

PIPA PESAT

Penempatan $\left\{ \begin{array}{l} \text{di atas tanah (lebih baik)} \\ \text{di bawah tanah (terpendam)} \end{array} \right.$

- Hal-hal yang menguntungkan pipa pesat di atas tanah.
 1. Ruang untuk konstruksi lebih luas
 2. Lebih mudah untuk inspeksi, pemeliharaan dan reparasi
 3. Lebih tahan lama (abiotat 2)
 4. Biaya pemasangan lebih murah.

- Hal-hal yang menguntungkan pipa pesat terpendam
 1. Pipa pesat melalui lereng gunung yang curam dengan fondasi tanah (tak perlu anker yang pembuatannya jadi sulit)
 2. Pada lereng curam sering ada bahaya longsor tanah/batu/pohon dll. Kemungkinan kecil untuk merusak pipa pesat bila terpendam.
 3. Di daerah dingin, bila pipa pesat panjang dan V air kecil. Alat pecah beku nya air, mahal. Jika terpendam tak memerlukannya.
 4. Pipa pesat melalui "earth cut" atau gunung. Lebih murah menutup pipa pesat dengan tanah galian daripada membuat konstruksi penyokong. Jika menimbulkan kembali pipa pesat dengan tanah galian, harus teliti. Kerap kali tanah di bawah pipa pesat turun. Tanah penutup yang porous memperpanjang umur pipa (tanah campur pasir \rightarrow baik)

Macam pipa pesat.

Tugas pipa pesat

1. Menghantar air
2. mengimbangi tekanan air

Syarat

1. rapat air
2. Kuat terhadap tegangan +/-

Macam Bahan pipa pesat.

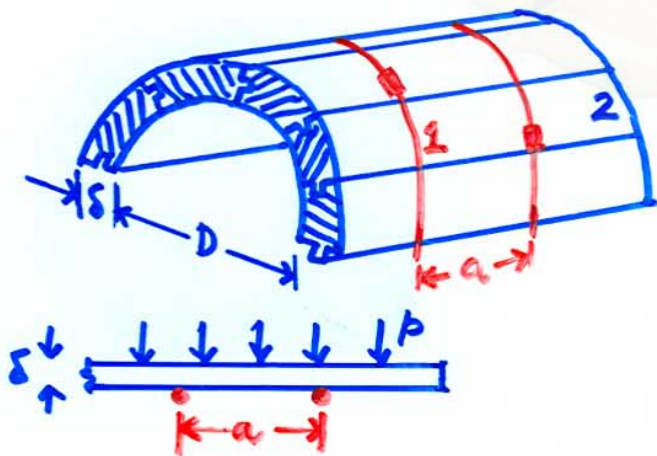
1. kayu
2. baja
3. beton bertulang
4. kombinasi 2 dan 3. (Sistem Sedijatmo)

1. Pipa pesat kayu ("wood stave penstock")

di Indonesia : Cilaki (1918) ; Canada banyak.
(kayu murah)

- Keuntungan :
- biaya konstruksi ringan
 - beratnya kecil.
 - angkutan dan pembangunan sederhana
 - angka muai/susut kecil
 - tahan korosi
 - licin (k_s Strickler ≈ 90)
 - penghemat tenaga yang jelek

- Kerugian :- Pembuatan sulit (D besar); $D = 0,5 - 5,0 m$
- Kurang rapat air (di joints)
 - tidak tahan terhadap lekuk. $[\sigma] = 60 kg/cm^2$
 - umur kayu terbatas



- untuk tugas 2
- 1 Begel (Spanring, bandage)
 - 2 Papan kayu (Daun, dokan)
- untuk tugas 1.

Ditinjau balok ternaman dengan lebar 1 cm.

$$M = 0,106 p a^2$$

$$= [\sigma] \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot \delta^2$$

$$(p = 0,1 H_{dyn})$$

$$(W = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot \delta^2)$$

$$\delta \geq 0,252 a \sqrt{\frac{H_{dyn}}{[\sigma]}}$$

δ = tebal pipa (cm)

a = jarak antara begel (cm)

$H_{dyn} = 1.2 H_{st}$ = tinggi tekanan air dinamik (m) \rightarrow TA 29

$[\sigma]$ = tegangan ijin = 60 kg/cm^2

Biasanya pada δ masih ditambah toulag akibat

- kerusakan begel.
- " kayu karena aus (mikroorganisma).
- syarat $\delta \geq 2.5 \text{ cm}$

Ada 2 tipe : (a) dibuat dengan mesin di pabrik.
Panjang pipa $\leq 6 \text{ m}$.

(b) dibuat secara terusan "in situ"
Sambungan dengan harus berselang
selang (rapat air)

2. Pipa pesat baja.

Biasanya diletakkan di atas tanah dengan konstruksi penyangga (Socket, support) beton dkk.
Anker blok dipasang pada tiap belokan atau tiap jarak $\leq 100 \text{ m}$

macam :

(a) Pipa pesat terputus ("anggelösten Rohrleitung"), dengan sambungan (joint) di antara ankerblok. \rightarrow TA-30

(b) Pipa pesat terusan ("geschlossen Rohrleitung"), tanpa sambungan

(c) Pipa pesat melayang/menggantung ("fliegende Rohrleitung"), pada belokan tanpa ankerblok.
 \rightarrow "Verteilleitung" (Pipa pesat pembagi).

Pipa pesat baja kadang pakai begel juga.

$p.D < 10.000 \text{ kg/cm} \rightarrow$ tanpa begel (Simple steel pipe)

$p.D > 10.000 \text{ kg/cm} \rightarrow$ perlu begel (Banded " ")

Keuntungan :

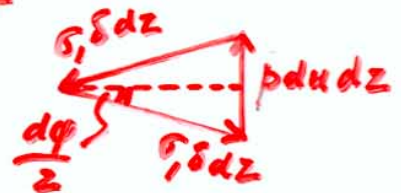
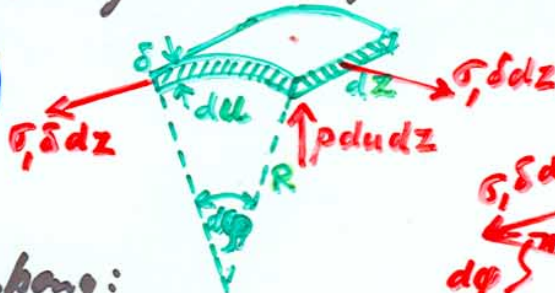
- rapat air
- licin, k_s Strickler = 80 (paku heling)
- k_s " = 90 (las listrik)
- kuat terhadap tekanan air
- $[\sigma] = 1200 \text{ kg/cm}^2$ (baja St 37).

Kerugian :

- mudah berkarat, biaya eksploitasi (pemeliharaan) besar.
- untuk D besar diperlukan tenaga ahli dari luar negeri \rightarrow devisa.
- biaya pembuatan mahal (import)
- ada bahaya lekuk/lipat dalam keadaan tekanan vakum (TA-25)

• Hitungan kekuatan pipa pesat baja berdinding tipis :
 $\frac{D}{\delta} \geq 20$

(a) Tegangan cincin / tangensial : σ_t



Dalam keadaan seimbang :

$$\frac{1}{2} p \cdot du \cdot dz = \sigma_t \cdot \delta \cdot dz \cdot \sin \frac{dq}{2}$$

$$p R \cdot dq = \sigma_t \cdot \delta \cdot dq$$

$$\boxed{\sigma_t = \frac{pR}{\delta}} \text{ RUMUS KETEL}$$

$$\sin \frac{dq}{2} \approx \frac{1}{2} \sin dq \approx \frac{dq}{2}$$

$$du = R \cdot dq$$

σ_t = tegangan cincin/tangensial (kg/cm^2)

ρ = tekanan air (kg/cm^2)

R = jari-jari pipa pesat (dalam) (cm)

δ = tebal pipa pesat (cm) ditambah toeslag karat $\pm 3\%$

Untuk mendimensi:

$$\delta \geq \frac{\rho R}{\eta[\sigma]}$$

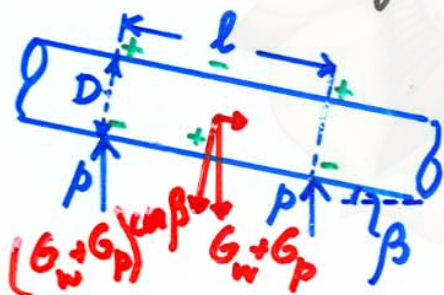
η = koefisien las (0.85-1.00) \rightarrow "seamless pipes"

Tipe baja:

Pipa pesat terputus: St 37 $\rightarrow [\sigma] = 1200 \text{ kg/cm}^2$
St 55 " = 1600 "

Pipa pesat terusan: St 37 $\rightarrow [\sigma] = 900$ "
St 55 " = 1400 "

(b) Tegangan lengkung (axial): σ_2



$$M_{\max} = \frac{(G_w + G_p) l \cos \beta}{12}$$

$$W = \frac{1}{4} \pi \delta D^2$$

$$\sigma_2 = \frac{(G_w + G_p) l \cos \beta}{3 \pi \delta D^2} \text{ kg/cm}^2$$

G_w = Berat air sepanjang l (kg)

G_p = " pipa " l (kg)

l = panjang pipa antara 2 penyangkang (cm)

δ = tebal pipa pesat (cm)

D = diameter " " (cm)

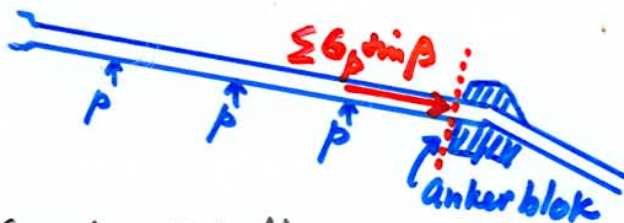
β = sudut lereng sumbu pipa pesat dengan horizontal

p = penyangkang (support, Socket)

(c) Tegangan - regangan lain (aksial) : σ_3

Banyak macamnya, misalnya akibat joint, Sockel, konis dll.

• Akibat berat pipa pesat (σ_3)



$$\Sigma G_p \sin \beta = \pi D \delta \sigma_3$$

$$\sigma_3 = \frac{\Sigma G_p \sin \beta}{\pi D \delta}$$

kg/cm²

Gesekan di p dianggap
hiciin sempurna.

Apabila pipa pesat terusan :

$$\sigma_3' = \frac{\Sigma G_p \sin \beta}{2 \pi D \delta}$$

kg/cm²

Pada pipa pesat lerpukus, ΣG_p = berat pipa dari anker -
blok sampai joint atas.

Pada pipa pesat terusan, ΣG_p = $\frac{1}{2}$ berat pipa dari anker -
blok sampai anker blok di atasnya.

• Akibat suhu (σ_3'')

Pipa dapat menci atau tumpul akibat perubahan
suhu, khusus apabila pipa pesatnya terusan
dapat mengakibatkan tegangan aksial extra.

$$\Delta l = \lambda \Delta t \rightarrow \frac{\Delta l}{L} = \epsilon = \lambda \cdot \Delta t$$

$$\frac{\sigma}{E} = \lambda \cdot \Delta t \quad (\text{Hooke})$$

$$\therefore \sigma_3'' = E \cdot \lambda \cdot \Delta t$$

Untuk baja St 37 atau St 55: $E = 2,15 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $\lambda = 1,2 \times 10^{-5}$

$$\sigma_3'' = 26 \cdot \Delta t \quad \text{kg/cm}^2$$

Δt = perubahan suhu dalam °C.

• Tegangan Total.

Sebenarnya dalam tiap bagian dinding pipa pesat terjadi keadaan tegangan dalam ruang ("residual Spannungsbestand"), dengan tegangan-tegangan pokok tbb. :

$$\sigma_t = \sigma_1 - \frac{1}{m} (\sigma_2 + \sigma_3 + p)$$

$$\sigma_r = p - \frac{1}{m} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\sigma_a = \sigma_2 + \sigma_3 - \frac{1}{m} (\sigma_1 + p)$$

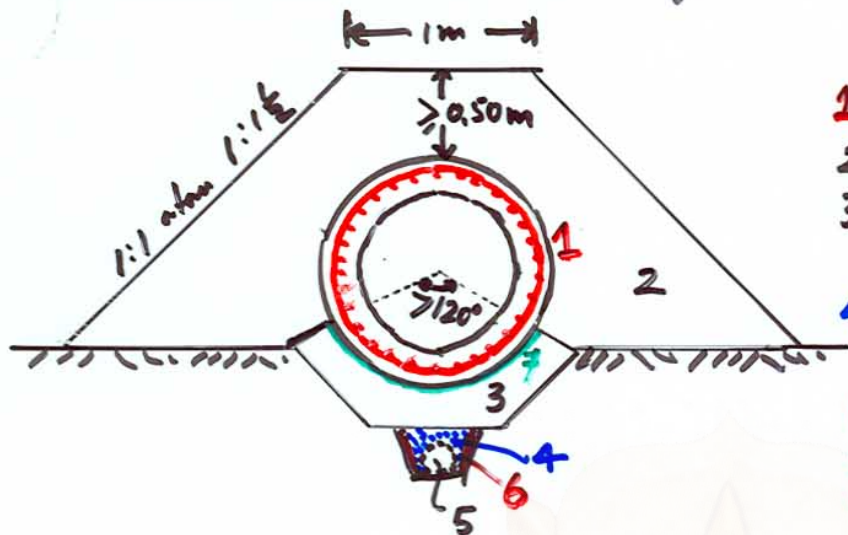
σ_t = tegangan pokok tangensial } (kg/cm²)
 σ_r = " " radial
 σ_a = " " axial

$m = \frac{10}{3}$ (angka Poisson)

$p = 0,1 \text{ H dyn. (kg/cm}^2\text{)}$
(m)

Catatan: Biasanya seluruh bagian pipa pesat di test di pabrik dengan tekanan sebesar $1,5 p_{max}$ setelah dipasang in situ di-test lagi untuk sebagian atau seluruhnya.

3. Pipa pesat beton bertulang.



- 1 beton tulang 1:2:3
- 2 tanah urugan (porous)
- 3 Landasan beton tumbuk 1:2:4 (Betonbet)
- 4 kerikil
- 5 hipa drain (berlobang)
- 6 injuk (filter)
- 7 lapisan aspal atau kertas bitumen

Macam: $D > 1m$, dibuat di tempat (cast in place, cast in situ)
 $D < 1m$, dibuat di pabrik (pre cast)

Dapat juga "prestressed concrete" yang prinsipnya setelah dibebani tidak ada lagi tegangan tarik pada tampang beton .

Keuntungan :

1. biaya eksploitasi kecil karena tak perlu pemeliharaan.
2. biaya pembangunan murah. Walaupun berat besi tulangan kira-kira sama dengan berat baja pelat tetapi harga seluasnya lebih murah. Bahan tak perlu diimport. Hemat devisa
3. Kuat / tahan terhadap tekanan negatif (vakum)
4. biaya pelaksanaan murah. Tak perlu ahli luar negeri.
5. lajin K_s Strickler = 80-90
6. tahan lama. Umur 25-30th masih seperti baru (asal airnya tak agresif).

Ringkasan:

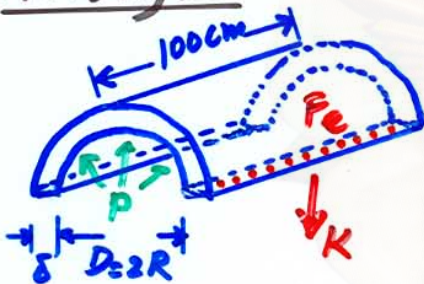
1. Air harus bebas asam. Perlu diperiksa terlebih dahulu.
2. Kual tarik beton kecil. Walaupun σ_{tarik} dipikul oleh tulangan (besi), jika tebal beton kurang, dapat retak perlu dikontrol dengan stadium IIa (lebih-lebih pada lekukan kejut)
3. bongkaran tak laku dijual.

Batas penggunaan pipa beton tulang konvensional.

- Indonesia $H_d \leq 70m$
- Eropa $" \leq 40m$
- Amerika $" \leq 60m$ (Soap Lake Aqueduct)
 $H_d = 75m \rightarrow \text{max}$

Hitungan:

Ditinjau pipa panjang 100cm.



(a) Hitungan berdasarkan stadium IIb. \rightarrow untuk tulangan.

$$K = p \cdot R \cdot 100 \text{ (tangensial)}$$

$$[K] = F_e \cdot [\sigma_e]$$

$$[K] > K \quad \text{Syarat!}$$

$$F_e > \frac{100 p R}{\eta [\sigma_e]}$$

F_e = luas tampang besi tulangan (1 sisi) (cm^2)

p = $0.1 H_d$ (tekanan air) (kg/cm^2)

R = jari-jari pipa (cm)

$[\sigma_e]$ = tegangan ijin besi (kg/cm^2)

η = koefisien las tulangan : 0.9 - 0.95

(b) Hitungan berdasarkan Stadium II a. → untuk betonnya.

Beton dianggap ikut menahan tegangan tarik, jadi gaya k dipikul oleh beton dan tulangan → kurang rasional. Ini perlu karena jika tebal beton kurang, dapat retak dan tulangan dapat berkarat → F_c kurang → fatal.

$$F_b + 15 F_c > \frac{100 p R}{[\sigma_{bt}]}$$

F_b = luasampang beton (isi)
 $[\sigma_{bt}]$ = tegangan tarik beton yang diijinkan.

di Prancis dan USA 20 kg/cm²
 di Jerman dan Indonesia 10 "
 tergantung mutu betonnya.

Diperlukan tulangan memanjang: $0,4 \%$ F_b yang berfungsi sebagai tulangan susut dan untuk momen tak tersangka.

Ini menyebabkan F_c yang diperlukan $\approx F_c$ baja pelat pada pipa baja.

Jelas bahwa pada H besar, pipa beton tulang konvensional menjadi kurang ekonomis karena syarat Stadium II a ini.

4. Pipa Pesat Golang (Sedijatmo)

Karena uniknya, telah diperoleh patent di beberapa negara Eropa dan Amerika.

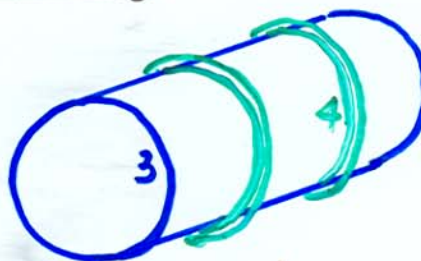
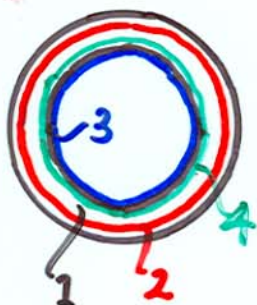
Pipa Golang dapat dipakai untuk H besar secara efisien.

Tujuannya: menggabungkan keuntungan pipa baja dan beton spt. tahan karat, tahan leleh, tahan tarikan dsbnya.

Prinsipnya:

1. Beton hanya menahan tekanan dari luar pipa (-) → rational karena tak menahan tegangan tarik → boleh retak.
 σ_{bt} bukan soal. $\delta_b = 10\% D$
2. Agar rapat air diberi mantel baja tahan karat (Cor-ten steel), panjang $6m$, yang ikut menahan sebagian tegangan tarik tangensial $\delta_m = 3-5mm$
 Cor-ten steel diinhor sebagai pelat (transport murah), di-las in situ
3. Sebagian besar tegangan tarik tangensial dipikul oleh tulangan cincin (pohok)
4. Beton antara tulangan cincin dan mantel bekerja sebagai landasan (pengisi). Teoretis dianggap sebagai lamel, praktis sebagai beton tumpang biasa.
5. Untuk memperbesar koefisien las tulangan cincin, tambuangannya lidah diletakkan pada 1 garis // sumbu pipa (lelaki spiral)
6. Agar mantel lebih kaku (selama di-transport) dan mantel terpegang lebih baik oleh beton, mantel diperkuat dengan rib-rib besi I atau E yang dilas sekeliling mantel pada beberapa tempat.

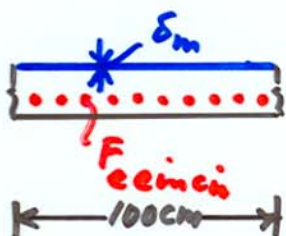
• Pipa Golang (Sedijatmo)



- 1 beton tulang 1:2:3
- 2 tulangan cincin / pokok
- 3 mantel baja Corten
- 4 rib penguat (bentuk I atau E)

Hitungan:

σ tarik tangensial ditahan oleh tulangan cincin dan mantel baja Corten
 Karena adanya mantel baja Corten, beton boleh retak, tulangan cincin tak akan karapam.
 \therefore Stadium II & tak perlu. H bisa besar.



$$F_{\text{total}} > \frac{100kR}{\gamma[\sigma_c]}$$

$$F_{\text{total}} = F_{\text{cincin}} + 100\delta_m$$

• Keuntungan Pipa Pesat Golang.

1. Dapat dipakai pada tekanan tinggi yang tak terbatas (praktis), karena σ_b tak menjadi soal.
2. Rapat air dengan adanya mantel baja Corten
3. Licin, k_s Strickler = 90 \rightarrow ekonomis.

4. Mandel tahan karat. Corlon steel daya tahan korosi ketahanan 6 x baja biasa (St 37)
5. Meskipun harga Corlon steel 30% lebih tinggi daripada baja biasa, tetapi $[\sigma_c]$ jika 10-25% lebih tinggi $[\sigma_c]$ baja biasa. Sedang dalam hitungan dianggap sama. ^{daripada} $[\sigma_c]$ baja biasa.
 \therefore Menambah angka keamanan.
6. Menghemat cetakan, karena mandel berfungsi sebagai cetakan dalam.
7. Syarat $D > 1m$ untuk pipa beton "cast in situ", pada pipa pesat Golong menjadi tidak relevan.
8. Mandel dapat berfungsi sebagai tulangan memenjang dengan adanya rib-rib besi I atau E.
9. Seperti halnya pada PLTA Timo, setelah pendatar air, late diperlukan "shut off valve" (katup penutup) beserta rumah katupnya, karena pipa Golong ini harus pemeliharaan.

● Contoh Pipa Pesat Sistem Golong yang telah dilaksanakan.

PLTA	$L_{\text{pipa}} (m)$	$H_{\text{max}} (m)$	$D (cm)$ max/min
Golong	2 x 404	120	100/90
Cikalong	2 x 1055	180	185/160
Timo	1 x 580	150	220
Ngebel	1 x 1048	240	100/70