan (rata-rata)	384×10^3 km

Alfabet Yunani

Alpha	A	α	Nu	N	ν
Beta	B	β	Xi	Ξ	ξ
Gamma	Γ	γ	Omicron	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsilon	E	ϵ	Rho	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Theta	Θ	θ	Upsilon	Y	u
Iota	I	i	Phi	Φ	ϕ, φ
Kappa	K	κ	Chi	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mu	M	μ	Omega	Ω	ω

Nilai Beberapa Angka

$\pi = 3,1415927$	$\sqrt{2} = 1,4142136$	$\ln 2 = 0,6931472$	$\log_{10} e = 0,4342945$
$e = 2,7182828$	$\sqrt{3} = 1,7320508$	$\ln 10 = 2,3025851$	$1 \text{ rad} = 57,2957795^\circ$

Tanda dan Simbol Matematika

\propto	sebanding dengan	\leq	lebih kecil atau sama dengan
$=$	sama dengan	\geq	lebih besar atau sama dengan
\approx	kira-kira sama dengan	Σ	jumlah dari
\neq	tidak sama dengan	\bar{x}	nilai rata-rata x
$>$	lebih besar dari	Δx	perubahan x
\gg	jauh lebih besar dari	$\Delta x \rightarrow 0$	Δx mendekati nol
$<$	lebih kecil dari	$n!$	$n(n-1)(n-2) \dots (1)$
\ll	jauh lebih kecil dari		

Konversi Satuan (Ekuivalen)

Panjang

1 in. = 2,54 cm
 1 cm = 0,394 in.
 1 ft = 30,5 cm
 1 m = 39,37 in. = 3,28 ft
 1 mil = 5280 ft = 1,61 km
 1 km = 0,621 mil
 1 mil laut (U.S.) = 1,15 mil = 6076 ft = 1,852 km
 1 fermi = 1 femtometer (fm) = 10^{-15} m
 1 angstrom (Å) = 10^{-10} m
 1 tahun cahaya (ly) = $9,46 \times 10^{15}$ m
 1 parsec = 3,26 ly = $3,09 \times 10^{16}$ m

Volume

1 liter (L) = 1000 mL = 1000 cm³ = $1,0 \times 10^{-3}$ m³ = 1,057 quart (U.S.) = 54,6 in.³
 1 gallon (U.S.) = 4 qt (U.S.) = 231 in.³ = 3,78 L = 0,83 gal (imperial)
 1 m³ = 35,31 ft³

Laju

1 mil/h = 1,47 ft/s = 1,609 km/h = 0,447 m/s
 1 km/h = 0,278 m/s = 0,521 mil/h
 1 ft/s = 0,305 m/s = 0,682 mil/h
 1 m/s = 3,28 ft/s = 3,60 km/h
 1 knot = 1,151 mi/h = 0,5144 m/s

Sudut

1 radian (rad) = $57,30^\circ = 57^\circ 18'$
 1° = 0,01745 rad
 1 rev/min (rpm) = 0,1047 rad/s

Waktu

1 hari = $8,64 \times 10^4$ s
 1 tahun = $3,156 \times 10^7$ s

Massa

1 satuan massa atom (u) = $1,6605 \times 10^{-27}$ kg
 1 kg = 0,0685 slug
 [1 kg mempunyai berat 2,20 lb di mana $g = 9,81$ m/s².]

Gaya

1 lb = 4,45 N
 1 N = 10^5 dyne = 0,225 lb

Energi dan Kerja

1 J = 10^7 ergs = 0,738 ft·lb
 1 ft·lb = 1,36 J = $1,29 \times 10^{-3}$ Btu = $3,24 \times 10^{-4}$ kkal
 kkal = $4,18 \times 10^3$ J = 3,97 Btu
 1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ J
 1 kWh = $3,60 \times 10^6$ J = 860 kkal

Daya

1 W = 1 J/s = 0,738 ft·lb/s = 3,42 Btu/h
 1 hp = 550 ft·lb/s = 746 W

Tekanan

1 atm = 1,013 bar = $1,013 \times 10^5$ N/m²
 = 14,7 lb/in.² = 760 torr
 1 lb/in.² = $6,90 \times 10^3$ N/m²
 1 Pa = 1 N/m² = $1,45 \times 10^{-4}$ lb/in.²

1 lb = 0,45 kg
 1000 lb = 450 kg

Satuan Turunan SI dan Singkatannya

Besaran	Satuan	Singkatan	Dalam Satuan Dasar
Gaya	newton	N	kg·m/s ²
Energi dan kerja	joule	J	kg·m ² /s ²
Daya	watt	W	kg·m ² /s ³
Tekanan	pascal	Pa	kg/(m·s ²)
Frekuensi	hertz	Hz	s ⁻¹
Muatan listrik	coulomb	C	A·s
Potensial listrik	volt	V	kg·m ² /(A·s ²)
Hambatan listrik	ohm	Ω	kg·m ² /(A ² ·s ³)
Kapasitansi	farad	F	A ² ·s ⁴ /(kg·m ²)
Medan magnetik	tesla	T	kg/(A·s ²)
Fluks magnetik	weber	Wb	kg·m ² /(A·s ²)
Induktansi	henry	H	kg·m ² /(s ² ·A ²)

*kg = kilogram (massa), m = meter (panjang), s = sekon (waktu), A = ampere (arus listrik).

Pangkat Metrik

Awalan	Singkatan	Nilai
exa	E	10 ¹⁸
peta	P	10 ¹⁵
tera	T	10 ¹²
giga	G	10 ⁹
mega	M	10 ⁶
kilo	k	10 ³
hecto	h	10 ²
deka	da	10 ¹
deci	d	10 ⁻¹
centi	c	10 ⁻²
milli	m	10 ⁻³
micro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹
pico	p	10 ⁻¹²
femto	f	10 ⁻¹⁵
atto	a	10 ⁻¹⁸

KELILING, LUAS DAN ISI

a. Bidang datar

Gamb. hal. 35	N A M A	Keliling	L U A S
1	Segitiga	$a + b + c = 2s$	$\frac{1}{2} b \times t$ $\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$
2	Segitiga siku-siku	$a + b + c$	$\frac{1}{2} ab$
3	Segitiga samasisi	$3a$	$\frac{1}{4} a^2 \sqrt{3}$
4	Segiempat	$a + b + c + d$	Jumlah-jumlah $\Delta\Delta$
5	Trapesium	$a + b + c + d$	$\frac{1}{2} (d + b) t$
6	Jajaran genjang	$2(a + b)$	$b \times t$
7	Belah-ketupat	$4a$	at atau $\frac{1}{2}$ hasil kali garis sudut-menyudut
8	4-Segi panjang	$2(a + b)$	ab
9	Bujursangkar	$4a$	a^2 atau $\frac{1}{2}$ hasil kali grs sudut-menyudut
10	Segi-4 grs sudut-menyudut \perp	$a + b + c + d$	$\frac{1}{2}$ hasil kali garis sudut-menyudut
11	Segi-6 beraturan	$6a$	$\frac{3}{2} a^2 \sqrt{3}$
12	Segibanyak	Jumlah sisi	Jumlah segitiga-segitiga
13	Lingkaran	$2\pi r$	πr^2 atau $\frac{1}{4} \pi d^2$
14	Sektor	$2r + \frac{p}{360} \times 2\pi r$	$\frac{p}{360} \times \pi r^2$
15	Tembereng	$k + bg$	sektor - segitiga
16	Elipsis	$\frac{1}{2} \pi (a + b)$	$\frac{\pi}{4} \times ab$
17	Parabola	lihat hal. 86	

B E N D A	Arti huruf-huruf	Isi = I Luas = L Luas keliling = Lk
Sektor bola	r = radius bola p = anak panah a = radius bidang alas tembereng	$I = \frac{2}{3} \pi r^2 p$ $L = \pi r (2p + a)$
Tembereng bola	r = radius bola p = anak panah a = radius bidang alas	$I = \frac{1}{6} \pi p (3a^2 + p^2)$ $= \frac{1}{3} \pi p^2 (3r - p)$ $Lk = 2\pi rp = \pi(a^2 + p^2)$
7. Elipsoide	a, b dan c ketiga setengah-sumbu	$I = \frac{4}{3} \pi abc$
8. Parabola perputaran	r = radius bidang alas t = tinggi	$I = \frac{1}{2} \pi r^2 t$
9. Cincin	r = penampang radius d = penampang garis tengah $D = 2R$ = garis tengah (netral) sa.na tengah.	$I = 2\pi^2 Rr^2$ $= \frac{1}{4} \pi^2 Dd^2$ $L = 4\pi^2 Rr$ $= \pi^2 Dd$

b. Benda-benda

B E N D A	Arti huruf-huruf	Isi = I Luas = L Luas keliling = L_k
1. Prisma	L = bidang alas t = tinggi	$I = Lt$
Kubus	a = rusuk d = grs sudut-menyudut	$I = a^3$ $L = 6a^2$ $d^2 = 3a^2$
Parallelepipedum tegak	a, b dan c rusuk-rusuk yang bertemu di satu titik d = grs sudut-menyudut	$I = abc$ $L = 2(ab + ac + bc)$ $d^2 = a^2 + b^2 + c^2$
Prisma miring	L = bidang alas N = irisan normal (bidang tumpuan) a = rusuk tegak t = tinggi	$I = Lt$ atau Na $L_k = \text{keliling } N \times a$
Prisma sisitiga terpancung	$a, b,$ dan c rusuk-rusuk tegak N = irisan normal	$I = 1/3 (a + b + c) \times N$
2. Limas	L = bidang alas t = tinggi s = tinggi bidang sisi (apotema)	$I = 1/3 Lt$ $L_k = \text{Keliling } L \times 1/2 s$
Limas terpancung	L dan l , bidang alas dan bidang pancungan (bidang atas) t = tinggi s = apotema	$I = 1/3 t (L + l + \sqrt{Ll})$ $L_k = (\text{keliling } L + \text{keliling } l) \times 1/2 s$
3. Obelisk	L = bidang alas l = bidang atas Lt = irisan tengah t = tinggi	$I = 1/6 t (L + l + 4Lt)$

B E N D A	Arti huruf-huruf	Isi = I Luas = L Luas keliling = L_k
4. Silinder	L = bidang alas t = tinggi	$I = Lt$
Silinder- Lingkaran	r = radius bidang alas t = tinggi	$I = \pi r^2 t$ $L_k = 2 \pi r t$ $L = 2 \pi r (r + t)$
Silinder berlubang (pipa)	R = radius luar r = radius dalam t = tinggi $d = R - r$ = tebal	$I = \pi t (R^2 - r^2)$ $= \pi t d (2R - d)$ $= \pi t d (2r + d)$
5. Kerucut	L = bidang alas r = radius bidang alas t = tinggi g = garis-pembuat	$I = 1/3 Lt$ $= 1/3 \pi r^2 t$ $g = \sqrt{(r^2 + t^2)}$ $L_k = \pi r g$
Kerucut terpancung	R = radius bidang alas r = radius bidang atas g = garis-pembuat	$I = 1/3 \pi t (R^2 + r^2 + Rr)$ $g = \sqrt{[t^2 + (R - r)^2]}$ $L_k = \pi g (R + r)$
6. Bola	r = radius $d = 2r$ = garis tengah	$I = 4/3 \pi r^3$ $= 1/6 \pi d^3$ $L = 4 \pi r^2 = \pi d^2$
Bola berlubang	R = radius luar r = radius dalam D = garis tengah luar d = garis tengah dalam	$I = 4/3 \pi (R^3 - r^3)$ $= 1/6 \pi (D^3 - d^3)$
Tembereng bola	r = radius bola t = tinggi a dan b radius bidang-bidang dasar	$I = 1/6 \pi t (3a^2 + 3b^2 + t^2)$ $L_k = 2 \pi r t$

