

2. LANDASAN TEORI

2.1 Gaya Gesek

Hubungan antara gaya dan percepatan dinyatakan dalam hukum Newton sebagai berikut :

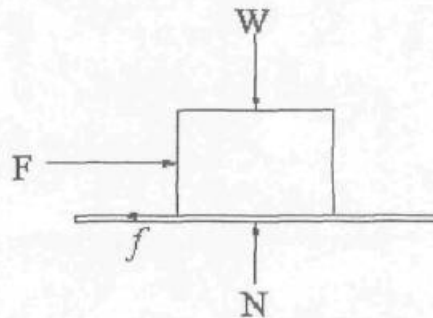
$$\Sigma F = m \cdot a \quad (2.1)$$

di mana : ΣF = resultan gaya-gaya luar yang bekerja (Newton).

m = massa benda yang bekerja (kg).

a = percepatan yang terjadi (m/s^2).

Dalam melakukan gerakan, ada gaya yang melawan gerakan benda tersebut yaitu gaya gesek. Arah gaya gesek sejajar dengan bidang gesek dan berlawanan dengan gaya F .



Gambar 2.1 Gaya Gesek

Gaya gesek dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$f = \mu \cdot N \quad (2.2)$$

di mana : f = gaya gesek (Newton).

μ = koefisien gesek.

N = gaya normal (Newton).

Koefisien gesek adalah suatu koefisien yang didapat dari hasil percobaan yang hasilnya tergantung dari kekasaran permukaan, kondisi permukaan gesek dan juga material yang bergesekan itu sendiri. Sedangkan besarnya gaya normal sama dengan gaya berat benda tersebut atau gaya luar lainnya.

2.2 Pneumatik

Pneumatik berasal dari bahasa Yunani *pneuma* yang berarti udara. Penggunaan pneumatik sudah lama sekali membantu dalam pelaksanaan pekerjaan mekanis sederhana, bahkan sekarang ini memegang peranan yang penting dalam bidang otomasi.

2.2.1 Keunggulan Dan Kekurangan Dari Sistem Pneumatik

Keunggulan dan karakteristik khas dari udara bertekanan :

- a. Udara praktis terdapat dimana-mana dalam jumlah yang tidak terbatas.
- b. Udara dengan sangat mudah dapat ditransportasikan melalui pipa saluran sampai jarak yang jauh.
- c. Udara bertekanan dari kompresor dapat disimpan dalam tabung untuk dipergunakan, sehingga kompresor tidak perlu hidup terus-menerus. Selain itu tangki penyimpan mudah dipindah-pindah.
- d. Udara bertekanan relatif tidak peka terhadap perubahan temperatur. Hal ini menjamin pengoperasian yang handal, bahkan dalam kondisi yang ekstrim sekalipun.
- e. Udara bertekanan tidak mengandung resiko terbakar atau meledak.
- f. Udara bertekanan tanpa pelumasan adalah bersih. Meskipun ada kebocoran pipa atau komponen tidak akan menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Ini penting sekali dalam industri makanan, kayu, tekstil.
- g. Elemen kerja mempunyai konstruksi komponen yang sederhana dengan demikian harganya relatif murah.
- h. Udara bertekanan merupakan media kerja yang cepat sehingga kecepatan kerja yang tinggi dapat dicapai. Dengan menggunakan komponen-komponen udara bertekanan, kecepatan dan gaya dapat diatur.
- i. Perkakas dan elemen kerja pneumatik akan tetap aman terhadap beban berlebih yang diberikan. Peralatan akan berhenti, tanpa ada kerusakan sedikitpun.

Kekurangan-kekurangan dari sistem pneumatik :

- a. Udara bertekanan harus disiapkan dengan baik untuk mencegah timbulnya resiko keausan komponen pneumatik yang terlalu cepat karena partikel debu dan

kondensasi. Untuk mendapatkan udara yang berkualitas, perlu diperhatikan hal-hal berikut :

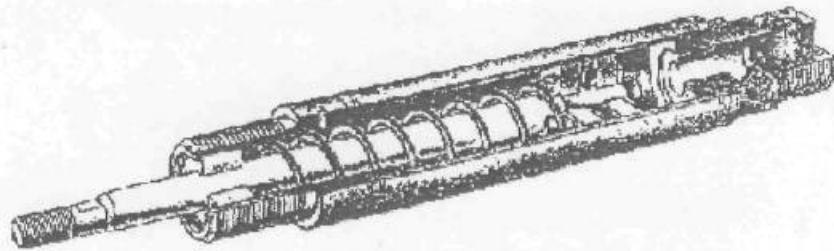
- Kuantitas udara yang diinginkan harus memenuhi kebutuhan sistem.
 - Jenis kompresor yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sistem.
 - Tangki penyimpanan udara yang memadai.
 - Persyaratan udara yang bersih.
 - Tingkat kelembaban udara yang dapat mengurangi korosi dan lembab.
 - Persyaratan pelumasan jika diperlukan.
 - Temperatur udara dan pengaruh lain yang rendah pada sistem.
 - Persyaratan tekanan kerja.
 - Ukuran katup dan saluran harus memenuhi kebutuhan sistem.
 - Pemilihan bahan dan kebutuhan sistem harus sesuai dengan lingkungan.
 - Tersedianya titik-titik drainase dan saluran buangan pada sistem distribusi.
 - Tata letak sistem pendistribusian udara yang sesuai.
- b. Udara bertekanan mampu dimampatkan,, sehingga tidak mungkin diperoleh kecepatan piston yang teratur dan konstan.
 - c. Udara bertekanan hanya efisien sampai kebutuhan gaya tertentu. Pada tekanan kerja normal antara 6 sampai 7 bar dan kondisi lintasan dan kecepatan tertentu, maka gaya berkisar antara 20000 sampai dengan 30000 Newton.
 - d. Udara buangan menimbulkan suara yang sangat bising. Tetapi masih dapat diatasi dengan adanya material peredam suara dan silencer.
 - e. Pemakaian udara bertekanan memerlukan biaya investasi yang relatif mahal.

2.2.2 Tabung Pneumatik

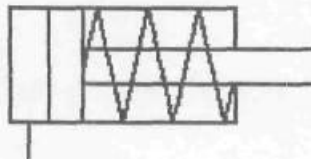
Jenis tabung pneumatik dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Tabung gerak tunggal (*single acting cylinder*).

Udara dimampatkan ke dalam tabung sehingga menimbulkan gaya yang menggerakkan batang torak ke bagian luar tabung. Jika pemampatan dihentikan sehingga tidak ada gaya tersebut, sebuah pegas akan mendorong batang todak kembali ke posisi semula. Tabung ini hanya memiliki satu buah *inlet*.



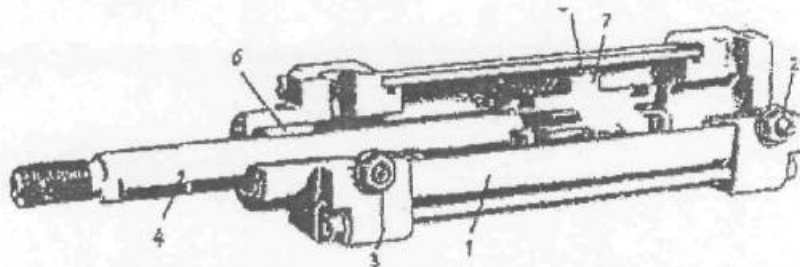
Gambar 2.2 Penampang Tabung Gerak Tunggal



Gambar 2.3 Simbol Tabung Gerak Tunggal

b. Tabung gerak ganda (*double acting cylinder*).

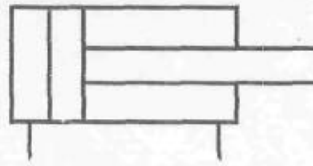
Konstruksi tabung kerja ganda adalah sama dengan silinder kerja tunggal, tetapi tidak mempunyai pegas pengembali. Silinder kerja ganda mempunyai dua saluran (saluran masukan dan saluran pembuangan). Silinder terdiri dari tabung silinder dan penutupnya, piston dengan seal, batang piston, bantalan, ring pengikis dan bagian penyambungan. Konstruksinya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Penampang Tabung Gerak Ganda

Keterangan :

1. Batang /rumah silinder
2. Saluran masuk
3. Saluran keluar
4. Batang piston
5. Seal
6. Bearing
7. Piston



Gambar 2.5 Simbol Tabung Gerak Ganda

Biasanya tabung silinder terbuat dari tabung baja tanpa sambungan. Untuk memperpanjang usia komponen seal permukaan dalam tabung silinder dikerjakan dengan mesin yang presisi. Untuk aplikasi khusus tabung silinder bisa dibuat dari aluminium, kuningan dan baja yang permukaan yang bergeser dilapisi krom keras. Rancangan khusus dipasang pada suatu area dimana tidak boleh terkena korosi. Penutup akhir tabung adalah bagian paling penting, terbuat dari bahan cetak seperti aluminium besi tuang. Kedua penutup bisa diikatkan pada tabung silinder dengan batang pengikat yang mempunyai baut dan mur. Batang piston terbuat dari baja yang bertemperatur tinggi. Untuk menghindari korosi dan menjaga kelangsungan kerjanya, batang piston harus dilapisi chrom. *Ring seal* dipasang pada ujung tabung untuk mencegah kebocoran udara. Bantalan penyangga gerakan piston terbuat dari PVC, atau perunggu.

Prinsip kerja silinder kerja ganda adalah dengan memberikan udara bertekanan pada satu sisi permukaan piston (arah maju), sedangkan sisi yang lain (arah mundur) terbuka ke atmosfer, maka gaya diberikan pada sisi permukaan piston tersebut sehingga batang piston akan terdorong keluar sampai mencapai posisi maksimum dan berhenti. Gerakan silinder kembali masuk, diberikan oleh gaya pada sisi permukaan, batang piston (arah mundur) dan sisi permukaan piston (arah maju) udaranya terbuka ke atmosfer.

2.2.3 Silinder Dengan Peredam Diakhir Langkah

Silinder dengan peredam diakhir langkah bertujuan untuk mencegah benturan keras dan kerusakan silinder. Sebelum mencapai posisi akhir langkah, peredam piston memotong langsung jalan arus pembuangan udara ke udara bebas. Untuk itu disisakan sedikit sekali penampang pembuangan yang umumnya dapat diatur.

2.2.4 Gaya Pada Tabung Pneumatik

Gaya yang dihasilkan oleh sebuah tabung pneumatik tergantung kepada dua hal yaitu :

- Tekanan udara mampat yang dimasukkan.
- Luas permukaan torak.

Hal tersebut dapat dinyatakan dalam rumusan :

$$F_p = 0,1 \cdot \eta \cdot P \cdot A_t \quad (2.3)$$

di mana : F_p = gaya pada tabung pneumatik (Newton)

η = efisiensi tabung, biasanya = 70 %

P = tekanan dalam tabung (bar)

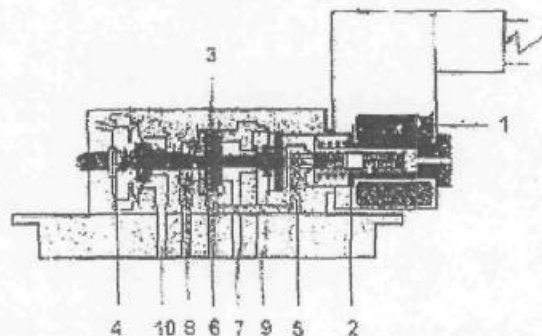
A_t = luas permukaan torak (mm^2)

Untuk menghitung besar diameter yang diperlukan, dapat digunakan rumus 2.3 atau dapat melihat langsung pada lampiran 6.

2.2.5 Control Valve

Control valve adalah suatu alat yang memberikan informasi kerja kepada suatu sistem kontrol otomatis. Untuk rangkaian elektro-pneumatik digunakan katup *solenoid*. Prinsip kerja dari katup *solenoid* adalah sinyal listrik pada kumparan *solenoid* menyebabkan angker dalam kumparan *solenoid* terangkat, sehingga katup piston mendapat tekanan udara dari lubang 1(P). Katup tersebut memindah aliran udara.

Konstruksi dari katup 5/2 *solenoid* tunggal, pengembalian pegas dengan kontrol pemandu adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Konstruksi katup 5/2 Solenoid Tunggal

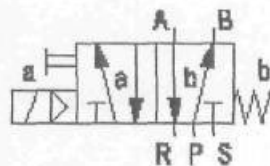
Keterangan :

1. Kumparan *solenoid*
2. Angker
3. Piringan seal
4. Pegas pengembali
5. Saluran udara
6. Lubang masukan 1(P)
7. Lubang keluaran 4(A)
8. Lubang keluaran 2(B)
9. Lubang pembuangan 5(S)
10. Lubang pembuangan 3(R)

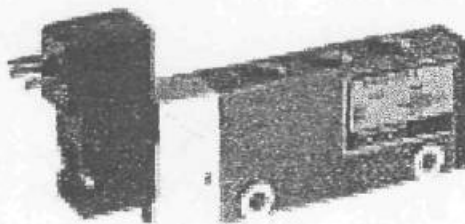
Keunggulan dari katup *solenoid* adalah :

- Sinyal listrik lebih cepat dari sinyal pneumatik.
- Komponen yang digunakan lebih murah.

Katup *solenoid* ada empat macam yaitu katup 3/2, 4/2, 5/2 dan 5/3. Dalam praktek katup yang sering digunakan untuk tabung gerak ganda adalah katup jenis 5/2.



Gambar 2.7 Simbol Katup Solenoid 5/2



Gambar 2.8 Katup Solenoid 5/2

Pola aliran yang terjadi pada katup *solenoid* 5/2 adalah :

- Pada bagian b udara masuk melalui lubang P dan keluar melalui lubang B. Pada bagian a udara yang tidak terpakai masuk lubang B dan keluar melalui lubang S.

- Pada bagian a udara masuk melalui lubang P dan keluar melalui lubang A. Pada bagian b udara yang tidak terpakai masuk lubang A dan keluar melalui lubang R.

Dalam menentukan jenis *valve* yang bisa berfungsi dengan baik, harus dicari terlebih dahulu besar konsumsi udara. Besar konsumsi udara berhubungan dengan besar *bore* dan *stroke* dari silinder. Hubungan antara *bore*, *stroke* silinder dengan konsumsi udara bisa dilihat pada lampiran 7. Besar konsumsi udara biasanya ditambah 20% untuk rugi-rugi aliran.

2.2.6 Kompresor

Kompresor merupakan salah satu sarana yang dibutuhkan dalam pembuatan udara bertekanan. Udara yang masuk dari lingkungan sekitar ke dalam kompresor, dikompres hingga tekanan kerja normal sekitar 6 sampai 7 bar. Udara tersebut kemudian disimpan di dalam tangki penampung, sehingga kompresor tidak perlu dinyalakan terus-menerus.

Pertimbangan dalam pemilihan kompresor yaitu :

- Jumlah udara yang dibutuhkan.
- Tekanan.
- Kualitas.
- Kebersihan.
- Cara pengeringan.

2.2.7 Dryer

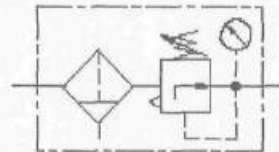
Udara di lingkungan sekitar tidak lepas dari kelembaban, yang berarti terdapat uap air. Uap air yang masuk akan mengakibatkan *seal* keras, korosi dan pelumasan piston akan terhambat. Selain itu umur dari sistem pneumatik akan berkurang. Untuk itulah digunakan *dryer* sebagai pengering udara.

2.2.8 Filter/Pressure Regulator

Pada umumnya, tekanan udara di dalam tangki diset lebih tinggi dari tekanan beban yang dibutuhkan, sehingga diperlukan *regulator* tekanan untuk mendapatkan beban pada tekanan konstan. Tekanan dapat diatur dengan cara memutar tombol pengontrolnya.



Gambar 2.9 Pressure/Filter Regulator



Gambar 2.10 Simbol Pressure/Filter Regulator

2.2.9 Pressure Gage

Merupakan alat ukur tekanan yang umum digunakan untuk sistem pneumatik dimana hasil pengukuran dari *pressure gage* merupakan beda tekanan dimana suatu fluida diukur dalam suatu ruangan dengan tekanan atmosfer.



Gambar 2.11 Simbol Pressure Gage

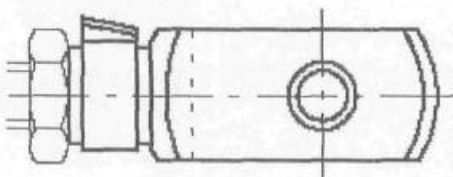


Gambar 2.12 Pressure Gage

2.2.10 Aksesoris

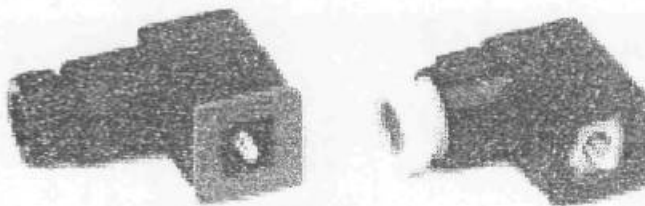
Aksesoris adalah peralatan tambahan yang diperlukan sebagai penghubung suatu rangkaian dengan rangkaian lainnya atau sebagai tempat dudukan suatu peralatan. Aksesoris-aksesoris tersebut terdiri dari:

- *Clevis*, adalah suatu alat yang diperlukan untuk menghubungkan batang torak pada silinder dengan alat lainnya.



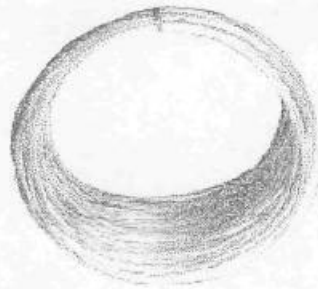
Gambar 2.13 Clevis

- *Mounting*, adalah tempat dudukan dari tabung pneumatik.
- *Solenoid Coil*, adalah kumparan yang terdapat pada *solenoid valve*. Ada dua jenis *solenoid coil* yaitu *solenoid coil* dengan tegangan AC dan *solenoid coil* dengan tegangan DC.
- *Socket*, adalah penghubung *solenoid coil* dengan tegangan listrik.



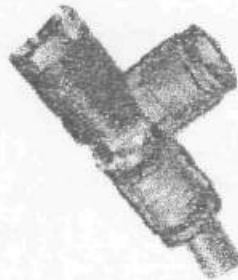
Gambar 2.14 Socket

- *Plastic Tubing*, merupakan sejenis pipa kecil yang terbuat dari plastik. Berfungsi untuk mengalirkan udara tekan.



Gambar 2.15 Plastic Tubing

- *Fitting*, merupakan suatu komponen yang dipasang pada ujung-ujung *plastic tubing*, dan terhubung dengan lubang silinder pneumatik maupun lubang *solenoid valve*.



Gambar 2.16 Fitting

- *Silencer*, merupakan komponen yang dipasang pada *solenoid valve* sebagai tempat angin yang dibuang. Silencer berfungsi untuk mengurangi bunyi yang terjadi saat pembuangan.

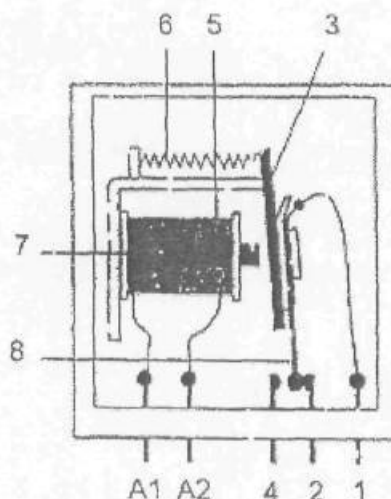


Gambar 2.17 Silencer

2.2.11 Relai

Relai adalah komponen pengendali listrik untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian dengan pelayanan magnet listrik. Pada keadaan kerja normal, relai dapat membuka dan menutup arus kerja yang diperlukan rangkaian. Relai biasanya digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian berulang-

ulang. Energi yang dibutuhkan untuk menutup kontak utama berasal dari magnet listrik. Dengan memberikan energi listrik yang rendah pada kumparan relai, dapat mengontrol energi yang lebih besar melalui kotak relai.



Gambar 2.18 Konstruksi Relai

Keterangan :

1-2 : kontak normal tertutup (NC)

1-4 : kontak normal terbuka (NO)

3 : angker

5 : kumparan

6 : pegas

7 : inti besi

8 : kontak pemindah

A1-A2 : terminal kumparan

Cara kerja :

Jika kumparan (5) dihubungkan dengan tegangan listrik melalui terminal A1-A2, maka arus listrik mengalir melalui kumparan. Inti besi (7) menjadi magnet dan menarik angker (3). Akibatnya kontak 1-4 terhubung. Posisi ini akan bertahan selama kumparan terhubung tegangan. Jika aliran listrik terputus, angker kembali ke posisi semula karena ditarik oleh pegas (6). Kontak pemindah (8) kembali ke posisi semula dan kontak 1-2 kembali terhubung.

Keuntungan penggunaan relai :

- Mudah menyesuaikan dengan tegangan kerja.
- Rangkaian kontrol dan utama terisolasi
- Tidak terpengaruh oleh temperatur sekitarnya, relai tetap beroperasi pada temperatur -40°C sampai 80°C .
- Mempunyai tahanan kontak yang tinggi pada posisi terbuka.

Kerugian penggunaan relai :

- Kontak aus oleh oksidasi atau bunga api.
- Gangguan suara saat relai kerja.
- Ukuran besar dibandingkan dengan transistor.
- Kecepatan hubung-putus terbatas berkisar antara 3ms – 17 ms.
- Kontak peka terhadap pencemaran udara (debu).

2.3 Steel Wire Rope dan Pulley

Steel Wire Rope (SWR) terbuat dari kabel baja dengan *ultimate strength* $\sigma_b = 130 - 200 \text{ kg/mm}^2$. Pada perencanaan ini digunakan SWR dengan pertimbangan SWR memiliki keunggulan yaitu :

- Lebih fleksible
- Ringan
- Tahan beban kejut

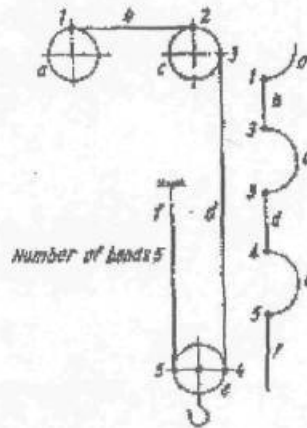
Umur dari SWR tergantung pada :

- jumlah bengkokan/tekukan
- kemampuan terhadap beban berfluktuasi
- perbandingan besar diameter drum/pulley dengan diameter SWR

Bengkokan atau tekukan adalah perubahan tali dari keadaan lurus menjadi bengkok atau sebaliknya jika tali tersebut melingkari drum atau *pulley*. Jumlah tekukan (*bend*) dihitung terhadap titik *pulley*/drum dimana tali tersebut keluar atau masuk. Bila tekukan satu arah disebut *single bend*, jika berlawanan arah disebut *double bend*. Jumlah tekukan tergantung pada banyak titik singgung antara kabel dan drum.

Agar SWR tidak mudah rusak, salah satu faktor yang penting adalah perbandingan besarnya diameter pulley dengan diameter SWR. Hubungan antara

jumlah tekukan SWR dengan perbandingan diameter *pulley* dengan diameter SWR dapat dilihat pada tabel 2.1.



Gambar 2.19 Jumlah Tekukan SWR

Tabel 2.1 Perbandingan Diameter Pulley dengan Diameter SWR

Number of bends	$\frac{D_{mts}}{d}$	Number of bends	$\frac{D_{mts}}{d}$	Number of bends	$\frac{D_{mts}}{d}$	Number of bends	$\frac{D_{mts}}{d}$
1	16	5	26.5	9	32	13	36
2	20	6	28	10	33	14	37
3	23	7	30	11	34	15	37.5
4	25	8	31	12	35	16	38

Untuk menghitung besar diameter SWR dengan jumlah kawat 114, 222 dan 342 dapat menggunakan rumus :

$$F_{(114)} = \frac{S}{\frac{\sigma_B}{K} - \frac{d}{D_{min}} \cdot 50000} \quad (2.4)$$

$$F_{(222)} = \frac{S}{\frac{\sigma_B}{K} - \frac{d}{D_{min}} \cdot 36000} \quad (2.5)$$

$$F_{(342)} = \frac{S}{\frac{\sigma_B}{K} - \frac{d}{D_{min}} \cdot 29000} \quad (2.6)$$

di mana : F = Luas Penampang SWR

S = Gaya tarik SWR

σ_b = Tegangan patah

K = Faktor keamanan

d/D_{min} = Perbandingan diameter SWR dengan diameter pulley

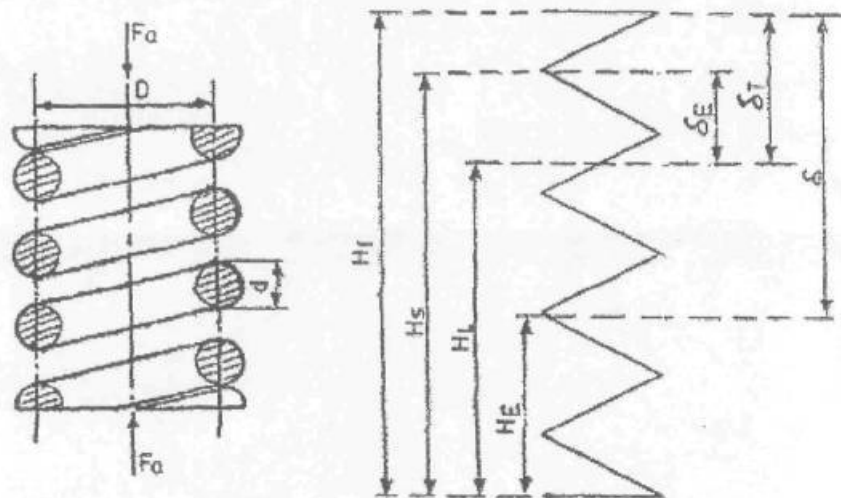
Untuk menentukan besar *pulley* dapat menggunakan rumus seperti pada tabel 2.1 yaitu dengan menentukan dulu jumlah tekukan SWR, menghitung besar diameter SWR baru kemudian menentukan diameter minimum *pulley*.

2.4 Pegas Tekan

Pegas tekan merupakan elemen mesin yang dapat menerima dan memberikan gaya tekan. Dalam merencanakan pegas perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Besar gaya yang bekerja
- Defleksi yang diijinkan.
- Bahan yang digunakan
- Bentuk dan jenis pegas
- Macam beban atau gaya

Dimensi dari pegas tekan dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Dimensi Pegas Tekan

2.4.1 Diameter Pegas Tekan

Untuk mencari diameter kawat pegas perlu diketahui tentang indeks pegas :

$$c = \frac{D}{d} \quad (2.7)$$

di mana c = indeks pegas
 = 4-10 untuk pegas ulir

D = diameter rata-rata lilitan

d = diameter kawat pegas

Selanjutnya harus diperiksa kekuatan kawat pegas terhadap tegangan yang terjadi, dengan terlebih dahulu menghitung faktor tegangan Wahl (K) sebagai berikut :

$$K = \frac{4 \cdot c - 1}{4 \cdot c - 4} + \frac{0,615}{c} \quad (2.8)$$

atau dapat dicari dengan gambar 2.21.

Tegangan maximum yang terjadi pada permukaan dalam pegas adalah :

$$\tau = K \cdot \frac{8 \cdot D \cdot F_p}{\pi \cdot d^3} \quad (2.9)$$

di mana : τ = tegangan maximum yang terjadi

F_p = gaya penekan maximum

Sedangkan untuk menghitung konstanta pegas dapat menggunakan rumus :

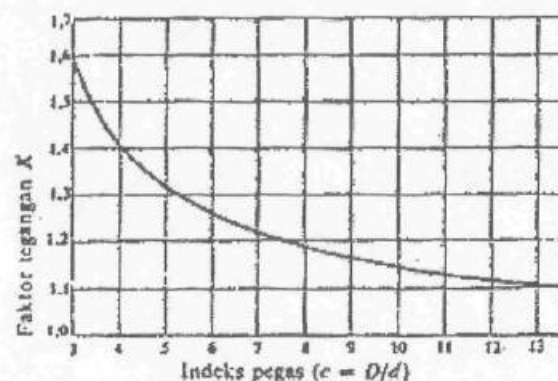
$$k = \frac{F_p}{\delta_t} \quad (2.10)$$

di mana : k = konstanta pegas

δ_t = defleksi total

Syarat agar diameter pegas dapat dipakai adalah tegangan maximum bahan harus lebih besar daripada tegangan maximum yang terjadi.

$$S_{syp} > \tau \quad (2.11)$$



Gambar 2.21 Faktor Tegangan Wahl

2.4.2 Jumlah Lilitan Pegas

Pegas berbentuk ulir memiliki lilitan yang jumlahnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$n = \frac{\delta \cdot d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot F_p} \quad (2.12)$$

di mana : n = jumlah lilitan pegas

δ = defleksi maximum perencanaan

G = modulus geser bahan

2.4.3 Defleksi Pegas

Defleksi pegas adalah lendutan yang terjadi pada pegas bila pegas dibebani. Defleksi maximum pegas adalah lendutan maximum yang terjadi bila pegas dalam keadaan mampat. Sedangkan defleksi total dapat diketahui dengan rumus :

$$\delta_t = \delta \cdot \frac{n'}{n} \quad (2.13)$$

di mana : δ_t = defleksi total pegas

n' = jumlah lilitan aktif pegas

n = jumlah lilitan pegas

Besarnya defleksi efektif adalah :

$$\delta_B = \delta_t - (H_f - H_s) \quad (2.14)$$

di mana : δ_B = defleksi efektif

H_f = panjang bebas

H_s = panjang awal terpasang